

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



Selección de Filtros de Medio Granular Para Riego Localizado Mediante  
una Calculadora Programada en Excel

Por:

**INÉS ABISAÍ RAMÍREZ PÉREZ**

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2019

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

Selección de Filtros de Medio Granular Para Riego Localizado Mediante una  
Calculadora Programada en Excel  
POR.

**INÉS ABISAÍ RAMÍREZ PÉREZ**

TESIS

Que somete a consideración del comité particular de asesoría y aprobada  
como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Comité particular de asesoría:

M.C. Gregorio Briones Sánchez  
Asesor principal

M.C. Carlos Rojas Peña



M.C. Tomas Reyna Cepeda  
Coasesor

M.C. Sergio Sánchez Martínez  
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A Dios:**

Por estar a mi lado cuidándome en todo momento incluso antes de verme nacer y por tener siempre su bendición, por ser la base de mi moral y otorgarme siempre días nuevos con salud, fuerzas y empeño para que pudiera aprender un poco cada día, el cual fue necesario para culminar mi tesis.

### **A mis padres:**

Que en todo momento siempre estuvieron ahí para mí, brindándome sus consejos y apoyos durante el transcurso de mi formación como profesional, por darme la oportunidad y alentarme en seguir adelante.

### **A mis hermanas y hermanos:**

Por estar conmigo en las peores situaciones, a pesar de las peleas nunca me dejaron, a mi hermano Magno no solo por haberme ayudado en gran manera a concluir mi estudio si no él fue quien me dio las alas.

### **A mi “Alma Terra Mater”:**

Muchas gracias por haberme dado la oportunidad de ser un miembro en su institución, por darme conocimientos y haber podido concluir mi carrera como Ingeniero Agrónomo en Irrigación, me siento orgulloso porque fue mi segunda casa en la que me preparaban para la vida diaria.

### **A mis asesores:**

M.C. Gregorio Briones Sánchez muchas gracias por haberme aceptado como su tesista, por ser una persona de gran sabiduría que se esforzó por ayudarme siempre.

M.C. Carlos Rojas Peña y M.C, Tomas Reyna Cepeda, por ser parte de mi proyecto y muchas gracias por sus aportaciones y consejos.

### **A mis compañeros**

Daniel R, Francisco C, Luis M, Alan, Ana, Gustavo, Mario, Alex, por sus amistades.

## **DEDICATORIAS**

### **A Dios:**

Por haberme otorgado la vida y puesto personas en ella con quien compartirla, por su voluntad de seguir adelante sin importar las circunstancias para lograr mis metas.

### **A mis padres:**

Rene Ramírez Pérez, Lucina Pérez Pérez

Por su apoyo incondicional y creer en mí, por verme avanzar sabiendo que nunca estaré solo por esas fortalezas que necesitaba para no decaer y por estar conmigo para compartir mis logros.

### **A mis Hermanos:**

Madaí Elisa Ramírez Pérez, Miriam Guadalupe Ramírez Pérez, Edi Magno Ramírez Pérez, Santiago Sacarías Ramírez Pérez, Fátima Guadalupe García Ramírez.

Por brindarme siempre su apoyo moral, por compartir bellos momentos de alegría, enojos, tristezas, por los lazos fuertes que tenemos como hermanos para no decaer en situaciones malas.

### **A mis abuelos:**

Cornelia Pérez, Fausto Ramírez y mi abuelo en paz descanse Carmen Pérez.

Por darme su amor, cariño, sabios consejos y sabidurías, que me brindaron a lo largo de los años, que estuvieron ahí conmigo, por brindarme alegría y felicidad que necesitaba.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	I
<b>DEDICATORIAS</b> .....	II
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	V
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	VII
<b>RESUMEN</b> .....	VIII
<b>ABSTRACT</b> .....	X
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
I.1. Objetivos.....	3
I.2. Hipótesis.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
2.1. La importancia de los filtros en el sistema de riego.....	4
2.2. Filtración.....	4
2.2.1. Filtración rápida.....	5
2.2.2. Filtración lenta.....	5
2.3. Tipos de filtros.....	6
2.3.1. Filtros de discos o anillas.....	6
2.3.2. Filtros de malla.....	7
2.3.3. Hidrociclones.....	9
2.3.4. Filtros de medio granular.....	10
2.4. Filtración en el medio Granular.....	13
2.4.1. Características del medio filtrante.....	14
2.4.2. Velocidad de filtración.....	16
2.5. Turbiedad del agua.....	16
2.6. Pérdida de carga en lechos filtrantes.....	18
2.6.1. Ecuaciones generales.....	18
2.7. Calculadoras para estimar la caída de carga en medios granulares.....	21
2.7.1. Kozeny Carman Equation Calculator de az calculator (2019).....	21
2.7.2. Filter pressure drop calculator de Lukáš Kolík (2019).....	22
2.7.3. Fx solver calculator Kozeny-Carman.....	23
2.8. Qué es Excel.....	23
2.8.1. Las macros en Excel.....	24

<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	25
3.1. Lugar y fecha de establecimiento .....	25
3.2. Materiales y equipos requeridos .....	25
3.3. Metodología para la selección de equipos de filtración.....	25
3.4. Programación de Excel para la selección de filtros.....	30
3.4.1 Funciones para la búsqueda y selección.....	30
3.4.2. Búsqueda de imágenes.....	37
3.5. Metodología para estimar la pérdida de carga en filtros de medio granular..	41
3.6. Selección de medios granulares .....	42
3.6.1. Rutinas para la selección de medios porosos .....	43
3.7. Programación con macro para Guardar y Borrar .....	45
3.8. Métodos para la evaluación de resultados.....	47
3.8.1. Prueba t de Student.....	47
3.8.2. Error típico de la estima.....	47
3.8.3. Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> .....	48
3.8.4. Pendiente de la regresión lineal, m .....	48
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	49
4.1. Filtros seleccionados para varios sistemas de riego localizado .....	49
4.2. Materiales granulares designados para cumplir la filtración requerida .....	51
4.3. Pérdida de carga (hf) en diferentes materiales esperada durante la filtración en una cama granular de 30 cm de profundidad .....	52
4.4. Validación del programa .....	54
4.5. Confiabilidad del programa .....	56
4.6. Sugerencias .....	57
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	58
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	60
<b>VII. APÉNDICE</b> .....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Filtros de discos Azud .....	7
<b>Figura 2.2.</b> Filtros de malla .....	8
<b>Figura 2.3.</b> Hidrociclón .....	10
<b>Figura 2.4.</b> Filtro de arena .....	11
<b>Figura 2.5.</b> Sistema de filtrado para riego por goteo para agua superficial .....	12
<b>Figura 2.6.</b> Funcionamiento de un sistema de filtrado .....	13
<b>Figura 2.7.</b> Mecanismos de eliminación de sólidos en suspensión de un filtro granular, por retención, por sedimentación, por intercepción, por adhesión y por floculación (Metcalf y Eddy, 1996) .....	15
<b>Figura 2.8.</b> Estándares de turbidez de 500, 50 y 5 NTU .....	17
<b>Figura 3.1.</b> Tanques alimentados en la Entrada (Lakos 2008) .....	27
<b>Figura 3.2.</b> Tanques alimentados en Centro (Lakos 2008) .....	27
<b>Figura 3.3.</b> Tanques alimentados en H (Lakos 2008) .....	27
<b>Figura 3.4.</b> Diagrama de flujo mostrando los pasos que se siguen al seleccionar y ensamblar un modelo de filtros para un sistema de riego localizado (goteo, micro-aspersión) .....	29
<b>Figura 3.5.</b> Lista con nombre Marcas para la validación de datos .....	31
<b>Figura 3.6.</b> Validación para una lista con el nombre de Marcas .....	32
<b>Figura 3.7.</b> Lista desplegable con las marcas de los filtros .....	32
<b>Figura 3.8.</b> Celdas donde se emplearon las funciones para buscar modelos de filtros, gastos, diámetros y presión .....	37
<b>Figura 3.9.</b> Pasos para cambiar alto de fila .....	38
<b>Figura 3.10.</b> Pasos para cambiar ancho de columna .....	39
<b>Figura 3.11.</b> Imágenes Yardney y Netafim ajustadas en sus propias celdas .....	39
<b>Figura 3.12.</b> Cuadro de dialogo para nuevo Nombre .....	40
<b>Figura 3.13.</b> Selección de filtros con sus respectivas imágenes y configuración de tanques a partir del gasto del sistema de riego y nivel de turbiedad en Excel .....	41
<b>Figura 3.14.</b> Lista desplegable de materiales disponibles para una filtración de 130 mesh .....	45
<b>Figura 3.15.</b> Ventana asignar una macro .....	46

<b>Figura 3.16.</b> Pérdida de carga (hf en psi) calculada para dos materiales granulares a diferentes alturas de cama.....	46
<b>Figura 4.1.</b> Selección del modelo de filtro de la marca Yardney para un gasto de 300 gpm con turbiedad media con un área de filtración requerida de 15 ft2.....	50
<b>Figura 4.2.</b> Materiales recomendados para un gotero que requiere una filtración de 130 mesh .....	52
<b>Figura 4.3.</b> Comparación de pérdida de carga (hf) calculadas para varios materiales granulares a distintas tasas de filtración (mucho, media, alta).....	53
<b>Figura 4.4.</b> Línea de tendencia que correlaciona la caída de carga calculada con ambas calculadoras (Excel y FX Solver).....	55

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1.</b> Clasificación de las mallas industriales.....	9
<b>Cuadro 2.2.</b> Tamaño de arena y micrón equivalentes.....	11
<b>Cuadro 3.1.</b> Registro para la Base de Datos Interna.....	28
<b>Cuadro 3.2.</b> Medios granulares para tanques de irrigación.....	42
<b>Cuadro 3.3.</b> Filtración requerida para distintos modelos de goteros Toro.....	43
<b>Cuadro 4.1.</b> Modelos de tanques seleccionados para diferentes gastos y niveles de turbiedad marca Yardney.....	49
<b>Cuadro 4.2.</b> Materiales recomendados para diferentes tipos de goteros.....	51
<b>Cuadro 4.3.</b> Pérdida de carga (hf) en diferentes cultivos de acuerdo a filtración requerida por el emisor.....	52
<b>Cuadro 4.4.</b> Análisis estadístico para la validación del programa.....	56
<b>Cuadro 4.5.</b> Tipo de filtrado a usar de acuerdo a la concentración de sólidos totales en suspensión en el agua.....	57

# SELECCIÓN DE FILTROS DE MEDIO GRANULAR PARA RIEGO LOCALIZADO MEDIANTE UNA CALCULADORA PROGRAMADA EN EXCEL

**Por: Inés Abisaí Ramírez Pérez**

## **RESUMEN**

El presente estudio fue realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad Saltillo, donde los principales objetivos fueron: a). Seleccionar los filtros de medio granular para riego localizado de las marcas y modelos de los principales fabricas mediante una calculadora o rutina en Excel con los datos proporcionados de los mismos. b) Seleccionar el material medio granular recomendable para tratar el agua del sistema de riego. C) Calcular la pérdida de carga en base a la ecuación de Kozeny-Carman. Para lograrlo se inició el trabajo con la creación de una base de datos capturando la información de los tanques de medio granular para cinco marcas. d) Integrar la información de los fabricantes dentro del contexto. Presentar los productos en corto tiempo y adoptar (diseñar, seleccionar) una opción en respuesta a las necesidades o solicitud del diseñador o cliente.

En la selección de los modelos de filtros, de acuerdo a la tasa de filtración requerida o turbiedad el modelo o más bien los números de tanques varían, al seleccionar una turbiedad alta mayor será el número de tanques que cuando se selecciona una turbiedad baja. Al tener un gasto de sistema de más de 2500 gpm los modelos en el programa no están disponibles para ninguna marca ya que tienen un límite en cuanto a la turbiedad alta, y capacidad instalada de los sistemas de riego.

Se le asignaron un gasto y una cierta turbiedad a cada uno de los sistemas de riego localizado elegidas para comprobar los resultados y verificar los límites de áreas de filtración para las cinco marcas disponibles en el programa.

Teniendo un flujo laminar en la corriente de agua, en las pérdidas de cargas calculadas en los filtros con dos camas de los materiales granulares asignados aumentan al tener un menor tamaño efectivo. Al contrario si se tiene un material con tamaño de diámetro

mayor, la pérdida de carga en el filtro será menor ya que los espacios que existen entre estos sería mayor.

En cuanto al calcular la pérdida de carga se tienen los materiales con una porosidad de 48% para los triturados con un factor de forma de 0.7 y 42% para las arenas sílica redondeadas con un factor de forma de 0.82.

Se hicieron combinaciones de los materiales granulares para verificarlas con el programa de Fx Solver que está en línea, en total resultaron 23 casos. Se tomaron los tamaños efectivos, porosidad y factor de forma de los materiales con una profundidad de 30 cm, 15cm para cada material con una viscosidad de agua a 19°C que es igual a 0.00102 pa\*s y con una velocidad de 0.01258 m.

En el análisis estadístico para la comparación de resultados arrojaron valores que cumplen con los requisitos que requiere la hipótesis con un nivel de confianza de 95% y 5% de significancia y por lo tanto se acepta.

Para ambos casos la calculadora da como resultados datos en muy corto tiempo, sin embargo si no se conocen los datos requeridos esto podría hacerse muy tedioso.

Palabras clave: Selección de filtros, Medios granulares, Caída de presión, Ecuación de Kozeny-Carman, Calculadora.

Clave del proyecto: 38111-425401001-637

e-mail: abisai\_abi@outlook.com

# SELECTION OF GRANULAR MEDIA FILTERS FOR LOCALIZED IRRIGATION THROUGH AN EXCEL PROGRAMMED CALCULATOR

By: Inés Abisaí Ramírez Pérez

## ABSTRACT

The present study was conducted at the Antonio Narro Autonomous Agrarian University, Saltillo unit, where the main objectives were: a). Select the filters of granular medium for localized irrigation of the brands and models of the main factories using a calculator or routine in Excel with the data provided therein. b) Select the recommended granular medium material to treat the irrigation system water. C) Calculate the load loss based on the Kozeny-Carman equation. To achieve this, work began with the creation of a database capturing the information of the granular medium tanks for five brands. d) Integrate the information of the manufacturers within the context. Present the products in a short time and adopt (design, select) an option in response to the needs or request of the designer or client.

In the selection of filter models, according to the required filtration rate or turbidity the model or rather the numbers of tanks vary, when selecting a high turbidity the greater the number of tanks than when a low turbidity is selected. When having a system expense of more than 2500 gpm, the models in the program are not available for any brand since they have a limit in terms of high turbidity, and installed capacity of the irrigation systems.

An expense and some turbidity were assigned to each of the localized irrigation systems chosen to verify the results and verify the limits of filtration areas for the five brands available in the program.

Having a laminar flow in the water stream, in the losses of loads calculated in the filters with two beds of the assigned granular materials increase by having a smaller effective size. On the contrary, if there is a material with a larger diameter size, the loss of load in the filter will be smaller since the spaces that exist between them would be greater.

Regarding the calculation of the loss of load, there are materials with a porosity of 48% for crushed with a form factor of 0.7 and 42% for rounded silica sands with a form factor of 0.82.

Combinations of granular materials were made to verify them with the Fx Solver program that is online, in total 23 cases resulted. The effective sizes, porosity and form factor of the materials with a depth of 30 cm, 15cm were taken for each material with a viscosity of water at 19 ° C that is equal to 0.00102 pa \* s and with a speed of 0.01258 m.

In the statistical analysis for the comparison of results, they showed values that meet the requirements required by the hypothesis with a level of confidence of 95% and 5% significance and therefore accepted.

In both cases, the calculator results in data in a very short time, however if the required data is unknown, this could be very tedious.

Keywords: Filter selection, Granular media, Pressure drop, Kozeny-Carman equation, Calculator.

Project key: 38111-425401001-637

e-mail: abisai\_abi@outloo

## I. INTRODUCCIÓN

Una calculadora generalmente se usa para facilitar los cálculos. En la vida cotidiana, a veces los cálculos científicos y matemáticos incluyen operaciones muy complejas con números complicados, el cálculo es muy tedioso puesto que toma mucho tiempo y hay diversas posibilidades de errores cuando se hace manualmente.

Para ayudar en esto las calculadoras realizan esta tarea sin ningún error y facilitan la búsqueda de datos o la resolución de problemas. Las personas que tienen una gran habilidad para los cálculos generalmente usan una calculadora en la vida cotidiana para ahorrar tiempo y tener las respuestas que buscan rápidas y precisas.

La calculadora o rutina en Excel (macros) permiten almacenar y ejecutar los pasos de las tareas repetitivas. Las macros en Excel es una de las herramientas más poderosas. Su grado de importancia radica en que permiten automatizar una tarea monótona mediante la grabación y almacenamiento del conjunto de pasos que la conforman. Las macros componen un sinnúmero de programas que van en series o rutinas.

La finalidad de los cálculos y de las herramientas en Excel es hacer que esto sea más sencillo y directo. La selección depende tanto de las funciones anidadas en una celda como de los conjuntos de datos en una cierta matriz.

Una rutina (calculadora) en Excel puede seleccionar los diferentes tipos de filtros de los sistemas de riego localizado de acuerdo a las funciones programadas y parámetros registrados en una base de datos. Los diferentes modelos o marcas manejan un cierto criterio en relación al gasto manejado, por eso al seleccionar un tipo de marca o modelo se tienen que tener en cuenta algunos aspectos, para no tomar a la ligera una decisión.

Los filtros de arena o medio granular son muy importantes en los sistemas de riego localizado ya que evitan un taponamiento en los emisores u orificios de un gotero, además que de su conocimiento y funcionamiento depende en gran medida la vida útil de un sistema de riego por goteo (Mendoza, Pinilla y Martínez, 1989).

El agua ha sido un recurso indispensable para los seres vivos, dado que su utilidad es muy extensa. La FAO (2011) menciona que en la actualidad los sistemas de riego que más se utilizan son: riego por aspersion, riego por superficie, riego por micro aspersion, riego por goteo; siendo este último un sistema de riego localizado más eficaz, el cual da un mayor ahorro de agua.

En el riego por goteo y aspersion, la calidad del agua que se bombea al sistema de riego es el elemento más importante para evaluar la selección de un sistema de filtración (Yardney, 2019).

Este trabajo de tesis cubre todos los requisitos de la filtración en medio granular para riego por goteo, ha sido escrita como referencia útil para seleccionar los tanques, calcular el área de filtración, elegir los materiales que se empaquetan dentro del tanque adecuado para filtrar el agua de riego y #mesh requerido en el sistema e incorpora una calculadora programada en Excel para predecir la caída de carga esperada durante el proceso de filtración.

Esta tesis fue escrita para ayudar a los estudiantes de irrigación en sus tareas de diseño y es una herramienta de soporte técnico que facilita el ensayo de alternativas y comparación de marcas y modelos para filtros de medio granular. Todos los pasos necesarios para alimentar el programa están cubiertas en los siguientes capítulos, a fin de interactuar satisfactoriamente con las aplicaciones, acceder a la base de datos e interpretar los datos de salida.

## 1.1. Objetivos.

- \* Seleccionar los filtros de medio granular para riego localizado de las marcas y modelos de las principales fabricas mediante una calculadora o rutina en Excel.
- \* Seleccionar el material medio granular recomendable para tratar el agua del sistema de riego
- \* Calcular la pérdida de carga en base a la ecuación de Kozeny-Carman.
- \* Integrar la información de los fabricantes dentro del contexto. Presentar los productos en corto tiempo y adoptar (diseñar, seleccionar) una opción en respuesta a las necesidades o solicitud del diseñador o cliente.

Para lograr los anteriores objetivos se inició el trabajo con la creación de una base de datos con la información de los tanques de medio granular para cinco marcas, para luego desarrollar una secuencia de instrucciones programadas en Excel para resolver los cálculos rutinarios, aplicar las herramientas a la realización de las tareas como son la selección de un modelo de filtros, Seleccionar el material medio granular recomendable para tratar el agua del sistema de riego y calcular la pérdida de carga en base a la ecuación de Kozeny-Carman.

## 1.2. Hipótesis

De acuerdo a lo que se mencionó anteriormente se plantearon las siguientes hipótesis. Respecto a las caídas de carga con medios granulares en dos capas

H<sub>0</sub>: Las caídas de carga estimadas mediante la calculadora en Excel estadísticamente son iguales a los de los programas existentes en línea.

H<sub>a</sub>: Existe diferencia significativa entre las caídas de carga estimadas con ambas calculadoras (1 y 2).

H<sub>0</sub>:  $T_c \leq \alpha$ . Se acepta la hipótesis,  $hf_1 = hf_2$

H<sub>a</sub>:  $T_c > \alpha$ . se rechaza la hipótesis,  $hf_1 <> hf_2$

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La importancia de los filtros en el sistema de riego

Mendoza, Pinilla y Martínez (1989) mencionan que el estudio del mecanismo de filtración y de los filtros empleados en la limpieza del agua para riego, es de gran importancia porque de su conocimiento y funcionamiento depende en gran medida la vida útil de un sistema de riego por goteo.

Existen varios problemas con el funcionamiento de un sistema de riego debido a la calidad del agua que pasa a través de ella. Duran (2008) menciona que las condiciones de funcionamiento de una instalación de riego por goteo pueden variar debido a problemas en el sistema de impulsión, pérdida de carga en los filtros y tuberías, y obstrucción de los goteros. Cuando se utilizan aguas residuales tratadas y sobre todo cuando estas son de baja calidad, la probabilidad de que se presenten problemas de operación se incrementan debido principalmente a la aparición de obstrucciones en la mayoría de los sistemas de riego localizado.

La unidad de medida utilizada con mayor frecuencia en el riego para describir el tamaño de una partícula es el **micrón**. Un micrón (o más propiamente, un "micrómetro" como se usa en círculos científicos) es el equivalente de  $1 \times 10^{-6}$  de un metro, o una milésima de un milímetro (.001 mm).

### 2.2. Filtración

Se ha desarrollado una serie de teorías que podrían clasificarse como físicas, electroquímicas y biológica que tratan de explicar el fenómeno de filtración, sin que hasta ahora ninguna de ellas lo cuantifique exactamente, por ello se conocen solo algunas.

Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de agua Potable, Saneamiento Básico,, aclaran que para la selección del tipo de filtro debe hacerse teniendo en cuenta las

características del agua por tratar, las condiciones técnico-económicas del proyecto, así como las condiciones de operatividad y mantenimiento del sistema, en una localidad dada. La selección del tipo de filtro debe justificarse, así como las características particulares del mismo, en cuanto al número de unidades, medio filtrante, lavado, recolección, drenaje, etc.

Deben realizarse estudios de la calidad del agua que va a filtrarse para determinar el tipo de filtración que deben utilizar. De acuerdo con los resultados pueden seguirse las siguientes recomendaciones para la selección del tipo de filtración:

### **2.2.1. Filtración rápida**

Debe filtrarse agua previamente tratada (coagulación y/o floculación con o sin sedimentación o flotación) para lograr la remoción de las últimas partículas que no hayan sido retenidas por el sedimentador.

Entre los filtros rápidos se tiene:

- **Filtración directa;** La filtración puede ser de contacto (sin floculación, ni sedimentación) o filtración directa propiamente dicha (sin sedimentación pero con coagulación-floculación total o parcial).
- **Filtración convencional** Debe utilizarse como pulimento final de los procesos de mezcla rápida, floculación y sedimentación. Generalmente se emplea cuando se ha realizado una coagulación de barrido

### **2.2.2. Filtración lenta**

- **Como tratamiento único;** Puede emplearse como tratamiento final del agua cruda pre filtrado, para mejorar la calidad bacteriológica y remover las partículas suspendidas más finas.
- **Filtración lenta en diversas etapas;** La filtración lenta en diversas etapas se recomienda para el acondicionamiento o pre tratamiento de fuentes superficiales de agua, cuya calidad puede interferir en los mecanismos de

purificación o superar la capacidad de remoción de la filtración lenta en arena produciéndose efluentes de calidad deficiente.

Trooien y Hills (2007) mencionado por Bovè (2018) aclara que los filtros de medios granulares presenta mayor eficiencia en la eliminación de sólidos en suspensión y es el único diseño que realmente tiene cierto efecto reductor sobre la turbidez del agua. Por este motivo, es considerado el estándar para la protección de los emisores de goteo. Sin embargo su costo es elevado ya que algunos de ellos están fabricados con cierto tipo de materia como acero al carbón, acero inoxidable, etc., con equipos automáticos o semiautomáticos para su limpieza de retrolavado.

El medio filtrante es el responsable de retener los sólidos suspendidos en el agua y, por lo tanto, es la parte más importante de un filtro de este tipo desde un punto de vista funcional.

Existen diferentes sistemas de filtración con capacidad para mejorar la calidad del agua, que puede ayudar a prevenir el mal funcionamiento de los sistemas de riego, según se muestran a continuación:

## **2.3. Tipos de filtros**

### **2.3.1. Filtros de discos o anillas**

Estos filtros retienen sólidos en suspensión y materia orgánica. En el cabezal se pueden combinar con el uso de filtros de arena e hidrociclones según la calidad del agua a filtrar. Las impurezas quedan atrapadas entre unos discos ranurados que se encuentran agrupados y ajustados unos contra otros en un cartucho insertado en el interior de la carcasa del filtro.

Al mismo filtro se le pueden cambiar los discos, por otros de mayor grado de filtración, pero hay que tener en cuenta que habrá que respetar los nuevos caudales máximos de funcionamiento.

Los filtros de discos pueden limpiarse a mano o ser auto-limpiantes. Estos últimos incluyen un mecanismo de inversión del flujo y aprovechan la misma presión del agua para expulsar la suciedad al exterior mediante un circuito de drenaje.

Las pérdidas de presión admisibles con filtro limpio son del orden de 1 a 3 mca efectuándose la limpieza cuando estas pérdidas alcancen 4 o 5 mca.

En el proceso de filtración y auto-limpieza de un filtro de discos: mediante el uso de válvulas hidráulicas de tres vías, se invierte el sentido del flujo del agua. Previamente un pistón descomprime la torre de discos para permitir su separación y limpieza efectiva. En la figura 2.1. Se tienen diferentes modelos de filtros de discos; el color de los discos indica el grado de filtración.



**Figura 2.1. Filtros de discos Azud**

### **2.3.2. Filtros de malla**

Como su mismo nombre lo indica, estos filtros constan de mallas. Suelen ser cilindros ranurados o cartuchos, que llevan en su interior mallas metálicas o de plástico, con diferentes diámetros de luz. Los filtros de malla son populares porque son menos costosos, fáciles de instalar y utilizan menos espacio que los filtros de grava-arena.

Estos filtros vienen en varios tamaños, formas y gastos. Los filtros de malla pueden ser usados como filtración primaria o secundaria y pueden ser operados mediante controles manuales o automáticos.

Este tipo de filtros, usualmente trabajan bien con una carga de contaminantes inorgánicos de baja a moderada y donde prácticamente no hay contaminantes orgánicos o químicos. Ciertos contaminantes químicos en la fuente de agua, tales como el fierro o el calcio pueden crear problemas si se precipitan de la solución antes de que entren al sistema de filtración. Generalmente, los filtros de malla se pueden usar efectivamente en aguas de pozo.

La filtración de malla es considerada como una filtración de superficie o de plano sencilla. Por diseño, las mallas tienen una capacidad limitada para almacenar contaminantes antes de que el sistema requiera limpieza. Si los contaminantes orgánicos están presentes en la fuente de suministro de agua, en muchas ocasiones, estos se mezclarán con los contaminantes inorgánicos y tapan completamente la malla del filtro.

Durante el proceso de limpieza, los contaminantes no se liberan o desprenden fácilmente de la malla, lo que resulta en un retro- lavado frecuente y excesivo. Aun utilizando unidades automáticas o que se auto-limpian se requerirá realizar la limpieza manual del cartucho.



**Figura 2.2. Filtros de malla**

Además del tamaño de malla, la " calificación de mesh " es otro término utilizado para describir el tamaño de un filtro de malla. La calificación de mesh es la partícula de tamaño más pequeña (micrones) que eliminará el filtro.

**Cuadro 2.1. Clasificación de las mallas industriales**

<b>TAMAÑO DE MALLA</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE MICRÓN</b>
30 Mesh	600 Micrones
60 Mesh	250 Micrones
100 Mesh	150 Micrones
200 Mesh	74 icrones

### **2.3.3. Hidrociclones**

Son utilizados cuando el agua está contaminada por arena y actúan como equipo de pre-filtrado con el objeto de evitar una limpieza frecuente del equipo de filtrado posterior. La procedencia de esta agua suele ser de pozos. El hidrociclón no tiene medio filtrante. Se diseña para que provoque en el agua un movimiento rotacional que origina una fuerza centrífuga. Los sólidos, al ser más pesados, son desplazados hacia el exterior de la corriente, chocando contra las paredes del filtro, pierden energía y se recogen en un colector de impurezas. La pérdida de presión de los hidrociclones depende del caudal a tratar exclusivamente. Si bien esta pérdida suele estar comprendida entre 1 y 6 mca, debe dimensionarse el cabezal de filtrado para que no llegue a 3 mca combinando tamaño y número de hidrociclones para que no se supere este cifra ya que el agua debe de alcanzar una velocidad adecuada.

La limpieza del filtro siempre es manual, desalojando del colector la arena acumulada.

En la imagen siguiente se muestran los elementos de un hidrociclón y su funcionamiento.



**Figura 2.3. Hidrociclón**

#### **2.3.4. Filtros de medio granular**

Su instalación es indicada para retener materia orgánica principalmente y arcillas, siendo utilizados cuando la procedencia del agua es de canales y balsas en contacto directo con la radiación solar. Se combinan en la instalación con los filtros de malla.

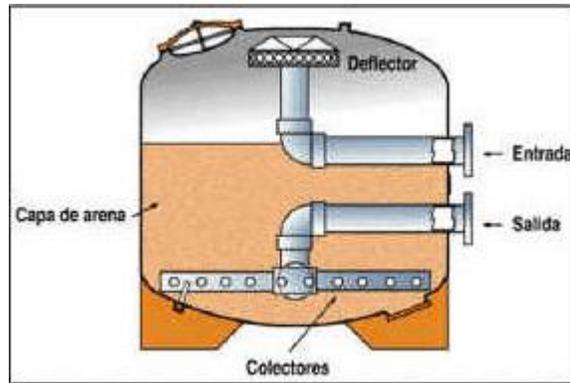
Consisten en tanques, generalmente metálicos, rellenos de arena, grava o de partículas de vidrio reciclado, produciéndose un filtrado en profundidad cuando el agua atraviesa el lecho del relleno (las partículas de vidrio ofrecen una mejor respuesta tanto al filtrado como a la limpieza).

La velocidad de filtración debe estar comprendida entre 40 y 60 m<sup>3</sup>/h por m<sup>2</sup> de lecho filtrante y será más lenta cuanto más sucia se encuentre el agua a tratar.

Las pérdidas de presión admisibles, con filtro limpio, son del orden de 1 a 3 mca, efectuándose la limpieza cuando estas pérdidas alcancen 4 o 5 mca.

La limpieza se realiza por contra-lavado, es decir, invirtiendo el sentido de circulación del agua utilizando el agua limpia procedente de uno o más filtros. La operación de lavado, además de limpiar la suciedad del lecho, sirve para agitarlo y evitar que se

compacte y se formen grietas o canales. La limpieza automática de filtros de arena requiere su instalación en paralelo con al menos dos filtros.



**Figura 2.4. Filtro de arena**

La clasificación de micras de los filtros de medios granular depende del tamaño de los medios utilizados, cuanto más pequeño sea el medio, más fina será la tasa de filtración. En el cuadro 2.3.1 se muestra los tamaños de arena de medios comúnmente disponibles y sus equivalentes en micras

**Cuadro 2.2. Tamaño de arena y micrón equivalentes**

Tamaño de arena	Micron Equivalente
# 12	150
# 16	105
# 20	75

Un material que se pretenda utilizar como medio filtrante debe ser permeable, es decir, tiene que ser fácilmente atravesado por el agua. Al mismo tiempo, debe ser suficientemente tupido como para que los conductos que se forman en su interior sean lo bastante estrechos para retener sólidos y crear un flujo laminar que permita la sedimentación de sólidos en la superficie de las partículas que forman el medio poroso.

El estudio de los medios filtrantes se remonta a la Francia del siglo XIX, cuando Henry Darcy desarrolló los primeros estudios matemáticos para predecir el comportamiento

de medios porosos (Lasseux y Valdés-Parada, 2017). Mediante un dispositivo que le permitía medir la presión del agua en la entrada y en la salida de un medio granular de geometría conocida alimentado uniformemente, al mismo tiempo que podía medir el caudal de agua,

Martínez (2001) dice que para la selección del tipo y tamaño del filtro apropiado deben considerarse los siguientes aspectos:

- Tipo, tamaño y concentración de las partículas en suspensión en el agua de riego.
- La calidad del agua requerida para asegurar el buen funcionamiento de los emisores.
- El caudal de diseño y pérdida de carga nominal del filtro.

El filtro, por ser un dispositivo que dificulta el paso del agua, requiere de una presión mínima para que circule el caudal deseado a través de él. Esta presión mínima se conoce como «pérdida de carga nominal» del filtro y no debe ser superior a 3,5 metros columna de agua (mca), 0,35 bar o 5,0 lb/Inch<sup>2</sup> (psi).

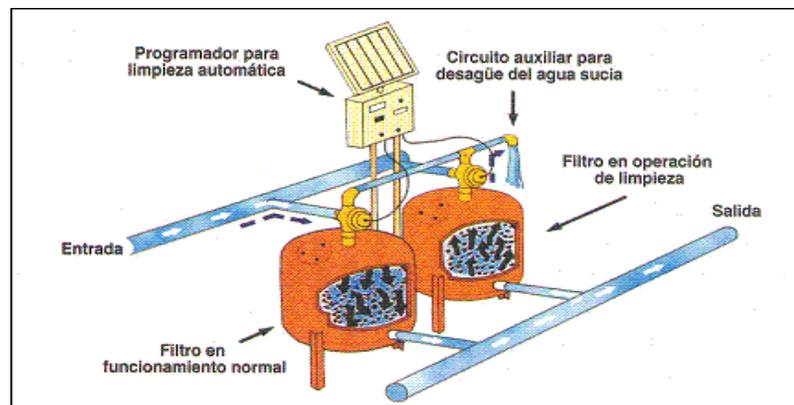


**Figura 2.5. Sistema de filtrado para riego por goteo para agua superficial**

La capacidad de los filtros para retener partículas de un determinado tamaño se expresa en unidades «mesh» que significa el número de orificios que tiene una malla por pulgada lineal, contados a partir del centro de un hilo.

Los filtros de medio granular son muy utilizados cuando se dispone de aguas con altos niveles de partículas orgánicas e inorgánicas, ya que tienen la particularidad de atrapar y retener niveles importantes de contaminantes sin aumentar significativamente la pérdida de carga, debido a que el cuerpo filtrante (cama granular) trabaja en tres dimensiones: superficie y profundidad.

Los filtros de medio granular consisten generalmente en dos o más tanques conectados en paralelo con una entrada y salida de agua común. En el modo «filtración» todos los tanques trabajan en paralelo, el agua ingresa al tanque por arriba, pasa a través de la cama granular que actúa como medio filtrante y es colectada agua limpia en el fondo.



**Figura 2.6. Funcionamiento de un sistema de filtrado**

#### **2.4. Filtración en el medio Granular**

Normalmente para un adecuado funcionamiento de un sistema de riego localizado, se utilizan sistemas de filtrado que cumplan con los requisitos de los emisores, el tipo de filtros a usar dependerá radicalmente de la calidad de agua a tratar, así como la vida del sistema anteriormente mencionado.

### **2.4.1. Características del medio filtrante**

Las características que tienen los medios son muy importantes en un filtro ya que en base a estos dependerá que calidad de agua pasará al sistema, Suarez, Jacome, y Ures (1975) mencionan las características más importantes en un lecho filtrante:

#### **2.4.1.1. Material granular**

El más utilizado es arena silícea ( $\rho \sim 2.65 \text{ T/m}^3$ ). También se utiliza antracita ( $\rho \sim 1.35$  a  $1.75 \text{ T/m}^3$ ) y granate ( $\rho \sim 4$  a  $4.2 \text{ T/m}^3$ ). Se emplea también carbón activo aunque con otros objetivos además del medio filtrante.

#### **2.4.1.2. Granulometría**

El tamaño va a determinar la luz de los intersticios. Se caracteriza mediante el  $d_{10}$  o luz de malla que deja pasar un 10 % en peso del material. El  $d_{10}$  es el tamaño o diámetro eficaz o efectivo, y determina, en gran parte, la calidad del filtrado, pues el diámetro de poro es, aproximadamente  $1/7$  del diámetro efectivo el coeficiente de uniformidad  $C_u$  da idea de la mayor o menor diversidad de tamaños. Se obtiene mediante la relación:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

En el caso de la arena el tamaño efectivo varía entre 0,50 y 2,50 mm.

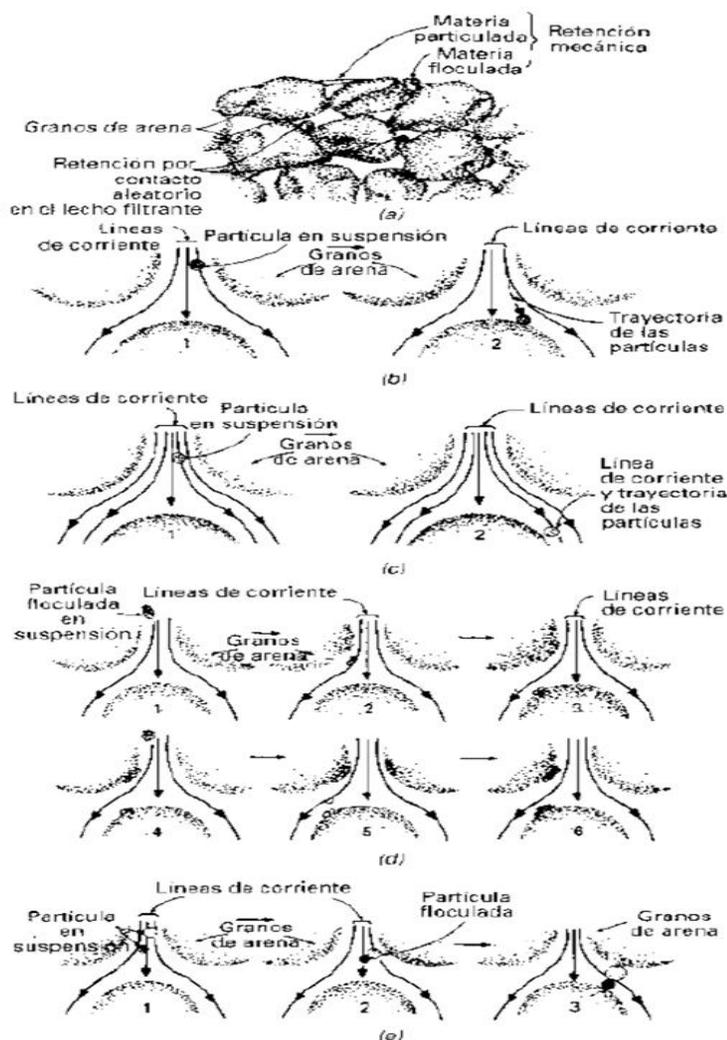


Figura 2.7. Mecanismos de eliminación de sólidos en suspensión de un filtro granular, por retención, por sedimentación, por intercepción, por adhesión y por floculación (Metcalf y Eddy, 1996)

### 2.4.1.3. Forma de los granos

Los granos pueden ser angulosos (material triturado), agudo, desgastado, o redondeado (arena de río y mar) y esférico. Para una misma granulometría, el aumento de pérdidas de carga es menor con granos angulosos que con granos redondos

#### **2.4.1.4. Atacabilidad**

El material puede degradarse por acción de agentes agresivos. Un ejemplo sería la acidez del agua. Para estimar la atacabilidad se sumerge el material filtrante en una solución de ácido sulfúrico al 5 % durante 24 horas y posteriormente se seca y se pesa.

#### **2.4.1.5. Friabilidad**

El material o medio filtrante a utilizar en los filtros debe ser dura y resistente. La formación de finos por desgaste del material debe reducirse al máximo. La acción de los lavados puede generar finos que atasquen el proceso

#### **2.4.1.6. Geometría del lecho**

El espesor del lecho y la superficie filtrante también son variables importantes. Un espesor Mayor de un lecho no tendrá una mejor calidad de filtrado de agua. El espesor o los medios filtrantes o lecho deben de estar a una mínima altura, deben de estar limpio para que cuando el agua pase a través de ella, este pase a ser de una muy buena calidad. A esta altura y a la velocidad establecida, corresponde una pérdida de carga mínima.

#### **2.4.2. Velocidad de filtración**

En la velocidad de filtración en un lecho poroso el caudal de agua a filtrar debe estar relacionado con la superficie de filtración disponible para conseguir unos rendimientos adecuados. Como parámetro básico de diseño se utiliza la velocidad de filtración, que es la relación entre el caudal a filtrar y la superficie horizontal del lecho ( $m^3/h/m^2$ ). (Suarez, Jacome, ures, 2014).

### **2.5. Turbiedad del agua**

La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.

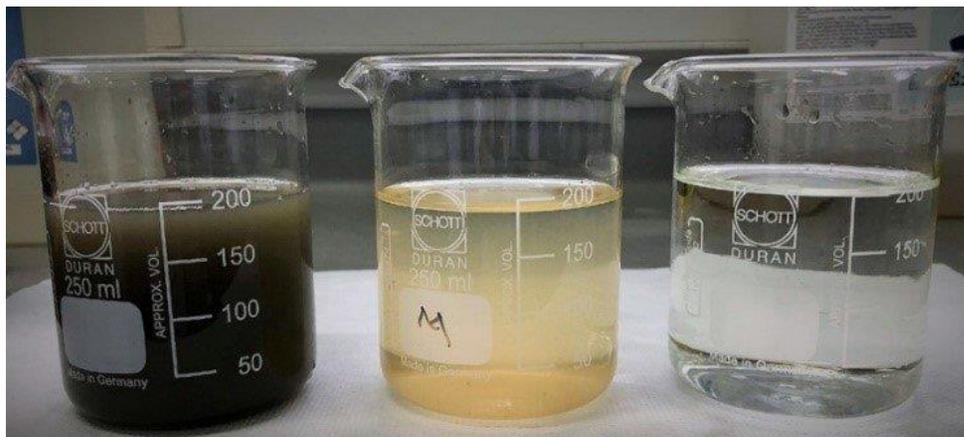
Eliminar la turbidez en el agua es de suma importancia ya que aseguraría el buen funcionamiento de los emisores en los sistemas de riego, así como evitando el taponamiento en los orificios de los goteros.

Hay varias formas prácticas de verificar la calidad del agua, la más directa es alguna medida de atenuación (es decir, reducción de la fuerza) de la luz a medida que pasa a través de una columna de muestra de agua, entre mayor sea la turbidez menor será la cantidad de luz reflejada a través de la muestra. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez.

Algunos de los parámetros que pueden influir en la turbidez son:

- Las intensas lluvias
- Obras hidroeléctricas
- Descarga de efluentes
- Fitoplancton
- Partículas de tierra que están suspendidas en el agua de erosión
- Descargas directas a cuerpos de agua

La turbidez del agua se mide en Unidades de turbidez nefelométrica (UTN).



**Figura 2.8. Estándares de turbidez de 500, 50 y 5 NTU**

## 2.6. Pérdida de carga en lechos filtrantes

Durante la filtración el agua pasa a través del material en el filtro haciendo que el fluido haga fricción con el medio produciéndose así una pérdida de presión y se produce como comúnmente llamamos pérdida de carga.

### 2.6.1. Ecuaciones generales

Las siguientes fórmulas son algunas de las que más se utilizan para calcular la pérdida de carga en un medio granular con flujo laminar

#### 2.6.1.1. Kozeny-Carman

$$\frac{h}{e} = \frac{(K * v_f * \nu)}{g} * \frac{(1 - f)^2}{f^3} * \left(\frac{6}{\psi}\right)^2 * \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_i^2}$$

Donde:

$h/e$  = Gradiente unitario, cm

$f$  = Porosidad, en %

$\psi$  = Factor de forma, (adimensional con valor de 0 y 1). 0 para partículas deformes y laminadas, 1 para partículas perfectamente esféricas.

$p_i$  = % de material por estrato

$d_i$  = Diámetro de partícula, cm

$v_f$  = Velocidad de filtración, cm/seg

$k$  = Constante de filtración, 5 (adimensional)

$\nu$  =  $1.02 \times 10^{-2}$ , viscosidad del agua a 20°C en Centistokes

$g$  = Aceleración de la gravedad, 981 cm/s<sup>2</sup>

### 2.6.1.2. Fair-Hatch:

$$h = kvS^2 \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^3} \left(\frac{L}{d^2}\right) \frac{V_s}{g}$$

$$h_s = kv \frac{(1-\alpha)^2}{\alpha^3} \frac{LV_s}{g} \left(\frac{6}{\psi}\right)^2 \sum \frac{p}{d_g^2}$$

Donde:

$h$  = Pérdida de carga, m

$K$  = Constante de filtración: igual a 5 basadas en la abertura de los tamices y con valor de 6 basado en el tamaño de la separación.

$\alpha$  = Porosidad, %

$L$  = profundidad del lecho filtrante, m

$V_s$  = Velocidad de filtración superficial (de aproximación), m/s

$g$  = Aceleración de la gravedad, 9.8 m/s<sup>2</sup>

$\psi$  = Factor de forma de las partículas (esféricas, redondeadas, trituradas y angulada)

$p$  = Fracción de partículas (en masa) retenidas entre dos tamices consecutivos.

$d_g$  = Diámetro promedio geométrico entre los tamaños de tamiz  $d_1$  y  $d_2$   $\sqrt{d_1 d_2}$ , m

$d$  = Diámetro del Grano, m

$S$  = Factor de forma (entre 6.0 para partículas esféricas y 8.5 para materiales machacados).

### 2.6.1.3. Ecuación de Rose

$$h = \frac{1.067}{\phi} C_d \frac{1}{\alpha^2} \frac{L V_s^2}{d g}$$

$$h_s = \frac{1.067}{\phi} \frac{L V_s^2}{g \alpha^4} \sum C_d \frac{p}{d_g}$$

$$C_d = \frac{24}{N_r} + \frac{3}{\sqrt{N_r}} + 0.34$$

Donde:

$\Phi$  = Factor de forma de las partículas (1.0 para esferas, 0.82 para arena redondeada, 0.75 para arena normal, 0.73 para arena material triturada y arena angulada)

$C_d$  = Coeficiente de arrastre

$\alpha$  = Porosidad, %

$L$  = Profundidad del lecho filtrante, m

$d$  = Diámetro del grano, m

$V_s$  = Velocidad e filtración superficial (de aproximación), m/s

$g$  = Aceleración de la gravedad, 9.8 m/s<sup>2</sup>

$\nu$  = Viscosidad del agua, Pascal\*s

$p$  = Fracción de partículas (en masa) retenidas entre dos tamices consecutivos.

$d_g$  = Diámetro medio entre los tamaños de tamiz  $d_1$  y  $d_2$   $\sqrt{d_1 d_2}$ , m

$N_R$  = Número de Reynolds. Donde  $N_R = (\Phi * d * V_s) / \nu$ , adimensional

#### 2.6.1.4. Hazen

$$h = \frac{1}{C} \frac{60}{T + 10} \frac{L}{d_{10}^2} V_h$$

Donde:

h = Pérdida de carga, m

C = Coeficiente de compactación (varía entre 600 para arenas muy compactas y no muy limpias 1,200 para arenas muy uniformes (limpias))

T = Temperatura, °C

d<sub>10</sub> = Diámetros de granos efectivo, mm

L = Profundidad del lecho filtrante, m

V<sub>h</sub> = Velocidad de filtración superficial (de aproximación), m/d

### 2.7. Calculadoras para estimar la caída de carga en medios granulares

Existen en línea programas para la determinación de la pérdida de carga en filtros de medios granulares, no obstante, están diseñados para calcular a través de un solo tipo de medio. Estos programas son los siguientes:

#### 2.7.1. Kozeny Carman Equation Calculator de az calculator (2019)

Este programa estima la caída de carga en un medio o lecho limpio, la ecuación empleada para el cálculo es la siguiente:

$$\frac{\Delta_p}{L} = \left( \frac{180 \cdot \mu}{\Phi_s^2 \cdot D_P^2} \cdot \frac{(1-n)^2}{n^3} \right) \cdot v_s$$

En donde:

$\Delta p$  = caída de presión (Pascal)

$L$  = Altura total de la cama (m)

$\mu$  = viscosidad del fluido (Pa \* s)

$\Phi_s$  = Esfericidad de las partículas en el lecho, (0-1) adimensional

$D_p$  = Diámetro de la partícula esférica relacionada (m)

$n$  = porosidad de la cama, %

$v_s$  = Velocidad de flujo de fluido superficial a través del medio (m / s)

### 2.7.2. Filter pressure drop calculator de Lukáš Kolík (2019)

Esta al igual que la anterior resuelve la ecuación de Kozeny-Carman, con la calculadora que funciona por medio de una hoja en Excel

$$\frac{hf}{L} = \left( \frac{150 * \mu}{\Phi_s^2 * D_p^2} * \frac{(1 - \epsilon)^2}{\epsilon^3} \right) * V_s$$

En donde:

$H_f$  = Caída de presión, Pascal en la capa del medio granular

$L$  = Espesor de las capas, mm

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido, Pascal\*seg

$\Phi_s$  = Esfericidad de las partículas (0-1)

$D_p$  = Diámetro de las partículas esféricas, mm

$\epsilon$  = Porosidad de la capa, %

$V_s$  = velocidad de flujo en la superficie m/s

### 2.7.3. Fx solver calculator Kozeny-Carman

La ecuación usada en este programa es básicamente igual a la de la calculadora 2.6.1 de az calculator. La calculadora solo calcula la caída de presión de una sola capa similar a las dos anteriores, sin embargo, se pueden calcular en varias capas, sumando la pérdida de carga ( $hf$ ) de los materiales que se desea empaquetar dentro del filtro.

La ecuación Kozeny-Carman es re-arreglada para expresarse como:

$$\frac{hf}{L} = \left( \frac{(180 * \mu)}{\Phi_s * D_p^2} * \frac{(1 - n)^2}{n^3} \right) * V_s$$

Donde:

Hf = Caída de presión por estrato o capa del medio granular (pascal)

L = Altura total de la cama (m)

M = viscosidad del fluido (Pa \* s)

$\Phi_s$  = Esfericidad de las partículas en el lecho (0-1) adimensional

$D_p$  = Diámetro de la partícula esférica relacionada (m)

n = porosidad de la cama (%)

$V_s$  = Velocidad de flujo de fluido superficial a través del medio (m / s)

### 2.8. Qué es Excel.

Excel es un programa informático que está diseñada por la empresa Microsoft y que forma parte de Office.

Excel se distingue de todos los programas ofimáticos porque permite trabajar con datos numéricos. Con los números que almacenamos en Excel podremos realizar cálculos aritméticos básicos y también podremos aplicar funciones matemáticas de mayor complejidad, o utilizar funciones estadísticas. Las herramientas incluidas en

Excel permiten realizar un trabajo en muy corto tiempo también permite analizarlos mediante graficas o tablas dinámicas.

En el año 1982, Microsoft incursionó en el ámbito de las hojas de cálculo electrónicas con el lanzamiento de su producto Multiplan (Excel Total 2019), por la competencia que tenía en ese entonces Excel se vio obligado a lanzar la hoja de cálculo Lotus1-2-3 en el año de 1983. En 1987 Microsoft lanzó su primera versión de Excel hoja de cálculo con una versión para la plataforma de Windows

### **2.8.1. Las macros en Excel**

Excel También permite el uso de programación mediante las herramientas de desarrollo como Visual Basic. Una macro es una acción o un conjunto de acciones organizadas y vinculadas en una plantilla para la realización automática de una tarea (es un protocolo o procedimiento).

Cuando se van creando las macros un botón va grabando los clics del mouse y las pulsaciones de teclas. Luego de estar ya en funcionamiento o creada se pueden modificar algunas de sus acciones.

Las macros se escriben en un lenguaje de computadora especial que es conocido como Visual Basic for Applications (VBA). Este lenguaje permite acceder a prácticamente todas las herramientas de Excel y con ello también ampliar la funcionalidad del programa. Excel provee de una herramienta especial que facilita crear una macro sin necesidad de conocer los detalles del lenguaje de programación.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar y fecha de establecimiento**

EL presente estudio fue realizado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Octubre de 2019.

La recopilación de datos, las consultas en la web que fueron necesarias para crear la base de datos, la corrida del programa, resultados y discusión fueron en el centro de cómputo académico de la Universidad y biblioteca de la UAAAN donde se encontró información relevante al proyecto.

#### **3.2. Materiales y equipos requeridos**

- Computadora (laptops), disponible para trabajar en sitios requeridos como en el Departamento de riego y drenaje, en la habitación o en la biblioteca.
- Software (Excel, AutoCAD, Cualquier versión)
- Memorias USB 2.0
- Manual con especificaciones de los modelos de los diferentes fabricantes de filtros que hay en el mercado (archivos pdf) de la irrigación industrial.
- Imágenes de los diferentes tipos de filtros (jpg)
- Imágenes CAD con los diferentes tamaños y estructuras de acoplamiento de los tanques.

#### **3.3. Metodología para la selección de equipos de filtración**

La búsqueda de las características de los filtros de medio granular fue consultada en las páginas oficiales de las siguientes casas comerciales, capturando los modelos de cada fábrica y registrando en una lista el número de tanques, caudal tratado, área de filtración y diámetro.

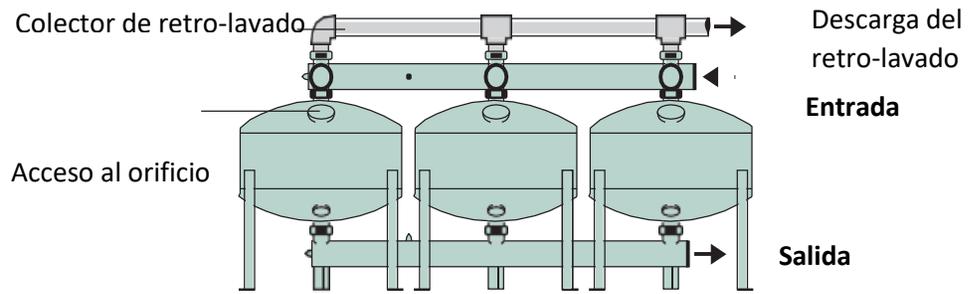
- \* **Yardney.** Fue el pionero en el uso de filtros de grava-arena en 1965 y a través de avances tecnológicos, continúa suministrando alto rendimiento y valor a largo plazo al campo.

Los filtros de grava-arena de Yardney son fabricados en Estados Unidos de América con los estándares de calidad más altos.

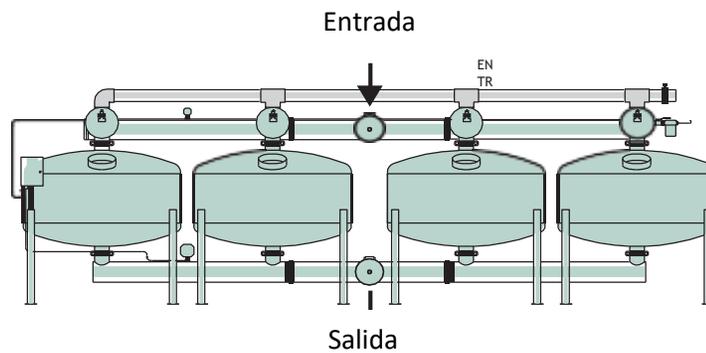
Con tanques en Acero al carbón y acero inoxidable, material con un espesor de calibre 10. Con colector de malla ranurada de acero inoxidable con una resistencia de más de 600 psi, con sistema desmontable para el cambio de cama de arena.

- \* **Netafim.** Cuenta con tanques automáticos, metálicos y materiales no corrosivos
- \* **Wade Rain.** Con filtros de arena de Acero al carbón y acero inoxidable
- \* **Rivulis.** Con tanques de filtros Acero al carbón y revestimiento de Acero recubierto de polvo de poliéster (Proceso de unión por fusión). Con opciones de configuración de la instalación, entrada final, entrada central, patrón H.
- \* **Lakos.** Con tanques de construcción robusta de acero al carbón, revestida con poliéster por dentro y por fuera, con pared de 10 calibres y una bóveda muy gruesa. Con opciones de configuración de la instalación, entrada final, entrada central, patrón H.

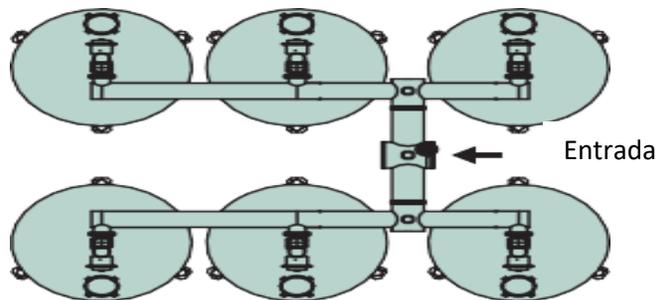
Las siguientes imágenes muestran las instalaciones disponibles para la alimentación de los tanques.



**Figura 3.1. Tanques alimentados en la Entrada (Lakos 2008)**



**Figura 3.2. Tanques alimentados en Centro (Lakos 2008)**



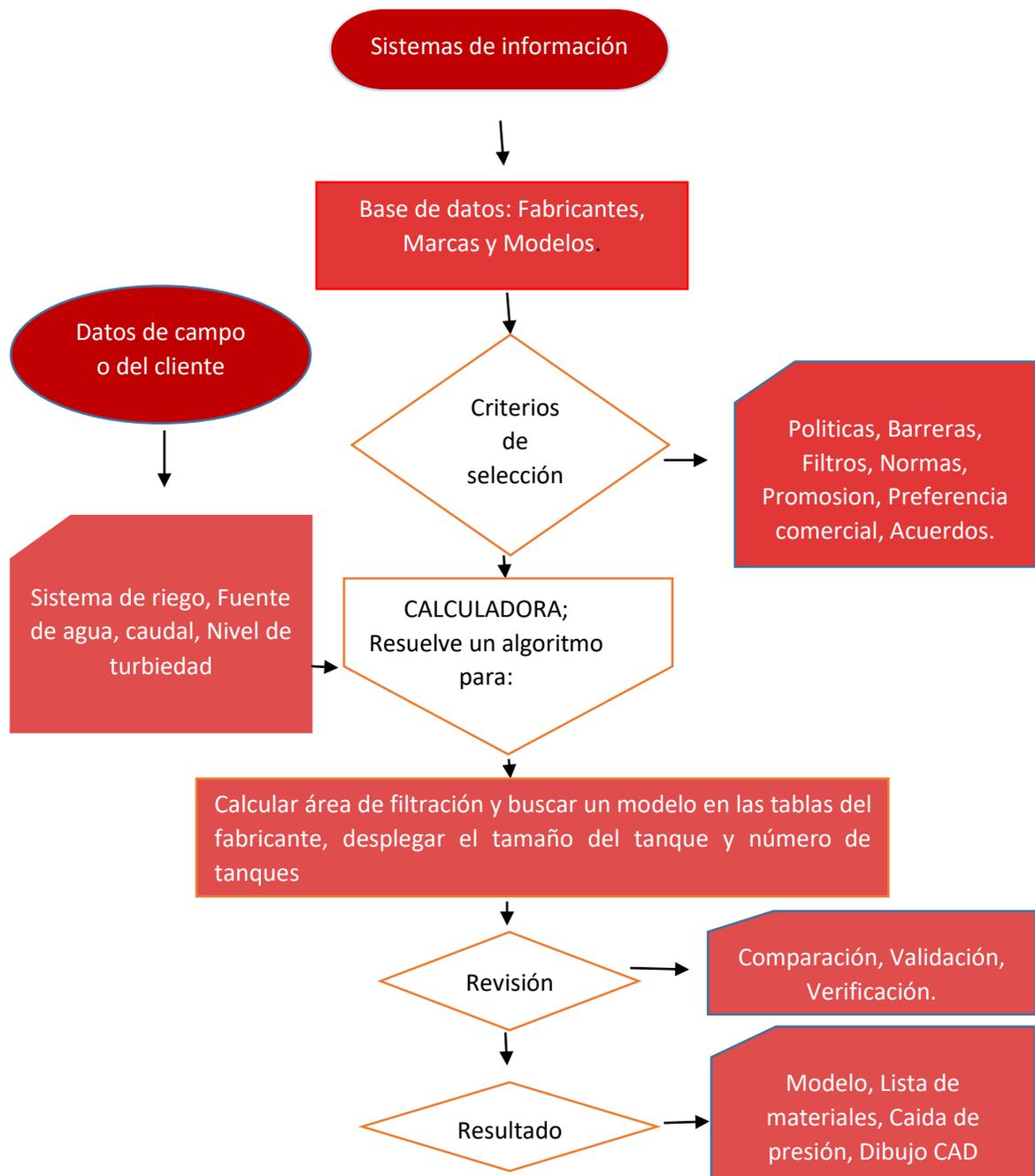
**Figura 3.3. Tanques alimentados en H (Lakos 2008)**

Las características de los tanques y modelos de los fabricantes se clasificaron de la siguiente manera en un cuadro de Excel., preparar la base de datos fue muy simple.

**Cuadro 3.1. Registro para la Base de Datos Interna**

Marca:			Flujo		Presión			
Grava-Arena	Modelo:	No. De tanques	Min (GPM)	Máx (GPM)	Máx (PSI)	Tamaño de Manifold Entrada/Salida	AREA DE FILTRACION (ft2)	Diametros de tanque
Yardney								
Netafim								
WadeRain								
Rivulis								
Lakos								

Los datos extraídos fueron escogidos de acuerdo a lo necesitado para el cálculo de la selección. “Campo” es la columna dentro de una base de datos, “registro” es la fila dentro de una base de datos y “nombre de campo” es un texto que se anota en la fila superior de una base de datos. Se ingresaron los nombres de los fabricantes, los modelos y los datos de los filtros en una hoja de trabajo.



**Figura 3.4. Diagrama de flujo mostrando los pasos que se siguen al seleccionar y ensamblar un modelo de filtros para un sistema de riego localizado (goteo, micro-aspersión)**

### 3.4. Programación de Excel para la selección de filtros

Para el cálculo se necesitan ciertos valores que el cliente o proyectista necesitan agregar a las celdas marcadas, tales datos son:

- \* Gasto del sistema de riego (goteo, micro-aspersión), en GPM
- \* Turbiedad de la fuente (5 NTU baja, 50 NTU media y 500 NTU muy alta).

Para una selección adecuada de equipo de filtrado se utilizó la siguiente fórmula para tener una óptima área de filtración.

$$Af = \frac{Q}{T}$$

Donde:

Af = Área de filtración, ft<sup>2</sup>

Q = Gasto del sistema de riego, GPM

T = Turbiedad del agua, (en donde 15 es para agua muy turbia, 20 para agua medianamente turbia y 25 para aguas poco turbias expresados en gpm/ft<sup>2</sup>)

Los datos consultados en los manuales y en los catálogos se almacenan en una hoja de Excel, llamada base de datos.

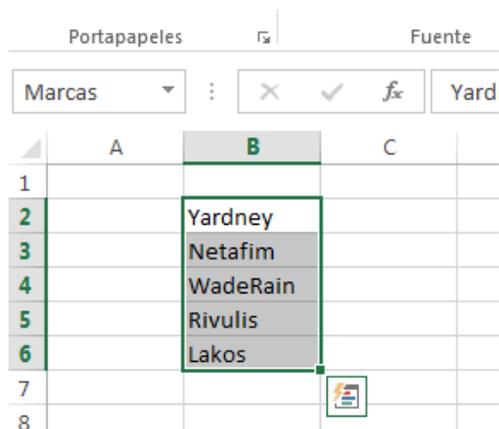
#### 3.4.1 Funciones para la búsqueda y selección

Cuando dichos valores que se requieren sean colocados en las celdas correctas se hará la corrida en Excel.

### 3.4.1.1 Creación de listas desplegables

Las marcas de los fabricantes fueron puestas en una lista desplegable mediante “Validación de Datos” en una celda específica. Esta funcionalidad de Excel permitirá establecer limitaciones sobre los tipos de datos, así como sobre los valores a introducir en una celda determinada. El usuario tendrá que introducir mediante la lista desplegable una de las cinco opciones que se mostraran.

Para la validación de datos primeramente se creó una lista de las marcas, acomodando cada marca en una sola celda en una pestaña diferente, al seleccionar las celdas donde se introdujeron dichas marcas, posteriormente se le cambio el nombre a este conjunto de celdas llamándolas “Marcas”.



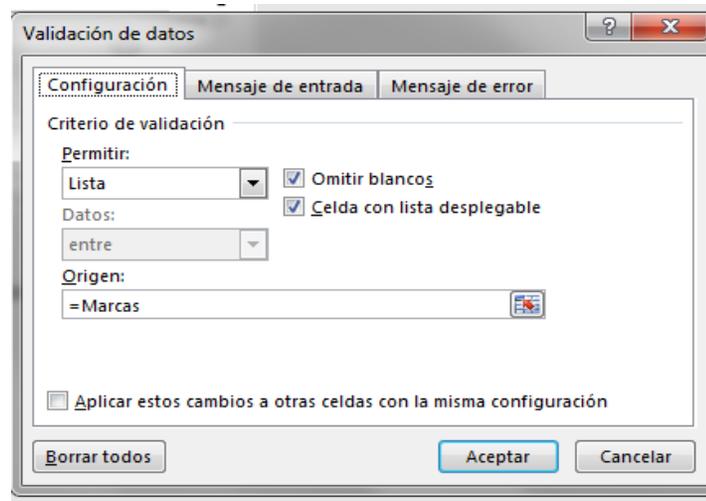
**Figura 3.5. Lista con nombre Marcas para la validación de datos**

A continuación, se seleccionó la celda donde estará la lista desplegable. En las pestañas de Excel se dirigió a la pestaña “Datos” y luego “Validación de Datos”. En configuración y en permitir se desplego una lista y se eligió “Lista” para que mostrara una lista desplegable.

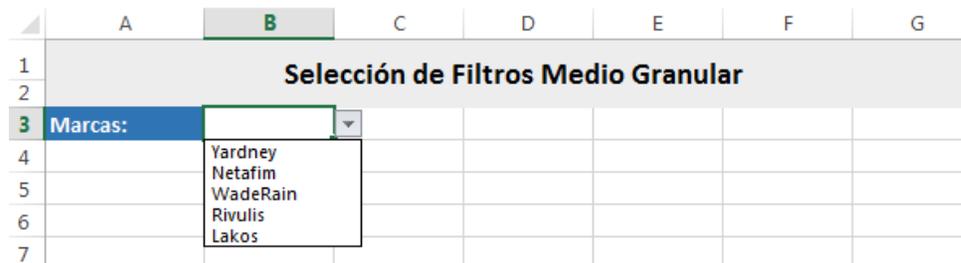
Para seleccionar la lista de las marcas en las celdas donde se pusieron los nombres de las marcas se introdujo la siguiente fórmula: fx = Marcas, aceptar.

Esta fórmula permite a la celda desplegar los nombres de las marcas que se colocaron en la pestaña donde aparecen dichos nombres.

En la siguiente imagen se puede observar la ventana emergente con los datos ya insertados en ella.



**Figura 3.6. Validación para una lista con el nombre de Marcas**



**Figura 3.7. Lista desplegable con las marcas de los filtros**

### 3.4.1.2 Función Si en conjunto con funciones, índice y coincidir

Esta función permite realizar comparaciones lógicas entre un valor y el resultado que se espera. Por esto, una instrucción SI puede tener dos resultados. El primer resultado es si cuando la comparación es Verdadera y el segundo es 0 si la comparación es Falsa.

En este caso como la celda en el que se va a buscar no quedara vacía y siempre contendrá un nombre, la celda aplicada a la función Si no arrojará un valor cero.

- \* **Índice:** Esta función ayuda a obtener el valor de una celda dentro de una matriz especificando el número de fila y columna. Esta función tiene dos maneras de uso; de forma matricial y de forma de referencial.
- \* **Coincidir:** La función COINCIDIR en Excel ayuda a localizar un elemento dentro de un rango de celdas y devuelve su posición. En otras palabras, la función COINCIDIR ayuda a obtener el número de fila que ocupa el elemento buscado

En esta función se encuentran tres argumentos

1. Valor buscado (obligatorio): El valor que estamos buscando.
2. Matriz buscada (obligatorio): El rango de celdas donde realizaremos la búsqueda.
3. Tipo de coincidencia (opcional): Un número que indica el tipo de coincidencia en la búsqueda.

El Tipo de coincidencia especificado en la función tendrá un efecto en la manera en que se hace la búsqueda. Los siguientes valores son los posibles para el tercer argumento de la función COINCIDIR:

1. La función COINCIDIR encontrará el valor más grande que sea menor o igual al valor buscado. La matriz de búsqueda debe estar ordenada de manera ascendente.
2. La función COINCIDIR encontrará el primer valor que sea exactamente igual al valor buscado. La matriz de búsqueda puede estar en cualquier orden.
3. La función COINCIDIR encontrará el valor más pequeño que sea mayor o igual que el valor buscado. La matriz de búsqueda debe estar ordenada de manera descendente.

Al combinar estas funciones INDICE y COINCIDIR permite buscar un valor en una matriz o base de datos, como resultado de la intersección de una fila y una columna en específico

Con la función COINCIDIR se averigua el número correspondiente de la fila y de la columna y después con la función INDICE se especifica la tabla y el nº de fila y columna.

La sintaxis correcta de las funciones es la siguiente:

COINCIDIR (valor buscado; tabla en la que se busca; tipo de coincidencia),  
INDICE (tabla; nº fila; nº columna)

En este trabajo, se utilizaron estas tres funciones para crear una rutina de funciones en la que con base a la selección de la marca escogida y con un área de filtración X expresada en pies cuadrados (ft<sup>2</sup>), se puede extraer el modelo de la base de datos donde se encuentran las marcas.

Fue necesario crear una lista de las marcas de forma descendente para que el programa pudiera tomar el modelo inmediato superior de un modelo más cercano al área calculada.

La función SI, combinada con las funciones INDICE y COINCIDIR, fue un poco larga para buscar el modelo de una marca en función del área de filtración calculada, a partir del dato inmediato superior en la base de datos. Por esta razón y para no serla muy confusa se muestra la fórmula con las 3 funciones para buscar el modelo de cada fabricante (marcas).

1. Rutina de funciones empleada para buscar el adecuado modelo en la marca Yardney  
SI (Marcas="Yardney", INDICE ('Base de datos'! Columna donde se encuentran los modelos Yardney, COINCIDIR (área de filtración!, 'Base de datos'! Columnas donde se encuentran áreas de filtración de Yardney,-1))
  
2. Rutina de funciones empleada para buscar el adecuado modelo de la marca Netafim

SI (Marcas="Netafim", INDICE ('Base de datos'! Columna donde se encuentran los modelos Netafim, COINCIDIR (área de filtración!, 'Base de datos'! Columnas donde se encuentran áreas Netafim,-1))

3. Rutina de funciones empleada para buscar el adecuado modelo en la marca WadeRain

SI (Marcas="WadeRain", INDICE ('Base de datos'! Columna donde se encuentran los modelos WadeRain, COINCIDIR (Área de filtración, 'Base de datos'! Columna donde se encuentran áreas de WadeRain,-1))

4. Rutina de funciones empleada para buscar el adecuado modelo en la marca Rivulis

SI (Marcas="Rivulis", INDICE ('Base de datos'! Columnas donde se encuentran los modelos Rivulis, COINCIDIR (Área de filtración, 'Base de datos'! Columna donde se encuentran áreas de filtración Rivulis,-1))

5. Rutina de funciones empleada para buscar el adecuado modelo en la marca Lakos

SI (Marcas="Lakos", INDICE ('Base de datos'! Columna donde se encuentran los modelos Lakos, COINCIDIR (Área de filtración, 'Base de datos'! Columnas donde se encuentran áreas de filtración Lakos,-1))

El tipo de coincidencia para la función coincidir fue -1 que significa que el valor es el inmediato superior (Valor más cercano en cuestión de ser menor al valor de resultado)

Al juntar todas estas rutinas de cada marca se consigue una sola función empleada para la búsqueda de los modelos.

En resumen, la sintaxis para toda la fórmula completa sería la siguiente

fx =SI (celda contenedora del valor=Valor lógico, INDICE (Matriz del valor buscado, Coincidir (Valor para buscar su posición, Tipo de coincidencia))

### 3.4.1.3 Función BuscarV

Ya que la información está organizada de manera vertical, es decir organizada por columnas se puede utilizar esta función de manera muy eficaz. Esta función como su nombre lo indica busca un valor o elementos en una tabla o en un rango por fila.

Esta función a igual que las otras contiene ciertos argumentos que son la manera en como se ordenan los datos para trabajar así como ciertos criterios de ejecución.

Los argumentos son:

- **Valor\_buscado (obligatorio):** Este es el valor que queremos encontrar y el cual será buscado en la primera columna del rango de datos. Se puede colocar el texto encerrado en comillas o podemos colocar la referencia a una celda que contenga el valor buscado. La función BUSCARV no hará diferencia entre mayúsculas y minúsculas.
- **Matriz\_buscar\_en (obligatorio):** El segundo argumento es una referencia al rango de celdas que contiene los datos.
- **Indicador\_columnas (obligatorio):** El Indicador\_columnas es el número de columna de donde se desea extraer un registro como resultado. Una vez que la función BUSCARV encuentra una coincidencia del Valor\_buscado devolverá como resultado la columna especificada en este argumento.
- **Ordenado (opcional):** Este argumento es un valor lógico, es decir falso o verdadero. Con este argumento indicamos a la función BUSCARV el tipo de búsqueda que realizará y que puede ser una búsqueda exacta (FALSO) o una búsqueda aproximada (VERDADERO). Si este argumento se omite se supondrá un valor VERDADERO.

En su forma más simple, la función BUSCARV indica lo siguiente:

$fx = \text{BUSCARV}$  (según lo que desee buscar, el número de columna del rango que contiene el valor que se devolverá, devolverá una coincidencia aproximada o exacta, indicada como 1/verdadero o 0/falso).

Esta función se utilizó para la búsqueda de los gastos mínimos y gastos máximos de los modelos la presión y los diámetros.

A continuación se muestra la función Buscar V empleada para buscar estos valores:

BuscarV para flujos máximos y mínimos del sistema de filtrado. En este caso el valor buscado fue el modelo:

`=BUSCARV (Modelo,'Base de datos'!Matriz donde se encuentran los datos, Columna donde se encuentra el gasto máximo ,FALSO (Busqueda exacta))`

Para presión del sistema y diámetro se utilizaron los mismos pasos

`=BUSCARV (modelo,'Base de datos'! Matriz donde se encuentran los datos,5 columna de presión ,FALSO (valor exacto))`

	A	B	C	D	E
1		<b>Selección de Filtros Medio Granular</b>			
2					
3		<b>Marcas:</b>	Yardney		
4					
5					
5		<b>Gasto (GPM):</b>	900		
7		<b>Q(min Tanque:)</b>	755		
3		<b>Modelos:</b>	F1700-48-4		
9		<b>Q(máx Tanque:)</b>	1255		
0		<b>Diámetros:</b>	48		
1					
2		<b>Presion(PSI):</b>	80		
3					
4					

**Figura 3.8. Celdas donde se emplearon las funciones para buscar modelos de filtros, gastos, diámetros y presión**

### 3.4.2. Búsqueda de imágenes

Para una mejor búsqueda y para conocer un poco acerca de las marcas de filtros se empleó una búsqueda de imágenes de los filtros de cada una de ellas. Para que

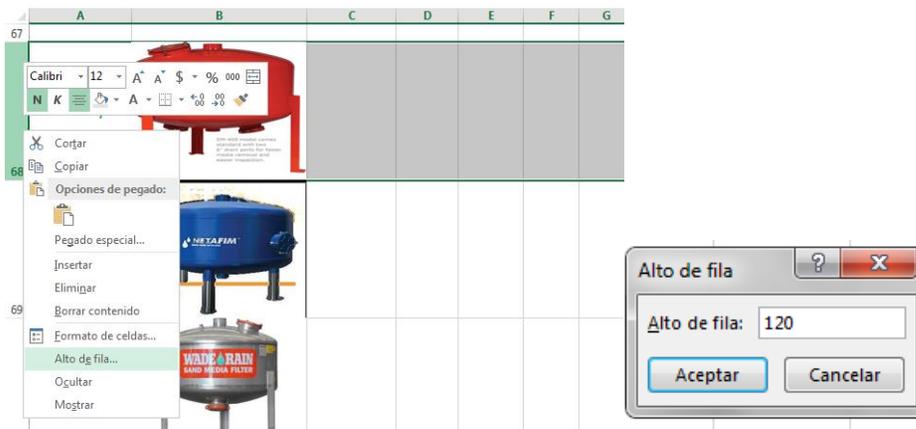
cuando el proyectista o persona que utiliza la calculadora pueda ver cuáles son las características del filtro de un cierto fabricante.

Este sencillo método puede retornar imágenes dentro de celdas utilizando un contenedor dispuesto dentro de los límites de una celda al especificar un criterio dentro de otra.

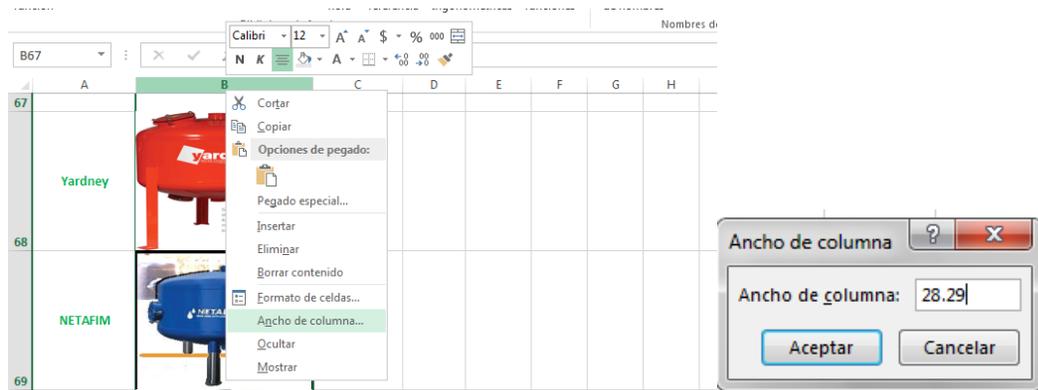
Primeramente se empleó una pequeña base de datos que relaciona algunas imágenes asociadas a los nombres de los fabricantes.

Las imágenes fueron puestas al lado derecho de las celdas correspondientes a sus nombres, de la lista ya creada anteriormente llamada “Marcas”. A continuación se modificaron los altos de fila a 120 y al ancho de la columna se modificó a 28.29.

Dando clic derecho a la columna y posteriormente la fila agregando los altos de fila y ancho de columnas, como en la figura siguiente.



**Figura 3.9. Pasos para cambiar alto de fila**

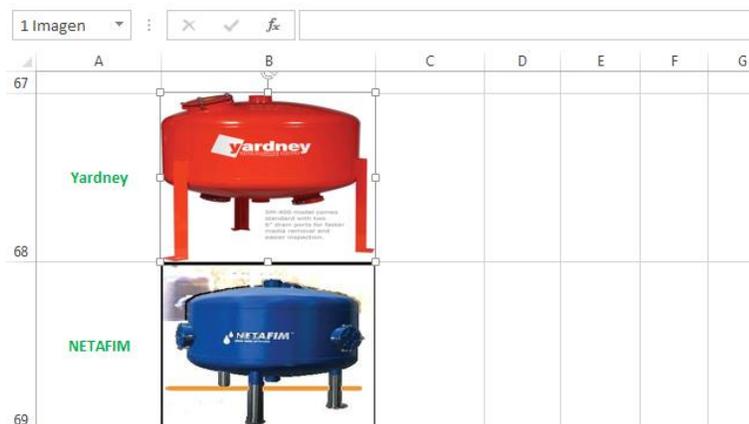


**Figura 3.10. Pasos para cambiar ancho de columna**

Las alturas y ancho tenían que ser iguales para los cinco nombres, esto para que puedan desplegarse en la celda especificada.

Como se puede observar para la celda seleccionada al igual que para los nombres, se hicieron los cambios en cuanto a las filas y columnas ya una vez que se hizo todo esto se colocaron las imágenes dentro de los límites de cada una de las celdas.

Manteniendo la tecla Alt oprimida y poniendo el puntero en una de los diferentes puntos para mover imagen, se ajustaron muy bien en las celdas.



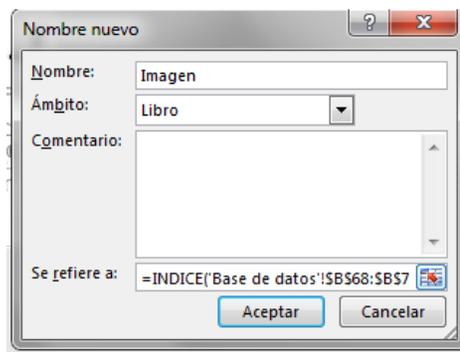
**Figura 3.11. Imágenes de Yardney y Netafim ajustadas en sus propias celdas**

Posteriormente se anidó una fórmula en una celda cualquiera, mediante dos funciones combinadas, Índice y Coincidir. Esta fórmula permite buscar y devolvernos la imagen deseada. La fórmula es la siguiente

```
=INDICE('Base de datos!' selección de las imagenes, COINCIDIR (Calculadora!Valor buscado,Marcas,0))
```

La fórmula creada se copió y borró al mismo tiempo ya que la fórmula no serviría en dicha celda.

En la pestaña “Formulas” luego en “Administrador de Nombres” y en “Nuevo”, en el cuadro de dialogo “Nombre Nuevo” se creo un nuevo nombre este se llamo “Imagen”, y en la formula se pego el ya creada anteriormente.



**Figura 3.12. Cuadro de dialogo para nuevo Nombre**

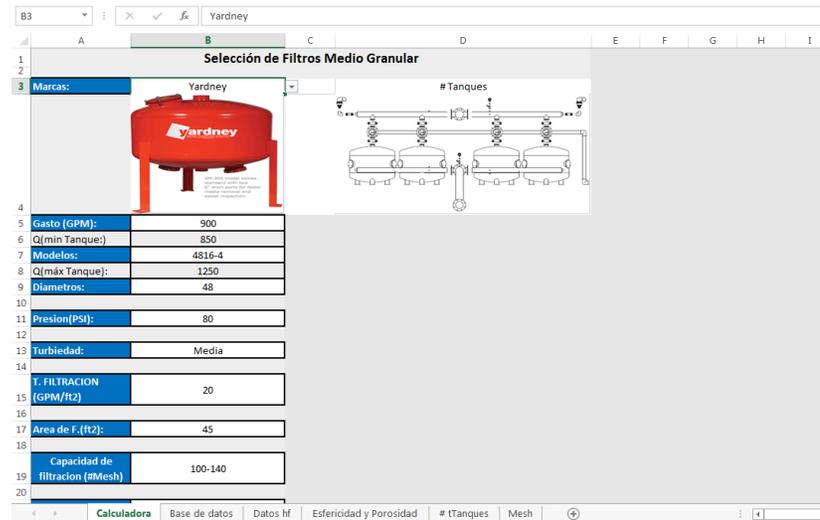
Posteriormente se copió una imagen de la base de datos de una de las marcas y se pegó en la celda creada de la hoja Calculadora. Esta imagen cambia al poner una fórmula en ella.

Se seleccionó la imagen y después en la barra de formulas, se colocó la siguiente fórmula

fx =Imagen

Al seleccionar una marca en la lista desplegable esta fórmula buscará la imagen correspondiente al nombre dentro de la base de datos.

Se crearon imágenes CAD para los sistemas de filtración en H. Al costado de la imagen de las marcas se colocó la configuración de los tanques. Para éste procedimiento se emplearon los mismos métodos para la búsqueda de imágenes de marcas.



**Figura 3.13. Selección de filtros con sus respectivas imágenes y configuración de tanques a partir del gasto del sistema de riego y nivel de turbiedad en Excel**

### 3.5. Metodología para estimar la pérdida de carga en filtros de medio granular

Para calcular la caída de carga en el filtro de arena y grava se utilizó la ecuación de Kozeny-Carman que anteriormente se mencionó (Ecuación 2.4.1.1).

$$\frac{h}{e} = \frac{(K * v_f * v)}{g} * \frac{(1 - f)^2}{f^3} * \left(\frac{6}{\psi}\right)^2 * \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{d_i^2}$$

Para la velocidad de filtración en la cama granular se empleó la ecuación de Darcy, esta fórmula relaciona el gasto que requiere el sistema entre el área de filtración de los tanques. La ecuación expresada es la siguiente:

$$v = 0.0679 \cdot Q / A_f$$

Donde:

$v$  = Velocidad de filtración en el medio granular, cm/seg

$Q$  = Gasto total del sistema, gpm

$A_f$  = Área de filtración, ft<sup>2</sup>

0.679 actor de conversión

### 3.6. Selección de medios granulares

Al igual que en los sistemas de riego, los sistemas de filtración de medio granular también causan una caída de carga debido a la fricción del agua en los medios granulares que existen en ellos

En el cuadro siguiente se muestran los tamaños de medios granulares típicos para tanques de filtración de alta tasa para irrigación agrícola.

**Cuadro 3.2. Medios granulares para tanques de irrigación**

# TAMIZ	Materiales	Tamaño, mm	# Mesh
12	#12Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90
16	#16Arena Monterrey Redonda	0.65	100-125
8	#8Granito Triturada	1.5	100-140
12	#12Arena Sílica Triturada	1.2	130-140
20	#20Arena Monterrey Redonda	0.5	130-140
11	#11Granito Triturada	0.78	140-200
16	#16Arena Sílica Triturada	0.7	150-200
20	#20Arena Sílica Triturada	0.47	200-250

Para la caída de carga es necesario tener en cuenta algunos aspectos importantes que el usuario debe considerar. En los sistemas de riego localizado (Goteo y Micro-Aspersión) el sistema o más bien los goteros o las boquillas de los aspersores requieren de cierto tipo de filtrado, entre más pequeño sea el orificio o el área de apertura, requerirá un tipo de filtrado más eficiente.

Por ejemplo, para una cinta de riego de marca Toro con un caudal de 2.1 l/h se necesita una filtración requerida de 120 a 140 mesh.

**Cuadro 3.3. Filtración requerida para distintos modelos de goteros Toro**

AQUA-TRAXX° CAUDALES					
Número de parte	Espaciamiento entre goteros cm	Caudal por gotero		Exponente del gotero	Requisito de filtrado mesh (micrones)
		lph 0.7 bar	lph/1 metro 0.7 bar		mesh (micrón)
<b>Gotero 0.43 lph</b>					
EAXxx0825	20	0.43	2.11	0.55	200 (74)
EAXxx1613	40	0.43	1.05		
<b>Gotero 0.57 lph</b>					
EAXxx1814	45	0.57	1.24	0.5	140 (105)
EAXxx2411	60	0.57	0.93		
<b>Gotero 1.01 lph</b>					
EAFcXxx0690	15	1.01	6.66	0.3	150 (98)
EAFcXxx0867	20	1.01	4.99		

### 3.6.1. Rutinas para la selección de medios porosos

Para poder elegir el tipo de material granular, se recomendó ingresar en una celda la filtración que requiere el emisor, ya sean cintas o goteros o micro-aspersores y se hizo una lista desplegable con fórmula.

Se le asignó un determinado número de mesh a cada uno de los materiales, sin embargo, se encontraron mesh repetidos en más de dos materiales. Por esta razón se

empleó la validación de datos con condiciones y restricciones para que después se desplegara una lista de los materiales disponibles para un cierto mesh.

- 70-90 mesh para #12 Arena Monterrey Redonda
- 100-125 mesh para #16 Arena Monterrey Redonda y #8 Granito Triturada
- 130-135 mesh para #12 Arena Sílica Triturada y #20 Arena Monterrey Redonda
- 140-145 mesh para #11 Granito Triturada
- 150-195 mesh para #16 Arena Sílica Triturada
- 200-250 mesh para #20 Arena Sílica Triturada

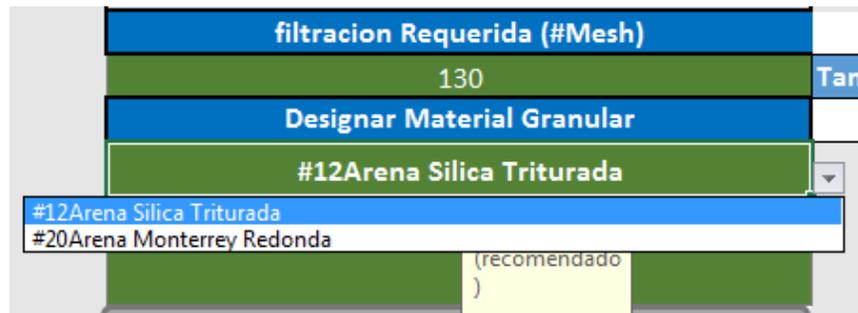
En la pestaña “Datos” y en “Validación de datos” y en criterios de validación en la pestaña configuración se escogió lista y luego en origen se empleó una rutina con las funciones “si” y “Y” aplicando los signos menor igual y mayor que.

La función Y es una de las funciones lógicas, que determina si todas las condiciones de una prueba son verdaderas.

La fórmula empleada fue la siguiente:

```
fx =SI (Y(filtración requerida por el emisor>=100,filtración requerida por el emisor<129),'Datos hf'!celdas de #16 Arena Monterrey Redonda y #8Granito Triturada, SI (Y(filtración requerida por el emisor>=130,filtración requerida por el emisor<139),celdas de #12Arena Sílica Triturada y #20 Arena Monterrey Redonda, SI(Y(filtración requerida por el emisor>=140,filtración requerida por el emisor<149),'Datos hf'!celda de #11 Granito Triturada ,SI(Y(filtración requerida por el emisor >=150, filtración requerida por el emisor <199),'Datos hf'!celda de #16 Arena Sílica Triturada, SI(Y((filtración requerida por el emisor >=70, (filtración requerida por el emisor <=90),'Datos hf'!celda de #12 Arena Monterrey Redonda, SI(Y(filtración requerida por el emisor >=200, filtración requerida por el emisor <=250),'Datos hf'!celda de #20 Arena Sílica Triturada,""))
```

Dando así como resultado una lista desplegable cuando se tienen dos materiales con mismo número de mesh como el de 130-135 como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.14.** Lista desplegable de materiales disponibles para una filtración de 130 mesh

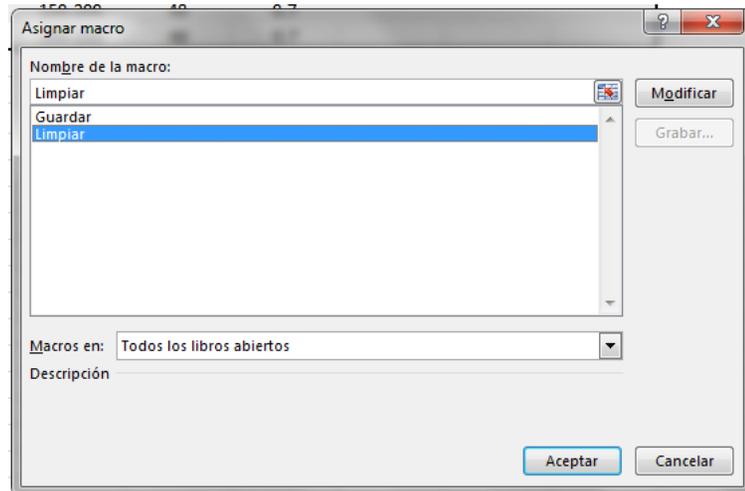
### **3.7. Programación con macro para Guardar y Borrar**

Para guardar y luego borrar los datos del mesh requerido, material granular y altura de las camas requeridas por la calculadora, para luego arrojar la pérdida de carga, se creó una macro. Para crear la macros se siguieron los pasos siguientes:

- 1.- Se habilito el programador en Excel. En Archivo—Opciones—Personalizar cinta de opciones y en pestañas principales se marcó la casilla Desarrollador
- 2.- En la pestaña Desarrollador en insertar, se eligió un botón el cual se modificó el color y tamaño
- 3.- Dando un clic derecho sobre el botón se eligió crear una macro. Se le dio el nombre a la macro como Guardar.
- 4.- Se eligió el libro actual
- 5.- Grabar macro

Para borrar el contenido de las celdas se programó un segundo botón con el nombre de Nuevo

Con base a la información guardada de cada uno de los materiales, se estimó la caída de carga en dos capas o dos estratos del medio granular.



**Figura 3.15. Ventana asignar una macro**

13	Turbiedad:	Media
14		
15	T. FILTRACION (GPM/ft2)	20
16		
17	Area de F.(ft2):	45
18		
19	Capacidad de filtracion (#Mesh)	200-250
20		
21	Material Granular	#20Arena Silica Triturada
22	Profundiad de la cama granular (cm)	Proponer 2ª altura de cama
23		
24		Guardar
25	Hf (psi)	2.1
26		Nuevo
27		
28		

Calculadora | Base de datos | Datos hf | Esfericidad y Porosidad | # tTanc

**Figura 3.16. Pérdida de carga (hf en psi) calculada para dos materiales granulares a diferentes alturas de cama**

## **3.8. Métodos para la evaluación de resultados.**

### **3.8.1. Prueba t de Student.**

Esta prueba es muy utilizada porque puede realizarse con pocos datos y no es necesario conocer la desviación estándar de la población, pero sí de la muestra.

Esta prueba devuelve la probabilidad asociada con la prueba t de Student. Se usa la PRUEBA.T para determinar la probabilidad de que dos muestras puedan proceder de dos poblaciones subyacentes con igual media

Sintaxis

PRUEBAT (matriz1, matriz2, colas, tipo)

La sintaxis de la función PRUEBA.T tiene los siguientes argumentos:

Matriz1: Obligatorio, es el primer conjunto de datos.

Matriz2: Obligatorio, es el segundo conjunto de datos.

Colas: Obligatorio, especifica el número de colas de la distribución. Si el argumento colas = 1, PRUEBA.T usa la distribución de una cola. Si colas = 2, PRUEBA.T usa la distribución de dos colas.

Tipo: Obligatorio, es el tipo de prueba t realizada

### **3.8.2. Error típico de la estima**

Devuelve el error típico del valor de “y” previsto para cada “x” de la regresión. El error típico es una medida de la cuantía, en el pronóstico del valor “y” para un valor individual de “x”.

Sintaxis: ERROR.TIPICO.XY (conocido\_y, conocido\_x)

La sintaxis de la función ERROR.TIPICO.XY tiene los siguientes argumentos:

Conocido\_y Obligatorio. Es una matriz o un rango de puntos de datos dependientes.

Conocido\_x Obligatorio. Es una matriz o un rango de puntos de datos independientes.

### **3.8.3. Coeficiente de determinación R<sup>2</sup>**

Se define como la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. El coeficiente de determinación, también llamado R<sup>2</sup>, refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar

Es importante saber que el resultado del coeficiente de determinación oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. De forma inversa, cuanto más cerca de cero, menos ajustado estará el modelo y por lo tanto menos fiable será.

Sintaxis: COEFICIENTE.R2(conocido\_y,conocido\_x)

La sintaxis de la función COEFICIENTE.R2 tiene los siguientes argumentos:

Conocido\_y Obligatorio. Es una matriz o un rango de puntos de datos.

Conocido\_x Obligatorio. Es una matriz o un rango de puntos de datos.

### **3.8.4. Pendiente de la regresión lineal, m**

La pendiente de una regresión lineal obtenida al correlacionar los valores de la calculadora en línea contra la estimación del programa fue interpretada de la siguiente manera: Si la pendiente tiende a 1, entonces el programa predice exactamente y si la pendiente es sesgada (alejada de una inclinación de 45°) entonces el programa falla en el cálculo. Para evitar errores se revisan la unidad y las instrucciones en cada formula.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Filtros seleccionados para varios sistemas de riego localizado

Se consultaron los diseños de varios sistemas de riego localizado en diferentes cultivos para determinar el modelo de filtros para una marca, recomendado para filtrar el agua de riego al mesh requerido.

**Cuadro 4.1. Modelos de tanques seleccionados para diferentes gastos y niveles de turbiedad marca Yardney**

Cultivo	Sistema	Filtración	Caudal	Fuente	Turbiedad	Modelos
Patatas	Goteo	Arena	300 gpm	Pozo	Media	3616-3
Maíz	Goteo	arena	814.8 gpm	Rio	mucha	4816-4
Soya	Goteo	Arena	123.3 gpm	Rio	Mucha	4816-3
Frutales	Goteo	Arena	140 gpm	Pozo	Media	2416-3
Tomates	Goteo	Arena	600 gpm	Lago	Poca	4816-2
Caña az.	Goteo	Arena	2350 gpm	P.profurf.	Mucha	Ninguna
Fresa	Goteo	Arena	530 gpm	Pozo	Media	4816-3
Flores	Goteo	Arena	721 gpm	Pozo	Media	4816-3
Algodón	Goteo	Arena	940 gpm	Pozo	Media	4816-4
Aguacate	Micr.Asp.	Arena	44 gpm	Pozo	Mucha	1816-2

Como se puede observar los modelos más elegidos son 4816 con 2,3 y 4 tanques respectivamente. Para gastos mayores de 1800 con una turbiedad alta no se arrojan ningún modelo ya que requiere un área de filtración de 106 ft<sup>2</sup> la cual no está disponible en la marca Yardney, sin embargo si la turbiedad fuera menor, el área de filtración disminuiría a unos 90 ft<sup>2</sup> entonces si arrojaría un modelo adecuado ya que el área máxima de filtración es de 100 ft<sup>2</sup>.

Las cinco fábricas manejan tanques con una cierta área de filtración. Para la marca Yardney el área de filtración máxima es de unos 100 ft<sup>2</sup> como se mencionó anteriormente con 8 tanques y con área mínima de 2.1 ft<sup>2</sup> con 2 tanques.

La marca Netafim a diferencia de las demás maneja modelos con un solo tanque, esto conlleva a que tenga un área máxima de 11.7 ft<sup>2</sup> y con área mínima de 4.8 ft<sup>2</sup>.

Al igual que la marca Yardney, la marca WadeRain maneja un área de filtración máxima de 100 ft<sup>2</sup> con 8 tanques y un área mínima de 14.1 ft<sup>2</sup> con 2 tanques.

El área de filtración máxima manejada en la marca Lakos es de 125.6 ft<sup>2</sup> con 10 tanques y área mínima de 4.8 ft<sup>2</sup> con dos tanques disponibles.

De las cinco marcas disponibles en la calculadora solo la marca Rivulis dispone de un área de filtración mucho mayor, sobrepasando las áreas de filtración máxima de las cuatro anteriores, teniendo un área de 150.6 ft<sup>2</sup> con un número de 12 tanques, al igual que la marca Lakos la cual maneja un área de filtración de 4.8 ft<sup>2</sup> con dos tanques.

Selección de Filtros	
1	
3	Marcas: Yardney
4	
5	Gasto (GPM): 300
6	Q(min Tanque): 360
7	Modelos: 3616-3
8	Q(máx Tanque): 530
9	Diametros: 36
10	
11	Presion(PSI): 80
12	
13	Turbiedad: Media
14	
15	T. FILTRACION (GPM/ft2): 20
16	
17	Area de F.(ft2): 15.0
<a href="#">Calculadora</a>   <a href="#">Base de datos</a>   <a href="#">Datos hf</a>   <a href="#">Esfericidad</a>	

Figura 4.1. Selección del modelo de filtro de la marca Yardney para un gasto de 300 gpm con turbiedad media con un área de filtración requerida de 15 ft<sup>2</sup>.

#### 4.2. Materiales granulares designados para cumplir la filtración requerida

Como anteriormente se ha mencionado para la selección de un material granular empaquetado se debe tener en cuenta las características del emisor. El criterio para la selección es que el diámetro efectivo del material debe ser igual al diámetro mínimo del gotero o del orificio. Sin embargo en la mayoría de las cintas o goteros el fabricante recomienda un cierto filtrado (mesh) para que estos no sean obstruidos por las partículas suspendidas en el agua de riego.

En el cuadro 4.2 se muestran los diferentes tipos de materiales granulares disponibles para tanques de filtración con sus respectivos tamaños y mesh requeridos.

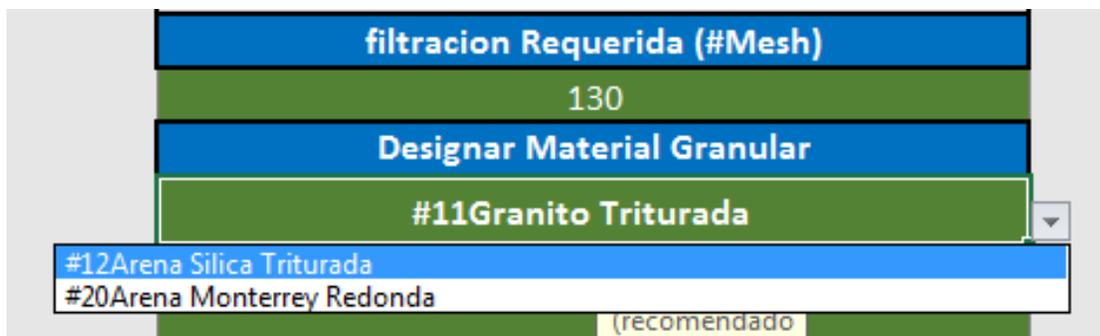
Se seleccionaron cintas de riego para el cálculo de los materiales recomendados en base a la filtración requerida la cual es recomendada por el fabricante.

**Cuadro 4.2. Materiales recomendados para diferentes tipos de goteros**

Cintas	Mesh	Materiales
Ro- drip 1.4 lph	150	#16 Arena Sílica Triturada
Ro drip- .1.3 lph	120	#16 Arena Monterrey Redonda
EAXxx1613- 0.38 lph	200	#20 Arena Sílica Triturada
EAXxx2411-0.51 lph	140	#11 Granito Triturado.
EAFcXxx0667- 0.51 lph	150	#16 Arena sílica triturada

Como se puede observar el cálculo para designar el material se basa en el número de mesh o filtración requerida por los emisores.

En cuanto a los mesh de 100 a 125 los materiales recomendados son #16 Arena monterrey redonda y #8 Granito triturado y para 130 a 140 se recomienda, así como #12 Arena sílica triturada como #20 Arena monterrey redonda.



**Figura 4.2. Materiales recomendados para un gotero que requiere una filtración de 130 mesh**

#### **4.3. Pérdida de carga (hf) en diferentes materiales esperada durante la filtración en una cama granular de 30 cm de profundidad**

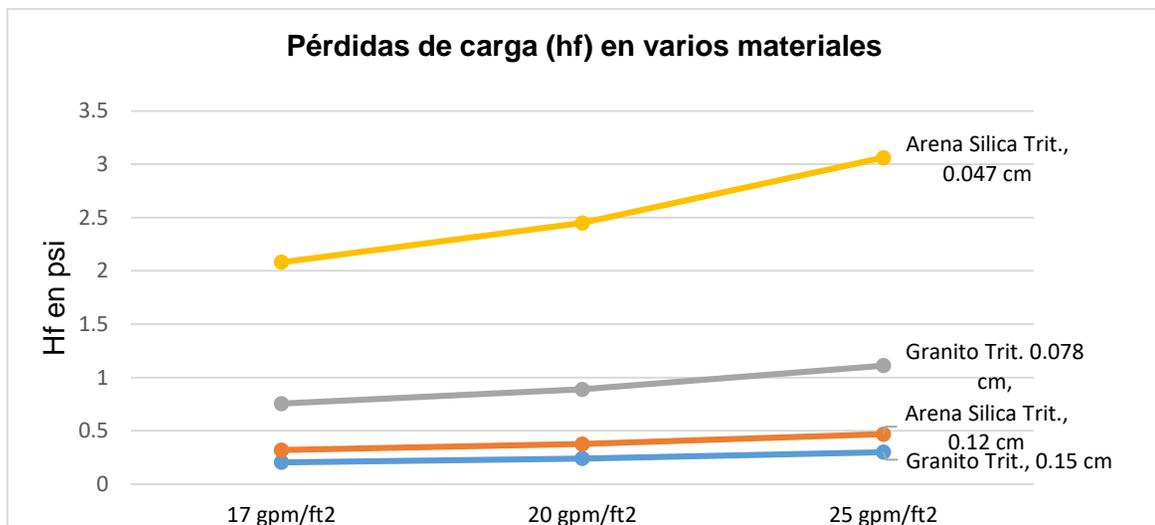
Se tomó la información de los emisores del cuadro 4.1 para determinar su pérdida de carga de acuerdo al mesh requerido por los emisores, goteros o micro-aspersor.

**Cuadro 4.3. Pérdida de carga (hf) en diferentes cultivos de acuerdo a filtración requerida por el emisor**

Cultivo	Mesh del emisor	Medio granular	Emisor	Hf psi
Patatas	120	#8 granito triturado, #16 Arena monterrey redonda	PHWExxy2540 4lph @25cm	0.7
Tomate	140	#11 Granito triturado	EAXxx04134 2.24 lph @10cm	1.1
fresa	150	#16 Arena sílica triturada	Cinta Ro-goteo 497lph/100m @20cm	0.8

Flores	200	#20 Arena sílica triturada	EAXxx0825 0.43lph @20cm	2.3
Algodón	150,250	#16 Arena sílica triturada, #20 arena sílica triturada	Cinta Ro-goteo 298 lph/100m @30cm	1.7
Aguacate	140,200	#20 Arena sílica triturada, #11 Granito triturado	EAXxx0822 0.30lph @20cm	1

Los diferentes materiales granulares tienen cierto tamaño efectivo que influyen en la caída de presión, para ver cómo influyen se hizo la siguiente gráfica.



**Figura 4.3. Comparación de pérdida de carga (hf) calculadas para varios materiales granulares a distintas tasas de filtración (mucha, media, alta).**

Como se puede observar, la arena sílica triturada del número 20 con un diámetro efectivo de 0.047cm tiene una pérdida de carga mayor que las otras tres en cambio la del granito triturado del número 8 con un tamaño efectivo de 0.15 cm da como resultado una pérdida de carga mucho menor.

Esto demuestra que cuanto menor sea el diámetro efectivo de un material mayor será la pérdida de carga en un filtro que contenga partículas de tamaño muy pequeño.

#### 4.4. Validación del programa

Para la validación del programa se probó la significancia de la hipótesis aplicando pruebas estadísticas para dar certidumbre y comprobar la validación de resultados.

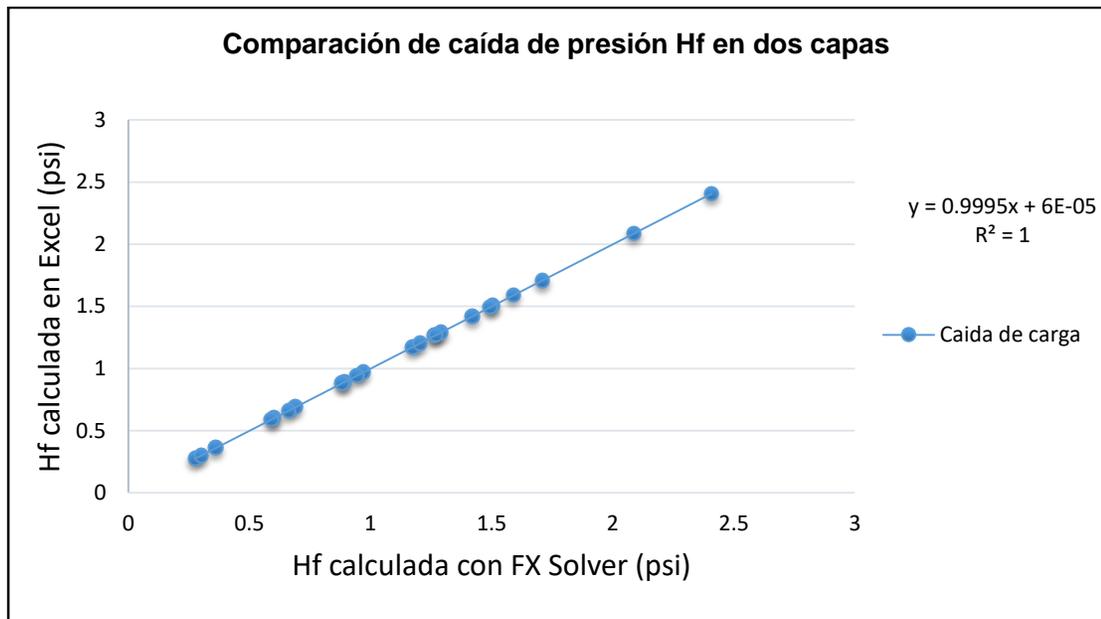
Para la validación se plantearon las siguientes hipótesis considerando el funcionamiento de la calculadora, la plantilla de entrada y salida de datos., su análisis y la interpretación.

$H_0$ : Las caídas de carga estimadas mediante la calculadora en Excel estadísticamente son iguales a las de los programas existentes en línea.

$H_a$ : Existe diferencia significativa entre las caídas de carga estimadas con ambas calculadoras.

$H_0$ : Si  $T_c \leq \alpha$ . La hipótesis nula se acepta

$H_a$ : Si  $T_c > \alpha$  La hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa.



**Figura 4.4. Línea de tendencia que correlaciona la caída de carga calculada con ambas calculadoras (Excel y FX Solver)**

La figura anterior (figura 4.4) muestra como es la correlación de caída de presión en ambas calculadoras con una línea de tendencia, los datos tomados fueron calculados con dos distintos materiales con porosidades de 48% y 42% con una profundidad total de 30 cm con 15 cm del primer material y 15 cm del segundo material. Los tamaños fueron diferentes para cada material.

La cantidad de datos analizados para esta gráfica fueron 23 en total, para ambas calculadoras.

En el eje X se insertaron las pérdidas de carga calculadas con la calculadora en línea de Fx Solver y en el eje Y se insertaron las pérdidas de carga calculadas en Excel con la ecuación de Kozeny-Carman (Ecuación 2.4.1.1).

Los resultados obtenidos de la correlación son para  $Y = 0.9995x - 6E-05$  y con  $R^2 = 1$ , de esto se deduce que existe mucha semejanza entre ambas calculadoras ya que hay una correlación de un 99% y 100% lo que permite inferir que la predicción es perfecta.

Para comprobar la correlación se realizó un análisis estadístico con la prueba t de Student aplicando un margen de error de 5% para dos colas (0.025).

**Cuadro 4.4. Análisis estadístico para la validación del programa**

Error típico	0.01
T-Student	7.8
Tc	8.1 E-8
$\alpha$	0.025
Hipótesis	Aceptada $H_0$

El valor de la prueba T-Student fue de 7.8 y para validarlo el modelo encontró tc de 8.1 E-8 así se concluye que tc es menor que  $\alpha$ , se asume que en la comparación no existe diferencias significativas entre ambas calculadoras y se acepta la hipótesis nula

Con un error típico de 0.01%.

La correlación entre las matrices de ambas calculadoras fue satisfactoria ya que:

$H_0$ :  $Tc \leq \alpha$ . La hipótesis nula se acepta

$H_1$ :  $Tc > \alpha$ . La hipótesis alternativa se rechaza.

#### **4.5. Confiabilidad del programa**

El programa calcula la selección de modelos de filtros con entrada de datos y listas desplegables, así también calcula la pérdida de carga en los filtros con diferentes materiales granulares en dos camas.

Los resultados de la calculadora o rutina en Excel arrojan valores y modelos de filtros precisos. En los análisis estadísticos arrojan un error típico menor del 1% cuando se compara con la calculadora en línea de Fx Solver.

La hipótesis  $H_0$ : La caída de carga estimada mediante la calculadora en Excel estadísticamente son iguales a los de los programas existentes en línea, se cumple ya que no se encontraron diferencias significativas

#### 4.6. Sugerencias

A lo largo de la realización de este estudio se encontraron ciertos puntos que valdría la pena mencionar en cuanto a los materiales granulares, los tamaños efectivos con mayor diámetro si en dado caso se requiera de dos materiales, se sugiere que este debajo del material de menor diámetro, ya que si no se realiza este procedimiento podrían pasar a las coladeras por donde pasa el agua llegando así al taponamiento de los emisores.

En cuanto a que tipo de filtración se debería de usar se recomienda la siguiente tabla para verificar las PPM de sólidos disueltos en el agua.

**Cuadro 4.5. Tipo de filtrado a usar de acuerdo a la concentración de sólidos totales en suspensión en el agua**

Solidos totales en suspensión (ppm)	Tipos de filtros a usar
>300	Decantar
200-300	Arena
100-200	Anillas
<100	Mallas

La pérdida de carga en los filtros solo se calcula con los materiales disponibles que son 7 con una cierta porosidad y factor de forma.

Los materiales más usados para tratar el agua para riego agrícola son arena sílica triturada del número 20 y el granito triturado del número 11 ya que permiten un mejor filtrado de agua.

## V. CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de este proyecto de tesis se encontró en la selección de los modelos de filtros, de acuerdo a la tasa de filtración requerida o turbiedad que el modelo cambia ya que al seleccionar una turbiedad alta mayor será el número de tanques que cuando se selecciona una turbiedad baja.

Se encontraron límites de áreas de filtración para los modelos de las diferentes marcas, en esto la marca Rivulis fue la que más sobresale en el área de filtración ya que maneja modelos con hasta 12 tanques de 48 pulgadas de diámetro con un área de filtración de 150.6 ft<sup>2</sup>.

Las pérdidas de carga calculadas en los filtros con dos camas de los materiales granulares asignados aumentan al tener un menor tamaño efectivo, esto indica que entre menor sea el tamaño del material y al tener una mayor porosidad retendrá mucho más los sólidos que estén disueltos en el agua. Al contrario si se tiene un material con tamaño de diámetro mayor, la pérdida de carga en el filtro será menor ya que los espacios que existen entre las partículas sería mayor.

La base de datos vinculada al programa contiene muchos modelos de filtros, para la marca Yardney se cuenta con 15 modelos con máximo de tanques de 7, para Netafim cuenta con 5 modelos con un solo tanque para cada modelo, para la marca WadeRain se cuenta con 7 modelos con máximo de 8 tanques, para la marca Rivulis están disponibles 15 modelos de tanque con un máximo de tanques de hasta 12 y para la marca Lakos se encuentran disponibles 12 modelos con un máximo de tanques de 10.

En cuanto al calcular la pérdida de carga se tienen los materiales con una porosidad de 48% para los triturados con un factor de forma de 0.7 y 42% para las arenas sílica redondeadas con un factor de forma de 0.82. Sin embargo la calculadora tiene un límite en cuanto a los materiales que se asignan, en este estudio se consideró 7 materiales granulares ya que son las más utilizadas para tratar el agua para riego agrícola.

En ambos casos la calculadora arroja los resultados en muy corto tiempo, sin embargo si no se conocen los datos requeridos esto podría hacerse muy tedioso. Además las variables de entrada deben ingresarse en las unidades especificadas por la calculadora.

En la selección de modelos de filtros y el cálculo de pérdida de carga, el programa tiende a ser muy exacto ya que sus predicciones tienen un error típico de 0.001% y una correlación de  $R^2$  de 1, en comparación con otras calculadoras en línea.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Az Calculator** 2019. Kozeny Carman Equation Calculator. Online Calculators & Converters. Disponibles en: <https://www.azcalculator.com/calc/kozeny-carman-equation.php>
- Bové J.** 2018. Optimización de los filtros de arena utilizados en sistemas de riego por goteo. Tesis Doctoral, Universidad de Girona, Girona, España, Pp. 17, 19  
<https://www.tdx.cat/handle/10803/665931#page=1>
- Duran. R. M.** 2008. Filtración y uniformidad de riego en los sistemas de micro-irrigación con efluentes de estaciones depuradoras de aguas residuales. Tesis Doctoral, Universidad de Lleida (Escola Técnica Superior d'Enginyeria Agraria). Lleida, España. P 19  
<https://www.tdx.cat/handle/10803/8157#page=1>
- Economipedia SL** 2019. Coeficiente de determinación r cuadrada. Español, España. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/r-cuadrado-coeficiente-determinacion.html> (25, octubre, 2019).
- Excel total** 2019. ¿Qué es Excel y para qué sirve?, ¿ qué es una Macro y para qué sirve). Disponible en: <https://exceltotal.com/que-es-excel/>
- Fx Solver** Kozeny.Carman. Equation. Berlin  
<https://www.fxsolver.com/browse/formulas/Kozeny-Carman+equation>
- Kolík L.** 2019. Filter pressure drop calculator. Praga <https://www.lukaskolik.cz/en/filter-pressure-drop-calculator/>
- Lasseux D. Francisco J. Valdes-Parada.**2017. On the developments of Darcy's law to include inertial and slip effects. Revisit el Sevier. Volume (345). Pp 660-669.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631072117300979?via%3Dihub>

**Martínez L.** 2001. INIA. Manual de operación Y mantenimiento de equipos de riego presurizado, instituto de investigaciones Agropecuarias, centro regional de investigación Intihuasi, Centro experimental huasco, Vallenar, Chile. Pp 6, 7, 8 y 16.

<http://www.inia.cl/wp-content/uploads/Boletines/NR28083.pdf>

**Mendoza R., Pinilla P. y Martínez Q.** 1989. Evaluación de filtros de arena y de malla para riego por goteo. Revista Universidad Nacional de Colombia. eISSN 2248-8723. Bogotá, P 52.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/19672/20742>

**Metcalf y Eddy.** 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill. 3° Edición. U.S.A. Pp. 298, 299 y 305.

**Microsoft** 2019. PRUEBA.T (función PRUEBA.T). Español, España.

Disponible en: <https://support.office.com/es-es/article/prueba-t-funci%C3%B3n-prueba-t-1696ffc1-4811-40fd-9d13-a0eaa83c7ae>

**Microsoft** 2019, Evaluar una formula añadida paso a paso. España. Disponible en:

<https://support.office.com/es-es/article/evaluar-una-f%C3%B3rmula-anidada-paso-a-paso-59a201ae-d1dc-4b15-8586-a70aa409b8a7>

**Microsoft** 2019. COEFICIENTE.R2 (función COEFICIENTE.R2), Español, España.

Disponible en: <https://support.office.com/es-es/article/coeficiente-r2-funci%C3%B3n-coeficiente-r2-d7161715-250d-4a01-b80d-a8364f2be08f>

**Monje R. M.** 2016. Filtración II; selección de equipo de filtrado. España.

<https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/filtracion-ii-seleccion-equipo-filtrado>

**RAS** 2000. Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de agua Potable Y Saneamiento Básico. 2000. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y saneamiento básico. Sección II. Sistemas de Potabilización, Bogotá, Pp, 61,62, 63.

[http://procurement-notices.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=16483](http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483)

**Reid** Ganer,Clia,Cid. Making the Right Filter Decisions for Landscape Irrigation. LAKOS Separators and Filtration Solutions, [rgarner@lakos.com](mailto:rgarner@lakos.com), Pag 2,3,4,5, Consultado el 08 de Octubre de 2019.

**Roberts's** irrigation Products.inc. 2001. Ro-Drip. User manual. 700 rancheros drive. San Marcos. CA 92009-3007. U.S.A.  
<https://fyi.extension.wisc.edu/cropirrigation/files/2018/03/Roberts-Drip-Irrigation-User-Manual.pdf>

**Suarez** J. Jácome A y Ures P. 2014. Filtración en medio granular (FT-TER-002) Serie: Tratamientos Terciarios, Universidad de Coruña, España.  
<https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Filtraci%C3%B3n+en+medio+granular.pdf>

**Yardney** 2013, ¿Que buscar al seleccionar un sistema de filtración para agua de riego? Wáter Filtracion Systems. Riverside, Estados Unidos. P 1 Disponible en:  
<https://yardneyfilters.com/files/technical/System%20Selection%20Guidelines/What%20to%20Look%20For%20in%20Selecting%20a%20System-SPAN.pdf>

## VII. APÉNDICE

Datos tomados de los filtros en los catálogos de los fabricantes

Marca:	Modelo:	# tanque	Flujo		Presión	Entrada/Salida	AREA DE FILTRACION (ft <sup>2</sup> )	Diámetro de tanque In
			Min. (GPM)	Máx. (GPM)	Máx. (PSI)			
Grava-Arena								
Yardney	1416-2	2	36	53	100	1 1/2"	2.1	14
Yardney	1816-2	2	60	88	100	2"	3.5	18
Yardney	1816-3	3	90	133	100	3"	5.3	18
Yardney	2416-2	2	107	158	100	3"	6.3	24
Yardney	2416-3	3	160	235	100	3"	9.4	24
Yardney	3016-2	2	167	245	100	4"	9.8	30
Yardney	3616-2	2	240	353	80	4"	14.1	36
Yardney	3016-3	3	250	368	100	4"	14.7	30
Yardney	3616-3	3	360	530	80	6"	21.2	36
Yardney	4816-2	2	425	625	80	6"	25	48
Yardney	4816-3	3	638	938	80	6"	37.5	48
Yardney	4816-4	4	850	1250	80	8"	50	48
Yardney	4816-5	5	1063	1563	80	10"	62.5	48
Yardney	4816-6	6	1275	1875	80	10"	75	48
Yardney	4816-7	7	1488	2188	80	10"	87.5	48
Yardney	4816-8	8	1700	2500	80	10"	100	48
NETAFIM	71910-30	1	88.1	149.7	116	3"	4.8	30
NETAFIM	71910-36	1	127.7	215.7	116	3"	7	36
NETAFIM	71910-48	1	224.5	374.2	116	4"	12.2	48
NETAFIM	71920-36	1	127.7	211.3	87	3"	6.9	36
NETAFIM	71920-48	1	176.1	330.2	87	4"	11.7	48
WadeRain	36-2	2	240	353	105	4"	14.1	36
WadeRain	48-2	2	425	625	80	4	25	48
WadeRain	48-3	3	638	938	80	4	37.5	48
WadeRain	48-4	4	850	1250	80	4	50	48

WadeRain	48-5	5	1063	1563	80	4	62.5	48
WadeRain	48-6	6	1275	1875	80	4	75	48
WadeRain	48-8	8	1700	2500	80	4	100	48
Rivulis	F1700-21-2	2	75	120	150	3"	4.8	21
Rivulis	F1700-21-3	3	110	180	150	3"	7.2	21
Rivulis	F1700-32-2	2	165	270	125	3"	10.8	32
Rivulis	F1700-32-3	3	245	405	125	3"	16.2	32
Rivulis	F1700-48-2	2	380	625	80	4"	25.1	48
Rivulis	F1700-48-3	3	565	940	80	4"	37.7	48
Rivulis	F1700-48-4	4	755	1255	80	4"	50.2	48
Rivulis	F1700-48-5	5	945	1565	80	4"	62.8	48
Rivulis	F1700-48-6	6	1130	1880	80	4"	75.3	48
Rivulis	F1700-48-7	7	1320	2195	80	4"	87.9	48
Rivulis	F1700-48-8	8	1510	2510	80	4"	100.4	48
Rivulis	F1700-48-9	9	1695	2820	80	4"	113	48
Rivulis	F1700-48-10	10	1885	3135	80	4"	125.5	48
Rivulis	F1700-48-11	11	2075	3450	80	4"	138.1	48
Rivulis	F1700-48-12	12	2260	3765	80	4"	150.6	48
Lakos	PRO-II-2104-2	2	70	119	150	3	4.8	21
Lakos	PRO-II-2104-3	3	107	178	150	3	7.2	21
Lakos	PRO-II-3204-2	2	160	270	125	3	10.8	32
Lakos	PRO-II-3204-3	3	240	405	125	3	16.2	32
Lakos	PRO-II-4806-2	2	375	625	80	4	25.1	48
Lakos	PRO-II-4806-3	3	565	940	80	4	37.7	48

Lakos	PRO-II-4806-4	4	750	1240	80	4	50.2	48
Lakos	PRO-II-4810-5	5	940	1550	80	4	62.8	48
Lakos	PRO-II-4810-6	6	1130	1870	80	4	75.4	48
Lakos	PRO-II-4810-7	7	1320	2200	80	4	87.9	48
Lakos	PRO-II-4810-8	8	1510	2510	80	4	100..4	48
Lakos	PRO-II-4812-10	10	1885	3140	80	4	125.6	48

Datos de pérdida de carga (hf) calculada en dos camas de distintos materiales.

Material	Tamaño mm	Mesh	Porosidad	Factor de forma	FX Solver (hf en psi)	Calculadora Excel (hf en psi)
Arena Silica Triturada	0.7	150-200	48	0.7	1.59124626 psi	1.590576219 psi
Arena Silica Triturada	0.47	200-250	48	0.7		
Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90	42	0.82	0.97005753 5 psi	0.969649064 Psi
Arena Monterrey Redonda	0.65	100-125	42	0.82		
#8Granito Triturada	1.5	100-140	48	0.7	0.27593197 8 psi	0.275815788 psi
#12Arena Silica Triturada	1.2	130-140	48	0.7		
#20Arena Monterrey Redonda	0.5	130-140	42	0.82	1.70974549 3 psi	1.709025555 psi
#11Granito Triturada	0.78	140-200	48	0.7		
#12Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90	42	0.82	1.50552929 4 psi	1.504895347 psi
#20Arena Monterrey Redonda	0.5	130-140	42	0.82		
#20Arena Silica Triturada	0.47	200-250	48	0.7	1.49502144 3 psi	1.49439192 psi

#11Granito Triturada	0.78	140-200	48	0.7		
#16Arena Monterrey Redonda	0.65	100-125	42	0.82	2.08756381 5 psi	2.086684785 psi
#20Arena Monterrey Redonda	0.5	130-140	42	0.82		
#11Granito Triturada	0.78	140-200	48	0.7	0.89268022 9 psi	0.89230434 psi
#16Arena Silica Triturada	0.7	150-200	48	0.7		
#8Granito Triturada	1.5	100-140	48	0.7	0.60213329 5 psi	0.601879749 psi
#16Arena Silica Triturada	0.7	150-200	48	0.7		
#12Arena Silica Triturada	1.2	130-140	48	0.7	1.26504494 2 psi	1.264512258 psi
#20Arena Silica Triturada	0.47	200-250	48	0.7		
#12Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90	42	0.82	1.29080524 4 psi	1.290261712 psi
#20Arena Silica Triturada	0.47	200-250	48	0.7		
#16Arena Monterrey Redonda	0.65	100-125	42	0.82	1.27049855 1 psi	1.269963571 psi
#16Arena Silica Triturada	0.7	150-200	48	0.7		
#12Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90	42	0.82	0.68846403 psi	0.688174132 psi
#16Arena Silica Triturada	0.7	150-200	48	0.7		
#20Arena Monterrey Redonda	0.5	2°130-140	42	0.82	2.40831152 4 psi	2.407297434 psi
#20Arena Silica Triturada	0.47	200-250	48	0.7		
#12Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90	42	0.82	0.59198983 3 psi	0.592239213 psi
#11Granito Triturada	0.78	140-200	48	0.7		
#12Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90	42	0.82	0.30169227 9 psi	0.301565242 psi
#8Granito Triturada	1.5	100-140	48	0.7		

#12Arena Monterrey Redonda	1.3	70-90	42	0.82	0.36226271 3 psi	0.362110172 psi
#12Arena Silica Triturada	1.2	130-140	48	0.7		
#16Arena Monterrey Redonda	0.65	100-125	42	0.82	1.17427373 4 psi	1.173779272 psi
#11Granito Triturada	0.78	140-200	48	0.7		
#16Arena Monterrey Redonda	0.65	100-125	42	0.82	0.94429723 4 psi	0.94389961 psi
#12Arena Silica Triturada	1.2	130-140	48	0.7		
#16Arena Monterrey Redonda	0.65	100-125	42	0.82	0.8837268 psi	0.883354681 psi
#8Granito Triturada	1.5	100-140	48	0.7		
#8Granito Triturada	1.5	100-140	48	0.7	1.41919855 9 psi	1.418600964 psi
#20Arena Monterrey Redonda	0.5	130-140	42	0.82		
#8Granito Triturada	1.5	100-140	48	0.7	1.20447450 8 psi	1.203967329 psi
#20Arena Silica Triturada	0.47	200-250	48	0.7		
#12Arena Silica Triturada	1.2	130-140	48	0.7	0.66270372 9 psi	0.662424678 psi
#16Arena Silica Triturada	0.7	150-200	48	0.7		