

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CRIBADO EN LA PLANTA  
BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A.  
E.S.P.**

**YUBER ANTONIO CORREDOR ESPITIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2019**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CRIBADO EN LA PLANTA  
BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A.  
E.S.P.**

**YUBER ANTONIO CORREDOR ESPITIA**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico**

**Director  
JAVIER RUGELES PEREZ  
Ing. Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Primeramente, a Dios por darme la fuerza y sabiduría para salir adelante en cada uno de los problemas que se presentaron.

A mis padres, Rosa Tulia Espitia Sierra y Víctor Hugo Corredor y a mi hermana Alejandra, quienes fueron los autores principales y mi motor en la realización de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de proyecto, el ingeniero Mecánico Javier Rugeles Pérez, por su respaldo y colaboración oportuna.

A mi codirector de proyecto, el ingeniero Mecánico Juan Manuel Galvis, por su apoyo y confianza en la toma de decisiones.

A mis padres, Rosa Tulia Espitia Sierra y Víctor Hugo Corredor, a mi hermana Alejandra y a mis hermanos, quienes siempre estuvieron conmigo y me apoyaron en todas y cada una de las decisiones tomadas.

A mi compañera Carolina por estar siempre presente cuando se me presentaba un problema, me alentaba y me apoyaba para continuar.

A la universidad, en especial a la escuela de ingeniería mecánica, a mis compañeros, profesores y demás personas que de una u otra manera hicieron parte de este proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	18
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA .....	19
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA .....	21
1.3 OBJETIVOS.....	21
1.3.1 Objetivo General .....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
2. AGUA: CONTAMINANTES Y PROCESO DE POTABILIZACIÓN .....	23
2.1 ¿QUE ES LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA? .....	23
2.1.1 ¿Cuáles son los mayores contaminantes del agua?.....	23
2.1.2 ¿De dónde procede la contaminación del agua?.....	24
2.1.3 ¿Cómo detectamos la contaminación del agua? .....	25
2.2 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA.....	25
3. PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA .....	28
3.1 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P. ....	28
3.1.1 Captación.....	28
3.1.2 Desarenación.....	28
3.1.3 Dosificación de alumbre.....	28
3.1.4 Presedimentación .....	29
3.1.5 Aireación .....	29
3.1.6 Cloración.....	30
3.1.7 Floculación.....	30
3.1.8 Sedimentación .....	31
3.1.9 Filtración .....	31

3.1.10 Control de calidad .....	32
3.1.11 Distribución .....	32
3.2 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE CRIBADO.....	33
3.2.1 Definición .....	33
3.2.1.1 ¿Qué es un cribado?.....	33
3.2.1.2 ¿Cómo funciona?.....	33
3.2.1.3 Características fundamentales.....	33
3.2.2 Tipos de cribas.....	34
3.2.2.1 Cribas fijas de barrote .....	34
3.2.2.2 Cribas de tambos o trommels .....	34
3.2.2.3 Cribas giratorias o semivibratorias.....	35
3.2.2.4 Cribas coladores de arco o planos.....	35
3.3 RESIDUOS SOLIDOS QUE LLEGAN A LA PLANTA Y SU CLASIFICACIÓN	35
4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CRIBADO .....	36
4.1 DISEÑO DE LA REJILLA PARA LA CAPTACIÓN DE MATERIAL.....	36
4.1.1 Condiciones .....	36
4.1.2 Cálculos para la rejilla .....	37
4.1.2.1 Datos.....	37
4.1.2.2 Se obtiene.....	39
4.1.3 Resultados .....	47
4.2 DISEÑO DE LOS CANGILONES.....	49
4.2.1 Condiciones .....	50
4.2.2 Cálculos del cangilón .....	50
4.2.3 Resultados .....	50
4.3 DISEÑO DE LOS PIÑONES .....	52
4.3.1 Condiciones .....	52
4.3.2 Cálculos .....	53
4.3.3 Resultados .....	54
4.4 DISEÑO DE LAS CADENAS .....	55
4.4.1 Condiciones .....	55

4.4.2 Descripción del recorrido de la cadena .....	55
4.4.3 Cálculos .....	56
4.4.4 Resultados .....	59
4.5 DISEÑO DEL TORNILLO SIN FIN.....	65
4.5.1 Condiciones .....	65
4.5.2 Cálculos numéricos.....	65
4.5.3 Resultados .....	69
4.6 SELECCIÓN DE LOS MOTORES .....	73
4.6.1 Para tener en cuenta con los motorreductores .....	73
4.6.2 Resultados .....	73
4.7 DISEÑO DE LOS EJES .....	74
4.7.1 Condiciones .....	74
4.7.2 Resultados .....	74
4.7.2.1 En la parte inferior de la cadena .....	74
4.7.2.2 En la parte superior, en la entrada de agua .....	75
4.8 DISEÑO DE LAS BASES .....	75
4.8.1 Condiciones .....	75
4.8.2 Para tener en cuenta en las bases .....	76
4.8.3 Resultados .....	76
4.9 DISEÑO DE TOLVA DE RECOLECCIÓN .....	77
4.9.1 Condiciones .....	77
4.9.2 Resultados .....	77
4.10 DISEÑO DE LA TOLVA DE EXTRACCIÓN.....	78
4.10.1 Condiciones .....	78
4.10.2 Resultados .....	78
4.11 SIMULACIÓN DEL PROYECTO.....	79
5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CRIBADO.....	80
5.1 FABRICACIÓN DE LA REJILLA.....	80
5.2 FABRICACIÓN DEL CANGILÓN.....	80
5.3 FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO .....	81

5.4 FABRICACIÓN DE LAS BASES.....	81
5.5 FABRICACIÓN DEL TORNILLO SIN FIN .....	81
5.6 FABRICACIÓN DE LA TOLVA DE RECOLECCIÓN .....	81
5.7 FABRICACIÓN DE LA TOLVA DE EXTRACCIÓN .....	82
5.8 MONTAJE Y ENSAMBLAJE EN LA CANALETA PARSHALL .....	82
6. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	83
6.1 LISTADO DE ELEMENTOS.....	83
6.1.1 Sistema de captación y limpieza .....	83
6.1.2 Sistema de transmisión de movimiento .....	83
6.1.3 Soportes.....	84
6.1.4 Sistema de recolección de residuos .....	84
6.1.5 Otros .....	84
6.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	84
6.2.1 Descripción .....	84
6.2.2 Funcionamiento .....	85
6.3 CONDICIONES DE MANTENIMIENTO.....	85
6.3.1 Sistema eléctrico.....	85
6.3.2 Motorreductor.....	86
6.3.3 Sistema tornillo sin fin .....	90
6.3.4 Sistema de transmisión de movimiento .....	91
6.3.5 Rejillas, cangilones y bases .....	92
6.4 PUESTA EN MARCHA .....	93
7. ANÁLISIS FINANCIERO.....	94
8. CONCLUSIONES .....	97
9. RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFÍA .....	99
ANEXOS .....	101

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Proceso de potabilización del agua .....	27
Figura 2. Dosificación de alumbre.....	29
Figura 3. Presedimentadores.....	29
Figura 4. Aireación (canaleta parshall) .....	30
Figura 5. Cloración.....	30
Figura 6. Floculación.....	31
Figura 7. Sedimentación .....	31
Figura 8. Filtración .....	32
Figura 9. Laboratorios.....	32
Figura 10. Cuarto de bombas .....	33
Figura 11. Diagrama de fuerzas que intervienen en la rejilla .....	37
Figura 12. Rejilla.....	48
Figura 13. Cangilón.....	52
Figura 14. Longitud inicial de la cadena.....	56
Figura 15. Longitud real de la cadena.....	58
Figura 16. Tornillo sin fin transportador .....	69
Figura 17. Radio mayor y menor para la construcción del tornillo sin fin .....	70
Figura 18. Ubicación de los ejes de 109,5 cm .....	74
Figura 19. Ubicación de los ejes de 130 cm .....	75
Figura 20. Medidas de la cadena respecto a la canaleta.....	76
Figura 21. Diseño de las bases.....	76
Figura 22. Diseño de la tolva de recolección .....	78
Figura 23. Diseño tolva de extracción.....	79
Figura 24. Simulación del sistema (ver anexo 10) .....	79
Figura 25. Análisis tiempo de recuperación de la inversión .....	96

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Tipos de rejilla .....	44
Tabla 2. Catalogo “piñones y cadenas” intermec S.A. ....	54
Tabla 3. Catalogo “piñones y cadenas” intermec S.A. ....	60
Tabla 4. Inversión .....	94
Tabla 5. Ingresos .....	94
Tabla 6. Costos.....	94
Tabla 7. Inversión inicial .....	95
Tabla 8: análisis financiero .....	96
Tabla 1. Caracterización del material flotante .....	109
Tabla 2. Datos del material flotante .....	110
Tabla 3. Peso de las muestras en los tamices.....	111
Tabla 4. Material retenido .....	112
Tabla 5. Promedio de material retenido .....	112

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Informe muestreo implementación de cribado fino .....	101
Anexo B. Dimensiones de la rejilla.....	114
Anexo C. Estudio estático de la rejilla.....	115
Anexo D. Dimensiones del cangilón .....	126
Anexo E. Estudio estático del cangilón .....	127
Anexo F. Selección de un tornillo sin fin transportador .....	140
Anexo G. Dimensiones de las bases .....	161
Anexo H. Dimensiones de la tolva de recolección .....	162
Anexo I. Dimensiones de la tolva de extracción .....	163
Anexo J. Simulación del sistema .....	164

## GLOSARIO

**AFORO:** Es la medida del caudal, o de la cantidad de agua que pasa en un determinado tiempo por algún sistema, siendo las formas más comunes de aforar, las volumétricas, los correntómetros, u otros instrumentos previamente calibrados como canaletas Parshall etc.

**AGUAS LLUVIAS:** Aguas provenientes de la precipitación pluvial.

**AGUAS RESIDUALES:** Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.

**CRIBADO:** Método de separación de elementos de diferente tamaño por medio de barreras con orificios o cribas que permiten el paso de los más pequeños y retienen a los mayores.

**DESECHOS LÍQUIDOS (AGUAS RESIDUALES):** Son los resultantes de una actividad humana, que presentan diversos tipos y grados de contaminación, según su uso previo.

**ESCORRENTIA:** corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales. En hidrología la escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.

**FLOCULACION:** Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales

presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería.

**GRIFO:** Dispositivo que regula el flujo de agua en una cañería.

**SEDIMENTACION:** es el proceso por el cual los materiales transportados por distintos agentes (escorrentía, glaciares, viento) y procedentes de la erosión y la meteorización de las rocas son depositados, pasando a ser sedimentos.

**SUMIDERO:** Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión o pozos de inspección de los alcantarillados.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE CRIBADO EN LA PLANTA BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.\*

**AUTOR:** YUBER ANTONIO CORREDOR ESPITIA\*\*

**PALABRAS CLAVES:** DESECHOS LÍQUIDOS (AGUAS RESIDUALES), AFORO, AGUAS LLUVIAS, AGUAS RESIDUALES, SUMIDERO, GRIFO, SEDIMENTACIÓN, CRIBADO, ESCORRENTIA, FLOCULACIÓN.

El cribado es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo con su tamaño de partícula individual y es la primera operación que se debe considerar en una planta de tratamiento de aguas. Es un método que remueve del agua residual, los contaminantes más voluminosos, ya sean flotantes o suspendidos. Su instalación en las plantas de tratamiento es fundamental puesto que con ello se evitan problemas no solamente en los sistemas intermedios (floculación, sedimentación, etc.) sino que además se facilita el manejo de lodos para su procesado y evita que personal de la planta arriesgue su vida al momento de realizar la limpieza de las rejillas o cribas fijas.

Las unidades de cribado más usuales, para las plantas de tratamiento de agua son las rejillas, las cuales pueden ser de limpieza manual o automática, las de limpieza manual presentan una inclinación de 45° a 60° con respecto a la horizontal (la inclinación facilita la limpieza). Por su parte, las rejillas de limpieza automática tienen inclinaciones de 60° a 90° grados.

Debido a la gran cantidad de materiales sólidos que llegan al proceso de floculación en la planta Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga<sup>1</sup>– amb S.A. E.S.P. - se ha decidido implementar un sistema de cribado de limpieza automática para retirar dichos materiales.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Javier Rugeles

<sup>1</sup> BN AMERICAS Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, amb S.A. E.S.P. [en línea] [7 de marzo del 2016]. Documento disponible en: <https://www.bnamericas.com/company-profile/es/acueducto-metropolitano-de-bucaramanga-sa-esp-amb>

## ABSTRACT

**Title** Designe and construction of a system sifting in the plant "BOSCONIA, METROPOLITAN AQUEDUCT OF BUCARAMANGA S.A. E.S.P" \*

**Author:** YUBER ANTONIO CORREDOR ESPITIA\*\*

**KEY WORDS:** Liquid waste (waste water), appraisal, rain water, waste water, sink, faucet, sedimentation, silfting,run-off, flocculation.

The silfting is a mechanic process that separetes materials in accordance with the seize of an individual particle and is the first operation should consider on a water-treatment plant.

Is a method that removes wastewater, pollutant more voluminous, by they floating or suspended.

The units of silfting more usual in a water- treatment plant, its the gates, wich can be clean-up manual or automatic. Manual clean-up has an inclination of 45° to 60° in respect with the horizontal (the inclinece provide their clean up), on the other hand automatic gates have an incline of 60° to 90° degress.

Its installation in the treatment plants is fundamental since it avoids problems not only in the intermediate systems (flocculation, sedimentation, etc.) but also facilitates the handling of sludge for its processing and prevents personnel from the plant to risk his life when cleaning the grids or fixed screens.

Due to the large numer of solid material comes from flocculation process in Bosconia plant of the metropolitan aqueduct from Bucaramanga amb S.A. E.S.P.

Its has decided to implement a system of silfting of automatic clean up to remove these materials.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Javier Rugeles

## INTRODUCCIÓN

Llamamos agua potable al agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para nuestra salud. Se calcula que en la Tierra hay unos 1.400 millones de km. cúbicos de agua. Solamente el 3% de esa agua es agua dulce, es decir 42 millones de Km. cúbicos. De toda el agua dulce, el 80% está formando los polos y zonas heladas de la Tierra; el 19% es agua subterránea y el 0,7% está formando parte de la atmósfera.

El agua dulce disponible en ríos y lagos es el 0,3% del total. Es una cantidad escasa para toda la humanidad, por lo que es necesario conservarla y evitar su contaminación, si queremos que la vida continúe sobre este planeta.

El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar nuestra salud. Por eso, antes de que el agua llegue a nuestras casas, es necesario que sea tratado en una planta potabilizadora. En estos lugares se limpia el agua y se trata hasta que está en condiciones adecuadas para el consumo humano.

El amb S.A. E.S.P. en su afán de cumplir con los requerimientos para que su planta entregue agua de la mejor calidad y además de ello para evitar fallas de los floculadores debido a los residuos sólidos que llegan allí, ha decidido implementar un sistema de cribado automático para retirar dichos residuos del agua cruda que llega al proceso de floculación<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE Floculación [en línea] [13 de febrero del 2012] Información disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Floculaci%C3%B3n>

## 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

El Acueducto Metropolitano de Bucaramanga – amb S.A. E.S.P. - garantiza que, tras los resultados de las pruebas, en el área metropolitana de Bucaramanga “se suministra agua de alta calidad que no representa ningún tipo de riesgo para la salud de los usuarios”.

El estudio se realizó a través del Laboratorio de Control de Calidad de Aguas, acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia –ONAC-, el cual monitorea 77 puntos establecidos en la red de distribución y concertados previamente con los organismos de vigilancia.<sup>3</sup>

Por otra parte, durante la potabilización de agua en el amb S.A. E.S.P. se realiza un proceso llamado floculación en el cual se ven muy afectados los floculadores debido a la cantidad de residuos sólidos transportados en el agua (plásticos, palos, piedras, hojas, botellas, etc.), que generan grandes daños, obstruyendo su sistema giratorio, generando bloqueos y daños tanto en las aletas como en los motores y su sistema de reducción de velocidad.

Adicionalmente, Luego de la floculación viene el proceso de sedimentación, en el que se retiran todos los residuos sólidos y el lodo, mediante bombeo por unas tuberías de gran diámetro. Si a esta fase se llega con un alto contenido de residuos sólidos es normal que este proceso falle o sea muy demorado debido a que ocurren grandes taponamientos en las tuberías (los residuos sólidos aumentan su tamaño

---

<sup>3</sup> CONAMET Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, ONAC [En línea] [Julio del 2016] Documento disponible en: <https://www.conamet.com.co/index.php/quienes-somos/quien-es-onac>

al ponerse en contacto con el lodo, y es más complicado su transporte por las tuberías), lo cual dificulta el proceso y puede llevar a la rotura de estas.

Debido a los problemas mencionados anteriormente, es necesario implementar un sistema de filtrado que ayude a minimizar la contaminación y permita un mejor tratamiento del agua en la planta Bosconia del amb S.A. E.S.P., retirando un alto porcentaje de residuos sólidos que puedan intervenir y reaccionar con el proceso de tratamiento, disminuyendo el frecuente daño de los floculadores que resultan muy afectados debido a dichos residuos sólidos y al mismo tiempo evitando que aumente la concentración de contaminantes no deseados en el vertimiento de los sobrantes después del proceso

Para dar solución a los dos (2) problemas anteriores, el amb S.A. E.S.P. decidió colocar varias rejillas hechas en varilla de  $\frac{1}{2}$ " las cuales eran limpiadas por su propio personal, pero en una oportunidad, mientras un operario realizaba la limpieza de estas, este se enredó con la misma y cayó en el tubo que transporta el agua desde la parte 1 a la parte 2 de la planta, por suerte, el operario salió ileso de este incidente.

Para este problema se plantea una solución que ayude a que los residuos que se encuentran en el agua sean extraídos de una manera rápida y eficiente sin la necesidad de que haya un operario que realice dicha extracción.

Los sistemas de cribado fino, o de retención de los residuos gruesos, usados generalmente en los procesos de tratamiento de aguas, separan las partículas de acuerdo con su tamaño unitario individual. Esto se cumple proporcionando un movimiento en particular del medio de cribado, el cual es generalmente una malla o una placa perforada.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

Para cumplir con lo establecido por la resolución No 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, la cual rige la calidad de vertimientos a cuerpos de agua y alcantarillado, Se otorgan periodos de cumplimiento que contemplan un plazo de 2 años para aquellos organismos que cuenten con el permiso de vertimientos y cumplan con los límites establecidos por el decreto 1594. Si se llega a presentar un plan en el primer año de reconversión a tecnologías limpias, se contará con 3 años adicionales para cumplir finalmente con la resolución. Si no se llega a cumplir con los parámetros establecidos por la resolución se inicia un proceso sancionatorio ambiental en donde se puede multar a la empresa con hasta \$438'000.000 cop.

La resolución No 0631 de 2015 dictamina la cantidad máxima de residuos sólidos suspendidos totales (SST), la cual debe ser de 70 mg/l, cabe resaltar que en esta nueva resolución el dictamen se realiza dependiendo la concentración másica de contaminante en el agua y no por cantidad diaria como regía la anterior resolución, la cual limitaba un máximo de 3000 Kg/día y para lo cual el amb S.A. E.S.P. cumplía totalmente dicha resolución, pero con esta nueva resolución, se debe instalar un nuevo sistema de limpieza que permita cumplir con dicho requerimiento.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Contribuir a la construcción y divulgación de conocimientos como propósito de la formación de ingenieros mecánicos de la Universidad Industrial de Santander mediante el Diseño y construcción de un sistema de cribado continuo para la

separación de material suspendido en el agua (cruda) que ingresa a la planta de potabilización Bosconia del amb S.A. E.S.P.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Establecer métodos de cribado progresivo (2 cribas fijas antes de la instalación del proyecto) en las instalaciones de la PTAP Bosconia del amb S.A. E.S.P.
- Construir un sistema capaz de remover  $1000 \text{ Kg/h}$  de residuos sólidos de un caudal de agua de  $2000 \text{ l/s}$ .
- Diseñar un equipo para cribado fino ( $4 - 5 \text{ mm}$ ) con sistema de recolección continua, para la fase final del sistema de separación del material suspendido en el agua cruda.
- Realizar planos de construcción y modelamiento 3D.
- Establecer instructivos de operación y mantenimiento del sistema para cumplir con la norma establecida por el amb S.A. E.S.P.

## **2. AGUA: CONTAMINANTES Y PROCESO DE POTABILIZACIÓN**

### **2.1 ¿QUE ES LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA?**

La contaminación del agua es cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad del agua que tiene un efecto dañino en cualquier cosa viva que consuma esa agua. Cuando los seres humanos beben el agua contaminada tienen a menudo problemas de salud. La contaminación del agua puede también hacer a esta inadecuada para el uso deseado.

**2.1.1 ¿Cuáles son los mayores contaminantes del agua?** Hay varias clases de agentes contaminantes del agua: Los primeros son agentes causantes de enfermedad. Éstos son bacterias, virus, protozoos y los gusanos parásitos que se incorporan desde los sistemas de aguas residuales y las aguas residuales sin tratar.

Una segunda categoría de agentes contaminantes del agua son los agentes consumidores de oxígeno; residuos que se pueden descomponer por las bacterias consumidoras de oxígeno. Cuando las poblaciones de bacterias son grandes la descomposición de los residuos tiene lugar y se consume mucho oxígeno pudiendo agotar el oxígeno disuelto en el agua. Esto puede ser causa de que otros organismos que viven en el agua, tal como pescados, mueran.

Una tercera clase de agentes contaminantes del agua son los agentes contaminantes inorgánicos solubles en agua, tales como ácidos, sales y metales tóxicos. Grandes cantidades de estos compuestos harán el agua inapropiada para beber y pueden causar la muerte de la vida acuática.

Otra clase de agentes contaminadores del agua son los nutrientes; los nitratos y los fosfatos solubles en agua que causan el crecimiento excesivo de las algas y de otras plantas acuáticas, que agotan la fuente de oxígeno del agua. Esto mata a pescados y, cuando esta se encuentra en agua potable, puede matar a niños infantiles. El agua se puede también contaminar por un número de compuestos orgánicos tales como aceite, plásticos y pesticidas, que son dañinos para los seres humanos y para las plantas y animales acuáticos.

Una categoría muy peligrosa es el sedimento suspendido, porque causa una disminución en la absorción de la luz por el agua y las partículas separan compuestos peligrosos tales como pesticidas a través del agua.

Finalmente, los compuestos radiactivos solubles en el agua pueden causar cáncer, defectos de nacimiento y daño genético siendo por tanto agentes contaminantes muy peligrosos del agua.

**2.1.2 ¿De dónde procede la contaminación del agua?** La contaminación del agua es causada generalmente por actividades humanas. Diversas fuentes humanas añaden agentes contaminantes al agua. Hay dos clases de fuentes, fuentes puntuales y fuentes difusas. Las fuentes puntuales descargan agentes contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o de alcantarillas en el agua superficial. Las fuentes de contaminación difusa son las fuentes que no se pueden localizar en un solo sitio de descarga.

Los ejemplos de fuentes puntuales son: fábricas, plantas de tratamiento de aguas residuales, minas subterráneas, pozos de petróleo, buques de petróleo, etc. Los ejemplos de las fuentes de contaminación difusa son: deposición ácida del aire, tráfico, agentes contaminantes que se transportan a través de los ríos y de los agentes contaminantes que entran en el agua a través del agua subterránea.

La contaminación por fuente difusa es difícil de controlar porque los causantes de ella no pueden ser controlados.

**2.1.3 ¿Cómo detectamos la contaminación del agua?** La contaminación del agua se detecta en los laboratorios, donde pequeñas muestras de agua se analizan para diversos tipos de contaminantes. Los organismos vivos tales como pescados se pueden también utilizar para la detección de la contaminación del agua. Los cambios en su comportamiento o crecimiento nos demuestran, que el agua en la que viven está contaminada. Las características específicas de estos organismos pueden dar información sobre la clase de contaminación en el ambiente. Los laboratorios también utilizan modelos por computadora para determinar qué peligros puede haber en ciertas aguas. Importantes son los datos que se poseen y se almacenan en la computadora sobre el agua, para que la computadora entonces determine si el agua tiene cualquier impureza.<sup>4</sup>

## **2.2 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA CRUDA**

Para que el agua que recogemos de nuestros ríos o embalses sea apta para el consumo, es necesario someterla a un proceso de potabilización del agua, que comprende las siguientes etapas:

- Captación: En esta etapa el agua se extrae desde las fuentes naturales, generalmente de los ríos. El agua proveniente de ríos requiere un proceso más completo en su tratamiento al estar expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos.
- Canalización: el agua captada se conduce hacia la planta potabilizadora utilizando dos tipos de sistemas: aducción o impulsión. Si es por aducción en el agua se transporta por gravedad (por su propio peso) ya que la fuente

---

<sup>4</sup> LENNTECH FAQ de la contaminación del agua [en línea] [1998-2018] información disponible en: <https://www.lennotech.es/faq-contaminacion-agua.htm>

abastecedora está a un nivel más elevado que la planta potabilizadora; si la fuente de agua se encuentra a un nivel más bajo que la planta, el transporte del agua se realiza mediante bombas y se denomina impulsión.

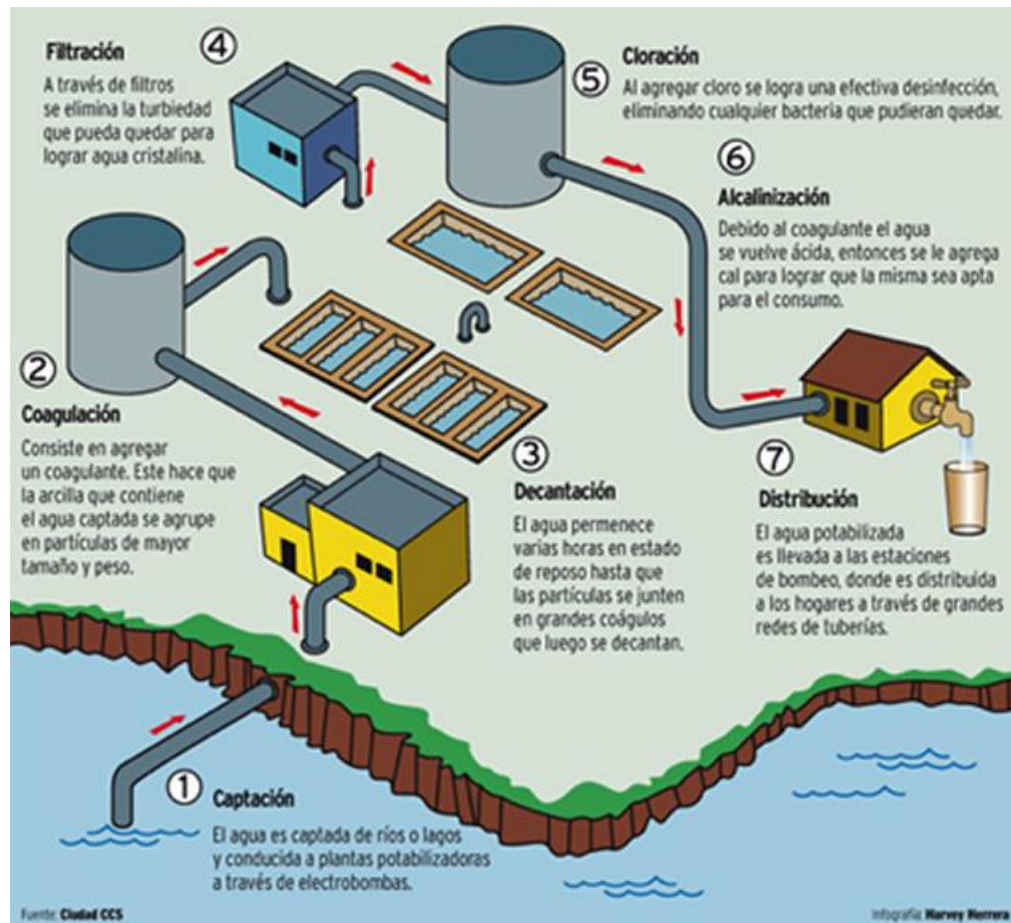
- Floculación: es el proceso por el cual se eliminan las partículas en suspensión, aplicando agentes químicos que producen que estas partículas se unan formando los “flocs”. Esta aglomeración de partículas, al ser más pesada que cada partícula individual, se asienta, eliminando la turbiedad y permitiendo que el agua pueda clarificarse.
- Decantación: el agua se ubica en una gran pileta donde permanece quieta, para que se produzca la separación del líquido y de los sólidos, y se depositen en el fondo por su propio peso.
- Filtración: en esta fase el agua se separa de la materia en suspensión haciéndola pasar a través de un elemento poroso, generalmente arena, cuyo resultado final es un agua más clara, en la que se han eliminado hasta un 95% de los microorganismos.
- Cloración o Desinfección: se destruyen los agentes microbianos que pudiesen estar presentes en el agua, utilizando diferentes productos químicos (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, dióxido de cloro, ozono, etc.).
- Alcalinización: Debido al coagulante del agua, esta se vuelve ácida por lo que es necesario añadir cal para convertirla en apta para el consumo.
- Distribución: una vez finalizada la potabilización, el agua se lleva a las estaciones de bombeo desde donde se distribuye gracias a la red de tuberías.

Durante todo el proceso de potabilización del agua se realizan controles analíticos de calidad. La suma de las etapas para potabilizar el agua se realiza en aproximadamente 4 horas.

En el caso de las aguas subterráneas que provienen de pozos, el único tratamiento que requiere, generalmente, es la cloración. Esto se debe a que el agua suele ser más pura a grandes profundidades.

Para confirmar que el agua ya es potable, debe ser inodora (sin olor), incolora (sin color) e insípida (sin sabor), además de satisfacer ciertos controles de calidad estándar.<sup>5</sup>

**Figura 1. Proceso de potabilización del agua**



<sup>5</sup> POCERIA SIN ZANJA Proceso de potabilización [en línea] [11 de abril del 2016] Información disponible en: <https://www.poceriasinzanja.es/que-es-el-agua-potable-como-saber-si-el-agua-es-potable/>

### 3. PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

#### 3.1 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA S.A. E.S.P.

La planta de Bosconia del amb S.A. E.S.P. realiza la captación de agua cruda directamente del río Suratá, la cual llega con una gran cantidad de contaminantes (sólidos y químicos), por tanto, se le debe realizar un pretratamiento antes de su proceso normal de potabilización.

**3.1.1 Captación** Realizada desde el río Suratá y a través de la cual se extrae el agua necesaria para el tratamiento.

**3.1.2 Desarenación** Es un mecanismo que nos ayuda a eliminar las arenas que contiene el agua evitando que se acumulen y causen erosión en las tuberías.

**3.1.3 Dosificación de alumbre** Luego de que el agua es recibida se transporta mediante canaletas y tuberías hacia los desarenadores, en el transcurso de este trayecto se realiza un proceso llamado “dosificación de alumbre”, el cual consiste en agregar la cantidad necesaria de sulfato de aluminio para eliminar la mayor cantidad de partículas que lleva el agua y hacer más fácil el tratamiento del agua además de agregar el coagulante para que las partículas sólidas se unan con otras para hacerlas más grandes y así facilitar el proceso de decantación.

**Figura 2. Dosificación de alumbre**



**3.1.4 Presedimentación** Luego de que el agua pasa por el proceso de pretratamiento y coagulación, es recibida en los tanques de quietamiento, grandes piscinas donde las partículas se juntan y luego mediante decantación son retirados la gran mayoría de residuos sólidos presentes en el agua, además, este proceso sirve para reducir la turbulencia que trae el agua.

**Figura 3. Presedimentadores**



**3.1.5 Aireación** El agua saliente del proceso de decantación es captada por una canaleta y enviada hacia la tubería de transporte, la cual lleva el agua hasta la canaleta parshall, encargada de generar turbulencia en el agua y así eliminar olores y sabores producidos por gases disueltos.

**Figura 4. Aireación (canaleta parshall)**



**3.1.6 Cloración** Adelante de la canaleta parshall, se encuentra una tubería perforada ubicada en la parte superior del paso de agua la cual agrega cloro al agua y mediante una caída tipo cascada (elaborado a propósito en la parte baja de la canaleta), añade turbulencia al agua para que esta se revuelva con el cloro y este cumpla su objetivo (lograr la desinfección del agua eliminando cualquier bacteria presente).

**Figura 5. Cloración**



**3.1.7 Floculación** Se realiza por medio de la agitación lenta del agua, que se lleva a cabo para aglutinar partículas más pequeñas en grandes denominadas FLOC'S.

**Figura 6. Floculación**



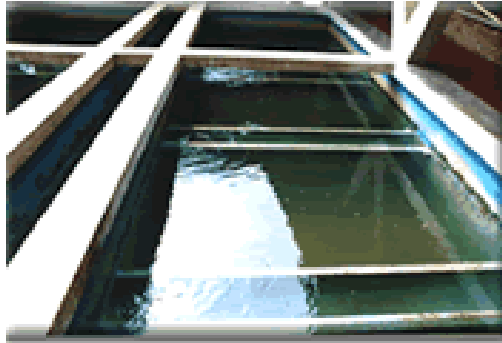
**3.1.8 Sedimentación** A través de ella se separa el agua de los FLOC'S los cuales se decantan en el fondo de los tanques de sedimentación.

**Figura 7. Sedimentación**



**3.1.9 Filtración** Este mecanismo hace que las partículas de turbidez que no fueron retenidas en la sedimentación sean totalmente eliminadas.

**Figura 8. Filtración**



**3.1.10 Control de calidad** Se analiza el agua de los ríos, las plantas de tratamiento y en la red, mediante ensayos de laboratorio.

**Figura 9. Laboratorios**



**3.1.11 Distribución** Por último, y luego de que el agua pasa por varios controles para estar seguros de que es agua potable, es bombeada a los distintos tanques de almacenamiento para luego ser distribuida gracias al sistema de tuberías de la ciudad de Bucaramanga.

**Figura 10. Cuarto de bombas**



## **3.2 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE CRIBADO**

### **3.2.1 Definición**

**3.2.1.1 ¿Qué es un cribado?** Es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo con su tamaño de partícula individual. Esto se cumple proporcionando un movimiento en particular al medio de cribado, el cual es generalmente una malla o una placa perforada.

**3.2.1.2 ¿Cómo funciona?** Esto provoca partículas más pequeñas que el tamaño de las aberturas (del medio de cribado) pasen a través de ellas como finos y que las partículas más grandes sean acarreadas como residuos.

**3.2.1.3 Características fundamentales** Las principales características de este tipo de equipo son:

- Tamaño de las aberturas uniformes
- Suficiente robustez y rigidez para soportar las cargas mecánicas.
- Con una superficie o sesión viva suficientemente grande.

### 3.2.2 Tipos de cribas

**3.2.2.1 Cribas fijas de barrote** También llamado tamiz estático es un equipo desarrollado para la separación de sólidos en suspensión dentro líquidos. La separación particularmente se hace de forma rápida, sin necesitar soporte de energía. Estos equipos se caracterizan por tener un muy bajo costo de mantenimiento.

**3.2.2.2 Cribas de tambos o trommels** Consisten en un tambor rotatorio horizontal o ligeramente inclinado de 4 a 7 grados compuesto por una armadura a la cual está sujeta una superficie de tamizado, que es generalmente una plancha perforada o una barrera doblada en espiral.

Estos equipos cuentan con un embudo de entrada del producto, por donde caen en la criba cilíndrica interior accionada por medio de un mecanismo. El rechazo sale luego de viajar por toda la criba y el cernido cae al fondo del aparato y se recoge en el extremo opuesto empujado por un tornillo sinfín.

Existen en explotación industrial variedades de este tipo, pero en todos los casos el diámetro interior de la criba oscila entre 1 y 2 metros de longitud y entre 3 y 6 metros los grandes. Para aparatos pequeños las dimensiones oscilan entre 0.5 y 1 metro de diámetro y 0.5 y 1 metro de largo.

Aunque estas cribas, proporcionan un trabajo continuo sin vibraciones que afecten su estructura, presentan la desventaja de una capacidad relativamente baja y una baja eficiencia de tamizado, fundamentalmente para el tamizado fino. La eficiencia aumenta considerablemente si el tamizado se realiza por vía húmeda, rociando con duchas a presión el material en el interior del cilindro.

**3.2.2.3 Cribas giratorias o semivibratorias** Son aparatos con un bastidor que tienen de uno a tres tamices y al que se le comunica un movimiento circular en el plano vertical por medio de un árbol excéntrico acoplado al centro del mismo bastidor, el cual se encuentra inclinado un ángulo entre 10 y 30 grados con respecto a la horizontal. El radio del movimiento vertical es de 1.5 0 6 milímetros y su frecuencia oscila entre 750 y 1000 revoluciones por minutos, debido a que el árbol excéntrico está provisto de compensadores. El funcionamiento del aparato es suave. Se utiliza mucho en el cribado grueso don pedazos de hasta 400 milímetros y agujeros del tamiz de 150 a 200 milímetros.

**3.2.2.4 Cribas coladores de arco o planos** Se emplean para el tamizado de suspensiones, con el fin de separar como rechazo parte de esta con las partículas mayores o sencillamente para separar solamente estas partículas, en cuyo caso se proveen de dispositivos para sacar el sólido rechazado de la parte superior del tamiz. Estos tamices se construyen de rejillas de ranuras de alambre trapezoidal o con tela metálica, con aberturas del tamiz que generalmente tiene un tamaño menor que 1 milímetro.<sup>6</sup>

### **3.3 RESIDUOS SOLIDOS QUE LLEGAN A LA PLANTA Y SU CLASIFICACIÓN**

(Anexo 1)

---

<sup>6</sup> ECURED Tipos de criba [en línea] [1 agosto de 2016] Información disponible en: [https://www.ecured.cu/Cribas\\_industriales](https://www.ecured.cu/Cribas_industriales)

## 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CRIBADO

El amb S.A. E.S.P. como empresa de servicios públicos, debe garantizar la no falta de tan vital líquido a la ciudad, por tanto, todos sus sistemas van en doble línea (mientras una línea está en funcionamiento, la otra puede estar en mantenimiento sin afectar la producción). Para seguir cumpliendo con ello se decide dividir la canaleta en dos secciones ( $\#_{SEC} = 2$ , cada una de 1 *m* de ancho aproximadamente) y montar 2 sistemas de cribado pero que compartan algunas de sus partes como lo son el sistema de recolección de residuos (tornillos sin fin, tolva de extracción y tolva de recolección).

### 4.1 DISEÑO DE LA REJILLA PARA LA CAPTACIÓN DE MATERIAL

La rejilla en si misma es la parte más importante del proyecto, debido a que allí se realiza la captación del material suspendido en el agua cruda.

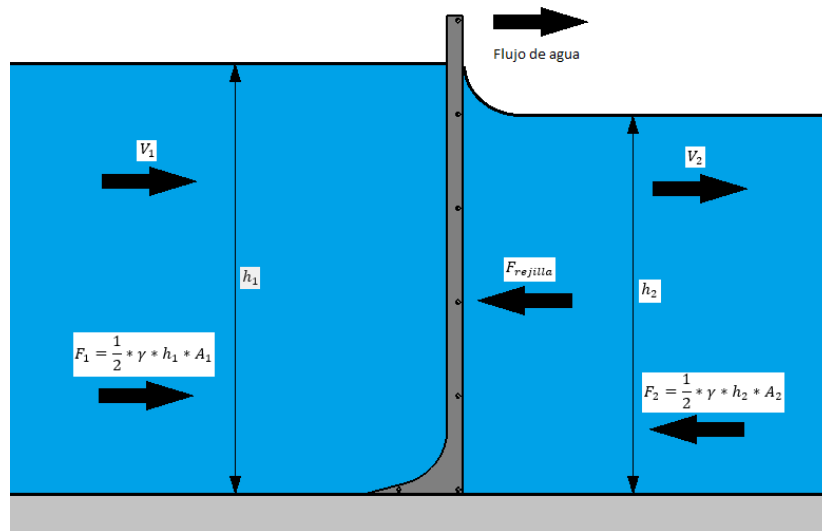
#### 4.1.1 Condiciones

- Tan robusta para soportar la fuerza que el agua va a ejercer sobre ella, pero tan simple para no ocupar mucha área efectiva y así evitar que se eleve demasiado el nivel del agua.
- El material no debe alterar las propiedades del agua.
- Su geometría debe evitar al máximo que queden residuos en el fondo de la canaleta.
- Separación entre placas de 4 *mm* (basados en el estudio realizado).
- Guías laterales para su fácil postura y extracción.

## 4.1.2 Cálculos para la rejilla

### 4.1.2.1 Datos

Figura 11. Diagrama de fuerzas que intervienen en la rejilla



$F_1$  = fuerza de presión a la entrada de la rejilla

$F_2$  = fuerza de presión a la salida de la rejilla

$F_{rejilla}$  = fuerza de la rejilla

$\dot{m}$  = flujo masico

$V_1$  = velocidad del flujo antes de la rejilla

$V_2$  = velocidad del flujo despues de la rejilla

$\gamma$  = peso especifico del agua

$h_1$  = altura a la entrada a la rejilla

$h_2$  = altura a la salida a la rejilla

$A_1$  = area a la entrada a la rejilla

$A_2$  = area a la salida a la rejilla

- Flujo volumétrico máximo en planta

$$Q_v = 2000 \frac{l}{s} = 2 \frac{m^3}{s} \quad (1)$$

- Base inicial

$$b_0 = 2,3 \text{ m} = 2300 \text{ mm} \quad (2)$$

- Separación entre laminas (basado en los estudios previos realizados por el amb S.A. E.S.P.)

$$S_{lam} = 4 \text{ mm} \quad (3)$$

- Ancho muro central

$$A_{mc} = 110 \text{ mm} \quad (4)$$

- Ancho de ángulo (seleccionamos un ancho de ángulo al azar en el catálogo, pero teniendo en cuenta que este ancho debe cubrir el ancho de la cadena y de la chumacera, pues estos ángulos principalmente se utilizan para la protección de estos, más adelante se comprobara si se pueden usar o si se deben cambiar).

$$A_{ang} = 75 \text{ mm} \quad (5)$$

- Densidad del agua

$$\rho_{agua} = 1000 \frac{Kg}{m^3} \quad (6)$$

- Gravedad

$$G = 9,81 \frac{m}{s} \quad (7)$$

- Altura de salida

$$h_2 = 1,1 m \quad (8)$$

- Peso específico del agua

$$\gamma = 9810 \frac{N}{m^3} \quad (9)$$

Basados en las láminas de acero inoxidable que nos ofrece el mercado, las láminas calibre 14 (1.9 mm) son las que mejor se adaptan a este trabajo, debido a que no son muy grandes para ocupar demasiado espacio, pero tampoco tan pequeñas para deflectarse con facilidad.

- Espesor de lamina

$$E_{lam} = 1,9 mm \quad (10)$$

#### 4.1.2.2 Se obtiene

- Área de salida

$$A_2 = b_0 * h_2 = 2,3 * 1,1 = 2,53m^2 \quad (11)$$

- Velocidad del agua a la salida

$$V_2 = \frac{Q_v}{A_2} = \frac{2}{2,53} = 0,8 \frac{m}{s} \quad (12)$$

- Flujo másico

$$\dot{m} = Q_v * \rho_{agua} = 2 * 1000 = 2000 \frac{Kg}{s} \quad (13)$$

- Espesor de lámina más separación entre láminas

$$E_{ll} = E_{lam} + S_{lam} = 1,9 + 4 = 5,9 \text{ mm} \quad (14)$$

- Base de trabajo

$$b_W = b_o - A_{mc} - 4 * A_{ang} = 2300 - 110 - 4 * 75 \quad (15)$$

$$b_W = 1890 \text{ mm} \quad (16)$$

- Base de trabajo por cada sección

$$b_{sec} = \frac{b_w}{\#_{SEC}} = \frac{1890}{2} = 945 \text{ mm} \quad (17)$$

- Numero de laminas

$$\#_L = \frac{b_{sec}}{E_{ll}} = \frac{945}{5,9} = 160,17 \cong 160 \quad (18)$$

Basados en la segunda ley de newton, a menudo llamada ecuación de cantidad de movimiento la cual plantea que la fuerza resultante que actúa en un sistema igual a

la velocidad de cambio de la cantidad de movimiento del sistema cuando se mide en un marco de referencia inercial; es decir,

$$\sum F = \frac{D}{Dt} \int_{sist} \rho V \, dV \quad (19)$$

Esta se escribe para un volumen de control como

$$\sum F = \frac{d}{dt} \int_{v.c.} \rho V \, dV + \int_{v.c.} \rho V * (V * \hat{n}) \, dA \quad (20)$$

La ecuación 20 se simplifica considerablemente si un dispositivo tiene entradas y salidas a través de las cuales se puede suponer que el flujo es uniforme y si el flujo es continuo. Entonces se obtiene

$$\sum F = \sum_{i=1}^N \rho_i * A_i * V_i * (V_i * \hat{n}) \quad (21)$$

Si hay solo una entrada y una salida, la ecuación de cantidad de movimiento llega a ser

$$\sum F = \rho_2 * A_2 * V_2 * V_2 - \rho_1 * A_1 * V_1 * V_1 \quad (22)$$

Si se utiliza la continuidad

$$\dot{m} = \rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_2 * A_2 * V_2 \quad (23)$$

La ecuación 22 de cantidad de movimiento adopta la forma simplificada

$$\sum F = \dot{m} * (V_2 - V_1) \quad (24)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} * \gamma * H_2 * A_2 \quad (25)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} * 9810 * 1,1 * 2,53 = 13650,615 \text{ N} \quad (26)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} * \gamma * H_1 * A_1 = \frac{1}{2} * \gamma * b_o * H_1^2 \quad (27)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} * 9810 * 2,3 * H_1^2 \quad (28)$$

Y al desarrollar la ecuación de cantidad de movimiento, aplicada al sistema

$$\sum F_x = -F_{rejilla} + F_1 - F_2 = \dot{m}(V_2 - V_1) \quad (29)$$

Esta expresión se puede derivar de la ecuación de cantidad de movimiento y se obtiene la primera ecuación del sistema de ecuaciones.

$$-F_{rejilla} + \frac{1}{2} * 9810 * 2,3 * H_1^2 - 13650,615 = 2000 * (0,8 - V_1) \quad (30)$$

Ahora se realiza la ecuación de energías

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2 * G} - H_{FR} = H_2 + \frac{V_2^2}{2 * G} \quad (31)$$

Obteniendo la segunda ecuación del sistema de ecuaciones

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2 * 9,81} - H_{FR} = 1,1 + \frac{0,8^2}{2 * 9,81} \quad ( 32 )$$

Añadimos la ecuación de continuidad

$$Q_V = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad ( 33 )$$

$$H_1 * V_1 = H_2 * V_2 \quad ( 34 )$$

Obteniendo así la tercera ecuación:

$$H_1 * V_1 = 1,1 * 0,8 \quad ( 35 )$$

Para el cálculo de las pérdidas de carga en rejillas de barras, se pueden utilizar diferentes fórmulas que tienen en cuenta la velocidad de llegada del flujo y la forma de las barras principalmente. Kirschmer ha propuesto la siguiente ecuación para la pérdida de carga:

$$H_{FR} = B * \left( \frac{E_{lam}}{S_{lam}} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_1^2}{2 * G} * \sin(\theta) \quad ( 36 )$$

Donde:

$H_{FR}$  = pérdida de carga (m)

$B$  = factor de forma de la barra

$E_{lam}$  = espesor de las barras transversal a la dirección de la corriente (m)

$S_{lam}$  = separación mínima entre barras (m)

$V_1$  = velocidad de acercamiento (m/s)

$G$  = gravedad(m/s<sup>2</sup>)

$\theta = \text{ángulo de la reja respecto a la horizontal}$

La pérdida de carga aumenta con el grado de obturación. Los valores de B dados por Kirschmer para diferentes formas de barras se presentan en la tabla siguiente.

**Tabla 1. Tipos de rejilla**

TIPO DE REJA	B
Rectangular con bordes agudos	2,42
Rectangular con la cara de aguas arriba semicircular	1,83
Circular	1,79
Rectangular con ambas caras semicirculares	1,67

NOTA\*Cambios en la variable B según el tipo de reja

De lo anterior se obtiene la cuarta ecuación del sistema de ecuaciones

$$H_{FR} = 2,42 * \left(\frac{0,0019}{0,004}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_1^2}{2 * 9,81} * \sin(90) \quad (37)$$

Desarrollando el sistema de ecuaciones (ecuación 30, ecuación 32, ecuación 35 y ecuación 37), se obtiene:

$$H_1 = 1,129 \text{ m} \quad (38)$$

$$V_1 = 0,7704 \text{ m/s} \quad (39)$$

$$H_{FR} = 0,02713 \text{ m} \quad (40)$$

$$F_{rejilla} = 682,2 \text{ N} \quad (41)$$

Estos resultados son para el caso en que las dos rejillas estén en funcionamiento, ahora debemos realizar el mismo procedimiento para el caso en que se le realice

mantenimiento a una rejilla y la otra se mantenga en funcionamiento, utilizaremos las mismas ecuaciones, pero cambiando el ancho de la canaleta (ecuación 2) así:

$$b_0 = 1,095 \text{ m} \quad (42)$$

Lo cual me altera las ecuaciones que dependen de este dato:

- Área de salida

$$A_2 = b_0 * h_2 = 1,095 * 1,1 = 1,2045 \text{ m}^2 \quad (43)$$

- Velocidad del agua a la salida

$$V_2 = \frac{Q_v}{A_2} = \frac{2}{1,2045} = 1,66 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (44)$$

- Fuerza a favor del movimiento del fluido

$$F_1 = \frac{1}{2} * \gamma * H_1 * A_1 = \frac{1}{2} * \gamma * b_0 * H_1^2 \quad (45)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} * 9810 * 1,095 * H_1^2 \quad (46)$$

- Fuerza opuesta al movimiento del fluido

$$F_2 = \frac{1}{2} * \gamma * H_2 * A_2 \quad (47)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} * 9810 * 1,1 * 1,2045 = 6498,8797 \text{ N} \quad (48)$$

- Ecuación de cantidad de movimiento

$$-F_{rejilla} + \frac{1}{2} * 9810 * 1,095 * H_1^2 - 6498,8797 = 2000 * (1,66 - V_1) \quad (49)$$

- Ecuación de energías

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2 * G} - H_{FR} = H_2 + \frac{V_2^2}{2 * G} \quad (50)$$

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2 * 9,81} - H_{FR} = 1,1 + \frac{1,66^2}{2 * 9,81} \quad (51)$$

- Ecuación de pérdida de cargas en rejillas

$$H_{FR} = B * \left( \frac{E_{lam}}{S_{lam}} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_1^2}{2 * G} * \sin(\theta) \quad (52)$$

$$H_{FR} = 2,42 * \left( \frac{0,0019}{0,004} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_1^2}{2 * 9,81} * \sin(90) \quad (53)$$

- Ecuación de continuidad

$$Q_V = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (54)$$

$$H_1 * V_1 = H_2 * V_2 \quad (55)$$

$$H_1 * V_1 = 1,1 * 1,66 \quad (56)$$

Desarrollando el sistema de ecuaciones (ecuación 49, ecuación 51, ecuación 53 y ecuación 56), se obtiene:

$$H_1 = 1,229 \text{ m} \quad (57)$$

$$V_1 = 1,486 \text{ m/s} \quad (58)$$

$$H_{FR} = 0,101 \text{ m} \quad (59)$$

$$F_{rejilla} = 1264 \text{ N} \quad (60)$$

En base a estos resultados, podemos decir que se puede trabajar con una rejilla mientras se le hace el mantenimiento a la otra y así cumpliendo con la condición de doble línea que el acueducto maneja para garantizar la producción de agua potable pero debemos de realizar un realce a los muros de la canaleta debido a que estos miden  $1,2 \text{ m}$  y deben de quedar de  $1,4 \text{ m}$  para satisfacer la altura de agua cuando se trabaje una sola rejilla a máxima capacidad y además tener  $\pm 10 \text{ cm}$  como prevención.

**4.1.3 Resultados** Con base en los anteriores resultados y teniendo en cuenta las especificaciones del cliente y lo que el mercado ofrece, se opta por construir una rejilla en acero inoxidable calibre 14 ( $1,9 \text{ mm}$ ) la cual consta de 160 piezas (ver figura 12) unidas entre sí por 7 ejes roscados ( $\#_{er} = 7$ ) de media pulgada de diámetro exterior, con una separación entre piezas de  $4 \text{ mm}$  (ver anexo 2).

Por último, realizamos un cálculo de resistencia del material con ayuda del software SolidWorks (este se realiza a máxima capacidad, cuando se trabaja con una sola rejilla) (ver anexo 3).

- Área cubierta por la rejilla

$$A_R = E_{lam} * \#_{lam} * H_1 = 0,0019 * 160 * 1,229 = 0,3736 \text{ m}^2 \quad (61)$$

- Presión sobre la rejilla

$$P_R = \frac{F_{rejilla}}{A_R} = \frac{1264 \text{ N}}{0,3736 \text{ m}^2} = 3383,3 \text{ Pa} \quad (62)$$

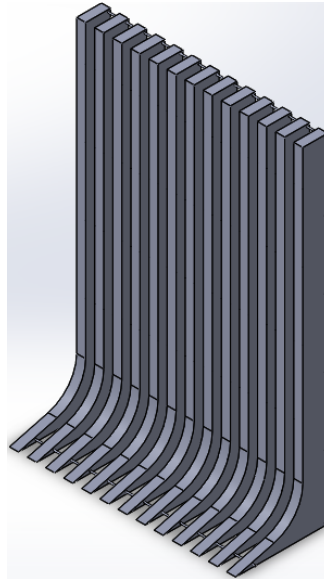
- Área de sección de rejilla que recibe la fuerza

$$A_{LR} = 1,229 \text{ m} * 0,0019 \text{ m} = 2,335 * 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (63)$$

- Fuerza que debe soportar cada sección de rejilla

$$F_{LR} = P_R * A_{LR} = 3383,3 * 2,335 * 10^{-3} = 7,9 \text{ N} \quad (64)$$

**Figura 12. Rejilla**



- Volumen de cada pieza

$$V_p = 168,6 \text{ cm}^3 \quad (65)$$

- Peso de cada pieza

$$m_p = \frac{V_P}{1000000} * \rho_{ACERO} = \frac{168,6}{1000000} * 8000 = 1,3488 \text{ Kg} \quad (66)$$

- Peso de cada eje roscado

$$m_{er} = 0,0446 \text{ Kg} \quad (67)$$

- Peso total rejilla

$$m_{TR} = (m_p * \#_L) + (m_{er} * \#_{er}) \quad (68)$$

$$m_{TR} = (160 * 1,3488) + (7 * 0,0446) = 216,12 \text{ Kg} \quad (69)$$

Su geometría se basa principalmente en las condiciones dadas, su perfil puntiagudo en la parte baja para evitar estancamientos de residuos en este punto, su perfil vertical para una recolección de basuras más efectivo, sus medidas pequeñas (unas en comparación de otras) y sus 7 ejes roscados para que la pieza sea más robusta y logre soportar la fuerza del agua y su espesor de lámina para que la pieza sea robusta sin ocupar demasiada área de la canaleta y así evitar una elevación exagerada del nivel de agua.

## 4.2 DISEÑO DE LOS CANGILONES

Luego de que se realiza la captación del material, se procede a retirar dicho material de la canaleta mediante un sistema de cangilones (ver figura) que serán transportados mediante cadenas y piñones.

#### 4.2.1 Condiciones

- El material no debe alterar las propiedades del agua.
- Su geometría debe adaptarse a la geometría de la rejilla.
- Soportar una carga de 1 kg (basado en el estudio y estimaciones dadas por la empresa).

#### 4.2.2 Cálculos del cangilón

- Carga

$$C = 1 \text{ Kg} \quad (70)$$

- Profundidad

$$H_1 = 1,229 \text{ m} \quad (71)$$

- Fuerza sobre el cangilón (producida por la carga)

$$F_c = C * G = 1 * 9,81 = 9,81 \text{ N} \quad (72)$$

- Presión sobre el cangilón (producida por el agua)

$$P_{1c} = \rho_{agua} * G * h_1 = 1000 * 9,81 * 1,229 = 12056,5 \text{ Pa} \quad (73)$$

**4.2.3 Resultados** Basados en los resultados anterior y teniendo en cuenta la geometría de la rejilla, se opta por construir un cangilón en acero inoxidable calibre 14 conformado por 161 piezas de las mismas dimensiones, unidas entre ellas por 2

ejes roscados de 9,525 mm de diámetro exterior, con una separación entre sí, de 4 mm y una platina perforada en cada extremo de este ensamble las cuales sirven para adaptarla a las cadenas (ver anexo 4).

- Área de sección

$$A_{SR} = 0,0019m * 0,07m = 1,33 * 10^{-4}m^2 \quad (74)$$

- Numero de láminas de cangilón

$$\#_{lc} = 161 \quad (75)$$

- Área efectiva del cangilón

$$A_c = A_{SR} * \#_{lc} = 1,33 * 10^{-4} * 161 = 0,021413 m^2 \quad (76)$$

- Presión sobre el cangilón (producida por la carga)

$$P_{2c} = \frac{F_c}{A_c} = \frac{9,81 N}{0,021413 m^2} = 458,1329 Pa \quad (77)$$

- Presión total

$$P_T = P_{1c} + P_{2c} = 12056,5 + 458,1329 = 12514,6329 Pa \quad (78)$$

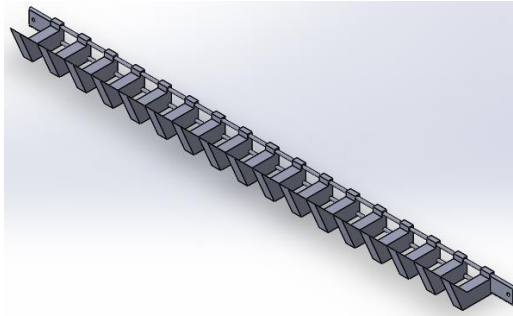
- Fuerza máxima que debe soportar el cangilón

$$F_{MAX} = P_T * A_c = 12514,6329 * 0,021413 = 267,9758 N \quad (79)$$

- Fuerza que debe soportar cada sección del cangilón (ver anexo 5)

$$F_{SR} = P_T * A_{SR} = 12514,6329 \text{ Pa} * 1,33 * 10^{-4} \text{ m}^2 = 1,6644 \text{ N} \quad (80)$$

**Figura 13. Cangilón**



- Peso de cada pieza = 0,03727 Kg
- Volumen de cada pieza =  $4,64 * 10^{-6} \text{ m}^3$
- Peso total cangilón =  $w_{can} = 6,6166 \text{ Kg}$
- Volumen total cangilón =  $0,000827 \text{ m}^3$

Su forma puntiaguda con un ángulo de ataque para el caso en que algún residuo sólido que este prensado entre la rejilla pueda ser extraído por el cangilón y un perfil superior en U, para transportar todos los residuos hasta el punto de recolección.

### 4.3 DISEÑO DE LOS PIÑONES

Estos transmitirán el movimiento de los ejes a la cadena.

#### 4.3.1 Condiciones

- El material no debe alterar las propiedades del agua.

- Su radio primitivo debe ser mayor a 7 *cm* (basado en la recomendación experta) para evitar cambios bruscos en el movimiento del cangilón y así evitar que este bote los residuos nuevamente al agua.
- Su paso circular debe ser de 1" (debido al paso de la cadena, sabiendo que el paso de la cadena debe ser mayor a la distancia entre los ejes de unión del cangilón).

#### 4.3.2 Cálculos

- Paso

$$P = 2,54 \text{ cm} \quad (81)$$

- Suponemos un diámetro primitivo (basado en la recomendación experta)

$$D_p = 15 \text{ cm} \quad (82)$$

- Modulo

$$m = \frac{P}{\pi} = \frac{2,54}{\pi} = 0,808 \text{ cm} \quad (83)$$

- Numero de dientes

$$Z = \frac{D_p}{m} = \frac{15}{0,808} = 18,564 \text{ dientes} \quad (84)$$

Se aproxima a su entero siguiente, pues en el mercado no se va a encontrar un piñón de 18,564 dientes

$$Z = 19 \text{ dientes} \quad (85)$$

**4.3.3 Resultados** Ya con estos datos, se revisa lo que nos ofrece el mercado (ver figura) dando como resultado que se debe utilizar los piñones 80B19 con un diámetro externo de 167,4 mm y un diámetro de eje de 25,4 mm.

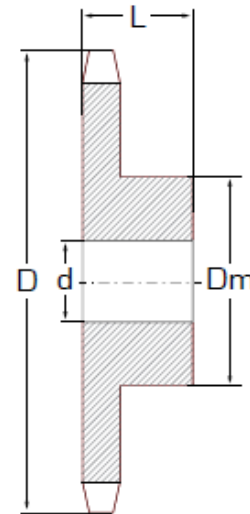
Tabla 2. Catalogo “piñones y cadenas” intermec S.A.<sup>7</sup>



www.intermec.com.co

**No.80**  
Paso 1"

PIÑONES 80 PASO 1"					
Referencia	D	Dm	L	d	Eje máximo* (pulg)
80B9 R	85,1	57	41	25,40	1-5/16
80B10 R	93,5	65	41	25,40	1-1/2
80B11 R	101,6	72	41	25,40	1-5/8
80B12 R	110,0	80	41	25,40	1-7/8
80B13	118,4	76	38	25,40	2
80B14	126,5	82	38	25,40	2-1/4
80B15	134,6	97	38	25,40	2-1/2
80B16	143,0	102	38	25,40	2-3/4
80B17	151,1	102	38	25,40	2-3/4
80B18	159,3	108	38	25,40	2-3/4
<b>80B19</b>	<b>167,4</b>	<b>108</b>	<b>38</b>	<b>25,40</b>	<b>2-3/4</b>
80B20	175,5	108	38	25,40	2-3/4
80B21	183,6	108	44	25,40	2-3/4
80B22	191,8	108	44	25,40	2-3/4
80B23	200,2	108	44	25,40	2-3/4
80B24	208,3	108	44	25,40	2-3/4
80B25	216,4	108	44	25,40	2-3/4
80B26	224,5	118	51	25,40	3-1/4
80B27	232,7	118	51	31,75	3-1/4
80B28	240,5	118	51	31,75	3-1/4
80B29	248,7	118	51	31,75	3-1/4



NOTA\* selección de piñones

<sup>7</sup> INTERMEC S.A. Catalogo “piñones y cadenas” [en línea] [2013]. Documento disponible en: [https://www.intermec.com.co/pinones\\_cadena.php](https://www.intermec.com.co/pinones_cadena.php)

## 4.4 DISEÑO DE LAS CADENAS

Sabiendo que el cangilón realiza la limpieza de la rejilla y que este no puede realizarlo sin un sistema de transporte, se le adaptan cadenas en sus extremos para su debido movimiento.

### 4.4.1 Condiciones

- El material no debe alterar las propiedades del agua.
- Su paso debe ser mayor o igual a la distancia entre los ejes roscados del cangilón para poder adaptarlos a estas.
- Debe mantener un recorrido vertical por toda la rejilla y además llevar los residuos hasta una tolva de recolección.
- Debe soportar el peso de los cangilones y sus cargas.
- Por recomendación experta, la velocidad del cangilón debe estar entre 1 y  $1,5 \frac{cm}{s}$ .

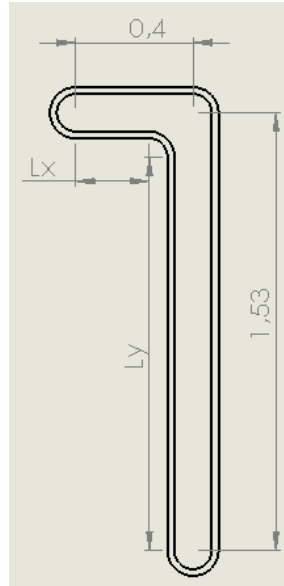
**4.4.2 Descripción del recorrido de la cadena** Teniendo en cuenta que el recorrido debe ser en ascenso vertical (de mínimo  $1,229 m$  debido al nivel de agua que se maneja + altura de prevención para evitar desbordamientos cuando se encuentre a máxima capacidad + la altura de la tolva de recolección), se debe tomar un recorrido primeramente vertical para que se realice la limpieza de la rejilla, luego de cierta altura generar un movimiento horizontal hacia la tolva para deshacernos de lo residuos y por ultimo un recorrido en descenso hacia el punto más bajo de la rejilla para empezar nuevamente con la limpieza.

Ya con estas condiciones y luego de exponerlas al director y al codirector del proyecto quienes recomiendan manejar una altura de prevención mínima de  $10 cm$ ,

se opta por manejar una altura en la cadena de 1,53 m más 40 cm de movimiento horizontal para que el cangilón vaya hasta la tolva de recolección.

#### 4.4.3 Cálculos Cálculo de la longitud total de la cadena

**Figura 14. Longitud inicial de la cadena**



- Longitud vertical

$$L_V = 1,53 \text{ m} \quad (86)$$

- Longitud horizontal

$$L_H = 0,4 \text{ m} \quad (87)$$

- Radio de giro (radio dado por el piñón anteriormente seleccionado)

$$R_G = 0,089239 \text{ m} \quad (88)$$

- Sumatoria de todos los ángulos en radianes

$$\alpha_T = 90^\circ + 180^\circ + 90^\circ + 180^\circ = 540^\circ = 3\pi \text{ radianes} \quad (89)$$

- Perímetro total

$$P_T = \alpha_T * R_G = 3\pi * 0,089239 = 0,841 \text{ m} \quad (90)$$

- Longitud X

$$L_X = L_H - 2 * R_G = 0,4 - 2 * 0,089239 = 0,2215 \text{ m} \quad (91)$$

- Longitud Y

$$L_Y = L_V - 2 * R_G = 1,53 - 2 * 0,080239 = 1,3515 \text{ m} \quad (92)$$

- Longitud total

$$L_T = L_V + L_H + P_T + L_X + L_Y = 1,53 + 0,4 + 0,841 + 0,2215 + 1,3515 \quad (93)$$

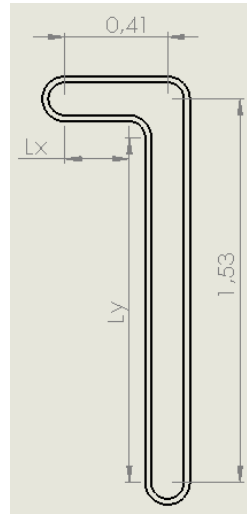
$$L_T = 4,344 \text{ m} \quad (94)$$

- Numero de dientes de la cadena

$$\#_{DIEN TES} = \frac{L_T}{PASO_{CAD}} = \frac{4,344}{0,0254} = 171,0236 \quad (95)$$

Como el número de dientes es muy cercano a 171 y se debe manejar un pequeño coeficiente de error, se debe incrementar en 1 cm la distancia horizontal, dando como resultado

**Figura 15. Longitud real de la cadena**



- Longitud horizontal

$$L_H = 0,41 \text{ m} \quad (96)$$

- Longitud X

$$L_X = L_H - 2 * R_G = 0,41 - 2 * 0,089239 = 0,2315 \text{ m} \quad (97)$$

- Longitud total

$$L_T = L_V + L_H + P_T + L_X + L_Y$$
$$L_T = 1,53 + 0,41 + 0,841 + 0,2315 + 1,3515 \quad (98)$$

$$L_T = 4,364 \text{ m} \quad (99)$$

- Numero de dientes de la cadena

$$\#_{DIENTES} = \frac{L_T}{PASO_{CAD}} = \frac{4,364}{0,0254} = 171,811 \quad (100)$$

Se aproxima a su entero siguiente

$$\#_{DIENTES} = 172 \quad (101)$$

**4.4.4 Resultados** Basándose en los cálculos y en las condiciones antes nombradas además de revisar lo que ofrece el mercado (ver tabla), se opta por seleccionar una cadena de acero inoxidable para que no altere las propiedades del agua, con un paso de 1" para que sea mayor a la separación entre los ejes del cangilón y así poder adaptar este plenamente.

El sistema llevara 4 cadenas en total, y se colocaran 3 cangilones por cada 2 cadenas, por tanto, cada cadena llevara 3 accesorios tipo pestaña para adaptar allí los cangilones.

**Tabla 3. Catalogo “piñones y cadenas” intermec S.A.**

**TABLA DE DIMENSIONES  
DE LAS CADENAS ANSI SENCILLAS**

En pulgadas. El paso figura tanto en pulgadas como en milímetros. Para convertir a milímetros cualquier otra dimensión, multiplíquese por 25.4



DIMENSIONES									
CADENA NUMERO	PASO "P"	LARGO RODILLO "W"	DIAMETRO RODILLO "D"	DIAMETRO PASADOR "C"	GRUESO CHAPETA "F"	ANCHO CHAPETA "H"	M.	LIMITE DE ROTURA Lbs.	PESO Lbs. POR PIE 30.5 cms.
25	1/4" * 6.35 mm	0.125	0.130	0.0905	0.030	0.234	0.188	0.875	0.09
35	3/8" * 9.52 mm	0.187	0.200	0.141	0.050	0.350	0.267	2.100	0.21
40	1/2" * 12.7 mm	0.312	0.312	0.156	0.060	0.466	0.380	3.700	0.42
50	5/8" * 15.87 mm	0.375	0.400	0.200	0.080	0.584	0.460	6.100	0.69
60	3/4" * 19.05 mm	0.500	0.468	0.234	0.094	0.700	0.586	8.500	1.00
80	1" * 25.4 mm	0.625	0.625	0.312	0.125	0.934	0.741	14.500	1.71
100	1 1/4" * 31.75 mm	0.750	0.750	0.375	0.156	1.166	0.923	24.000	2.58
120	1 1/2" * 38.10 mm	1.000	0.875	0.437	0.187	1.400	1.150	34.000	3.87
140	1 3/4" * 44.45 mm	1.000	1.000	0.500	0.219	1.634	1.215	46.000	4.95

NOTA\* Selección del tipo de cadena

Se obtiene una cadena con límite de rotura de 14.500 *Lbs* lo cual nos confirma que nos funcionara correctamente pues el sistema solo necesita mover un máximo de 134,8 *Lbs* (sumatoria del peso de los cangilones, su respectiva carga y el peso de la cadena) aproximadamente.

Con ello se puede hallar la potencia necesaria para mover los cangilones y la cadena.

- Peso del material

$$W_{MAT} = C * 2,2 = 1 * 2,2 = 2,2 \text{ lb} \quad (102)$$

- Peso del cangilón

$$W_{CANG} = w_{can} * 2,2 = 6,6166 * 2,2 = 14,5565 \text{ lb} \quad (103)$$

- Peso de la cadena

$$W_{CAD} = 1,71 * \frac{100}{30,5} = 5,6065 \text{ lb/m} \quad (104)$$

- Peso de subida

$$W_S = 2 * W_{CANG} + 2 * W_{MAT} + \frac{F_{MAX}}{9,81} * 2,2 + L_V * W_{CAD} \quad (105)$$

$$W_S = 2 * 14,5565 + 2 * 2,2 + \frac{267,9758}{9,81} * 2,2 + 1,53 * 5,6065 \quad (106)$$

$$W_S = 102,1874 \text{ lb} \quad (107)$$

- Peso de bajada

$$W_B = W_{CANG} + L_Y * W_{CAD} \quad (108)$$

$$W_B = 14,5565 + 1,3515 * 5,6065 = 22,1337 \text{ lb} \quad (109)$$

- Peso horizontal

$$W_H = (L_H + L_X) * W_{CAD} = (0,41 + 0,2315) * 5,6065 \quad (110)$$

$$W_H = 3,6 \text{ lb} \quad (111)$$

- Velocidad del cangilón

$$V_F = \frac{0,01}{0,0254 * 12} = 0,0328 \frac{ft}{s} \quad (112)$$

- Tiempo de respuesta

$$T = 1 \text{ s} \quad (113)$$

- Gravedad ( $ft/s^2$ )

$$G = 32,2 \frac{ft}{s^2} \quad (114)$$

- Radio de giro

$$R = \frac{0,089239}{0,0254 * 12} = 0,2928 \text{ ft} \quad (115)$$

- Aceleración

$$ACEL = \frac{V_F}{T} = \frac{0,0328}{1} = 0,0328 \frac{ft}{s^2} \quad (116)$$

- Altura de respuesta

$$H = 0,5 * ACEL * T^2 = 0,5 * 0,0328 * 1^2 = 0,0164 \text{ ft} \quad (117)$$

- Velocidad angular

$$\omega = \frac{V_F}{R} = \frac{0,0328}{0,2928} = 0,112 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (118)$$

- Revoluciones por minuto

$$RPM = \frac{60 * \omega}{2 * \pi} = \frac{60 * 0,112}{2 * \pi} = 1,0695 \text{ r.p.m.} \quad (119)$$

- Energia cinética de subida

$$EC_1 = 0,5 * \frac{W_S}{G} * V_F^2 = 0,5 * \frac{102,1874}{32,2} * 0,0328^2 = 1,7 * 10^{-3} \text{ lb} * \text{ft} \quad (120)$$

- Energia cinética de bajada

$$EC_2 = 0,5 * \frac{W_B}{G} * V_F^2 = 0,5 * \frac{22,1337}{32,2} * 0,0328^2 = 3,697 * 10^{-4} \text{ lb} * \text{ft} \quad (121)$$

- Energia cinética horizontal

$$EC_3 = 0,5 * \frac{W_H}{G} * V_F^2 = 0,5 * \frac{3,6}{32,2} * 0,0328^2 \quad (122)$$

$$EC_3 = 6,014 * 10^{-5} \text{ lb} * \text{ft} \quad (123)$$

- Energia potencial de subida

$$EP_1 = W_S * H = 102,1874 * 0,0164 = 1,676 \text{ lb} * \text{ft} \quad (124)$$

- Energia potencial de bajada

$$EP_2 = W_B * H = 22,1337 * 0,0164 = 0,363 \text{ lb} * \text{ft} \quad (125)$$

- Energia del sistema

$$ER = EC_1 + EC_2 + EC_3 + EP_1 + EP_2 \quad (126)$$

$$ER = 1,7 * 10^{-3} + 3,697 * 10^{-4} + 6,014 * 10^{-5} + 1,676 + 0,363 \quad (127)$$

$$ER = 2,04113 \quad (128)$$

$$ER = 0,00017 * WK2 * RPM^2 \quad (129)$$

$$2,04113 = 0,00017 * WK2 * 1,0695^2 \quad (130)$$

$$WK2 = 10496,8776 \quad (131)$$

- Torque

$$TORQUE = WK2 * \frac{RPM}{308 * T} \quad (132)$$

$$TORQUE = 10496,8776 * \frac{1,0695}{308 * 1} = 36,45 \quad (133)$$

- Potencia

$$HP = TORQUE * \frac{RPM}{5250} \quad (134)$$

$$HP = 36,45 * \frac{1,0695}{5250} = 0,007425 \text{ hp} \quad ( 135 )$$

#### 4.5 DISEÑO DEL TORNILLO SIN FIN

Encargado de transportar los residuos hacia la tolva de expulsión

##### 4.5.1 Condiciones

- El material no debe alterar las propiedades del agua.
- Debe extenderse a lo largo de los dos (2) sistemas.
- Debe tener una capacidad de transporte de residuos de  $6 \frac{kg}{h}$

**4.5.2 Cálculos numéricos** Selección de un tornillo sin fin transportador (ver anexo 6)

Se opta por trabajar con una hélice continua, de paso igual al diámetro.

##### DATOS

- Flujo de caudal

$$Q = 3 \frac{Kg}{h} \quad ( 136 )$$

- Longitud

$$L = 2,5 \text{ m} \quad ( 137 )$$

- Densidad de la madera

$$\rho = 0,9 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \quad (138)$$

Basados en que el motor que da movimiento a la cadena, también se utilizara para dar movimiento al tornillo sin fin, se puede deducir como dato

- Revoluciones por minuto

$$N = 1,07 \text{ r.p.m.} \quad (139)$$

Ecuaciones para calcular la potencia necesaria para mover el tornillo sin fin

$$S = \lambda * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (140)$$

S = área de relleno del transportador [ $\text{m}^2$ ]

D = diámetro del canalón [ $\text{m}$ ]

$\lambda$  = coeficiente de relleno de la sección

Este coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) deberá ser menor que la unidad con objeto de evitar que se produzca amontonamiento del material que dificultaría su correcto flujo a lo largo del canalón.

En base a los estudios realizados, se obtiene que la carga es ligera y poco abrasiva, por tanto:

$$\lambda = 0,32 \quad (141)$$

Para obtener la primera ecuación del sistema de ecuaciones

$$S = 0,32 * \frac{\pi * D^2}{4} \quad (142)$$

Velocidad de desplazamiento del transportador

$$V = \frac{P * N}{60} \quad (143)$$

V = velocidad de desplazamiento de transportador [ $\frac{m}{s}$ ]

P = paso del tornillo [m]

N = velocidad de giro del tornillo [r.p.m.]

Obteniendo la segunda ecuación del sistema de ecuaciones

$$V = \frac{P * 1,07}{60} \quad (144)$$

Flujo de material

$$Q = 3600 * S * V * \rho * i \quad (145)$$

$\rho$  = densidad del material a transportar [ $\frac{Ton}{h}$ ]

$i$  = coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador

Como el tornillo no tendrá ninguna inclinación, entonces:

$$i = 1 \quad (146)$$

Obteniendo la tercera ecuación del sistema de ecuaciones

$$3 = 3600 * S * V * 0,9 * 1 \quad (147)$$

Se tienen 3 ecuaciones y 4 incógnitas así que se debe desarrollar el sistema de ecuaciones mediante iteración y con ayuda del software \*EES se deben buscar valores donde el diámetro del tornillo sea lo más parecido o igual al paso del tornillo, obteniendo como resultado:

$$S = 0,004077 \text{ m}^2$$

$$V = 0,002271 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P = 0,12736 \text{ m}$$

$$D = 0,12736 \text{ m}$$

Potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material

$$P_H = C_o * \frac{Q * L}{367} [\text{Kw}] \quad (148)$$

$P_H$  = potencia para el desplazamiento horizontal del material [Kw]

$C_o$  = coeficiente de resistencia del material a transportar

En base a los estudios realizados, se obtiene:

$$C_o = 2,5 \quad (149)$$

$$P_H = 2,5 * \frac{0,03 * 2,5}{367} = 0,0005109 \text{ Kw} \quad (150)$$

Potencia necesaria para el accionamiento del tornillo al vacío

$$P_N = \frac{D * L}{20} [Kw] \quad (151)$$

$P_N$  = potencia de accionamiento del tornillo en vacío

$$P_N = \frac{0,12736 * 2,5}{20} = 0,01592 Kw \quad (152)$$

Potencia total para mover el tornillo

$$P_T = P_H + P_N [Kw] \quad (153)$$

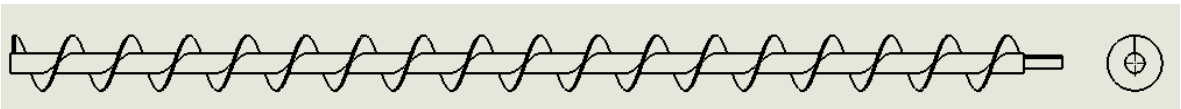
$$P_{T,HP} = \frac{P_H + P_N}{0,7457} [HP] \quad (154)$$

$$P_{T,HP} = \frac{0,0005109 + 0,01592}{0,7457} = 0,02203 HP \quad (155)$$

**4.5.3 Resultados** Para trabajar con medidas exactas se opta por construir un tornillo sin fin con las siguientes características:

- Diámetro tornillo = 15 cm
- Paso = 15 cm
- Diámetro eje = 5 cm
- Longitud = 2,5 m

**Figura 16. Tornillo sin fin transportador**



Con estos datos podemos hallar el volumen del tornillo y sabiendo su densidad ( $\rho = 8000 \frac{Kg}{m^3}$ ), se obtiene el peso del tornillo sin fin, para esto, se debe hallar el volumen de la hélice del tornillo, esto se hace dividiendo la hélice en anillos para que su cálculo sea más sencillo.

Diferencia entre el radio mayor y el radio menor del anillo

$$A = \frac{D_E - D_I}{2} = \frac{15 - 5}{2} = 5 \text{ cm} \quad (156)$$

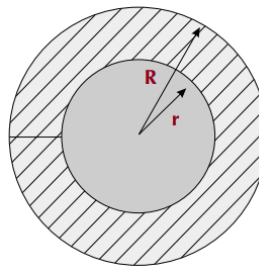
Perímetro externo del anillo

$$LE = \sqrt{D_E^2 * \pi^2 + P^2} = \sqrt{15^2 * \pi^2 + 15^2} = 49,4536 \text{ cm} \quad (157)$$

Perímetro menor del anillo

$$LI = \sqrt{D_I^2 * \pi^2 + P^2} = \sqrt{5^2 * \pi^2 + 15^2} = 21,7126 \text{ cm} \quad (158)$$

**Figura 17. Radio mayor y menor para la construcción del tornillo sin fin**



Radio interno del anillo

$$r = \frac{D_I * LI}{LE - LI} = \frac{5 + 21,7126}{49,4536 - 21,7126} = 3,9157 \text{ cm} \quad (159)$$

Radio externo del anillo

$$R = A + r = 5 + 3,9157 = 8,9157 \text{ cm} \quad (160)$$

Perímetro efectivo del anillo

$$\Delta = 2 * R * \pi = 2 * 8,9157 * \pi = 56,019 \text{ cm} \quad (161)$$

Angulo útil del anillo

$$\beta = \frac{LE * 360}{\Delta} = \frac{49,4536 * 360}{56,019} = 317,808^\circ \quad (162)$$

Angulo útil del anillo en radianes

$$X = \frac{317,808 * 2\pi}{360} = 5,5468 \text{ rad} \quad (163)$$

Los anteriores cálculos son para el corte de un solo anillo, ahora se halla la cantidad de anillos que se necesitan para cubrir toda la longitud del tornillo

$$\#_{\text{anillos}} = \frac{L}{P} = \frac{2,5}{0,15} = 16,666 \text{ anillos} \quad (164)$$

Ahora se debe hallar el área de dicho anillo y sabiendo el calibre de lámina (lámina calibre 14, espesor 1,9 mm), se halla el volumen de cada anillo.

$$A_{anillo} = \frac{X}{2} * (R^2 - r^2) = \frac{5,5468}{2} * (8,9157^2 - 3,9157^2) \quad (165)$$

$$A_{anillo} = 177,933 \text{ cm}^2 \quad (166)$$

$$V_{anillo} = A_{anillo} * E_{lam} = 177,933 * 0,19 = 33,8073 \text{ cm}^3 \quad (167)$$

$$V_{anillo} = 3,38073 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Se procede a hallar la cantidad de anillos necesarios para hacer el tornillo.

$$\#_{anillos} = \frac{\text{longitud del tornillo}}{\text{paso}} = \frac{2,5}{0,15} = 16,6666 \text{ anillos} \quad (168)$$

Por tanto, el volumen total de la hélice es:

$$V_{hélice} = \#_{anillos} * V_{anillo} = 16,6666 * 3,38073 * 10^{-5} \quad (169)$$

$$V_{hélice} = 5,6345 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Ahora, el volumen del eje será de:

$$V_{eje} = \pi * [(\text{radio externo del eje})^2 - (\text{radio interno del eje})^2] * \text{longitud del eje} \quad (170)$$

$$V_{eje} = \pi * [0,025^2 - 0,02^2] * 2,5 = 1,767 * 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (171)$$

Por tanto, el volumen total del tornillo será de:

$$V_{sin,fin} = V_{hélice} + V_{eje} = 5,6345 * 10^{-4} + 1,767 * 10^{-3} \quad (172)$$

$$V_{sin,fin} = 2,33045 * 10^{-3} \text{ m}^3 \quad (173)$$

El peso del tornillo sin fin será de:

$$m_{sin,fin} = \rho * V_{sin,fin} = 8000 * 2,33045 * 10^{-3} = 18,6436 \text{ Kg} \quad (174)$$

## 4.6 SELECCIÓN DE LOS MOTORES

Encargados de dar movimiento al sistema.

**4.6.1 Para tener en cuenta con los motorreductores** Al realizar la selección de los motorreductores, se debe tener en cuenta la potencia necesaria para mover el sistema y en base a ello, seleccionar un motor con una potencia mayor a esta.

$$HP_{MOTOR} = \frac{P_{T,HP} + HP}{0,8} = \frac{0,02203 + 0,007425}{0,8} = 0,03682 \text{ hp} \quad (175)$$

**4.6.2 Resultados** Con base en los resultados obtenidos respecto a la potencia necesaria para dar movimiento al sistema y basados en recomendaciones dadas por la empresa montaequipos de Santander S.A.S.<sup>8</sup> quienes luego de revisar la información dada y realizar sus propios cálculos, nos recomiendan utilizar un motor trifásico de  $\frac{1}{4}$  hp de potencia a 900 rpm con una caja reductora de armazón 80 y una conexión entre los ejes mediante piñones de 15 dientes paso 1" y cadena con un paso igual al de los piñones debido a la baja velocidad que posee y que su uso no será continuo.

---

<sup>8</sup> EL ECONOMISTA AMERICA Montaequipos de Santander S.A.S. [en línea] [10 de febrero del 2019]. Documento disponible en: <http://empresite.eleconomistaamerica.co/SOLUCIONES-ESPECIALIZADAS-NATALY-PINTO-EU.html>

## 4.7 DISEÑO DE LOS EJES

Transmiten el movimiento desde las poleas hasta los piñones.

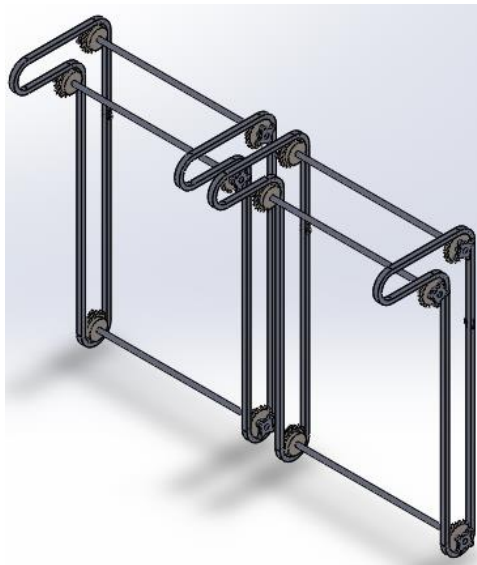
### 4.7.1 Condiciones

- El material no debe alterar las propiedades del agua.
- Su diámetro debe ser de 1" debido al diámetro interno de los piñones

**4.7.2 Resultados** Basados en las condiciones, el material de los ejes es acero inoxidable y su diámetro es de 1" para lograr su ensamble con los piñones, su longitud varía según la ubicación en la que vayan a trabajar.

#### 4.7.2.1 En la parte inferior de la cadena

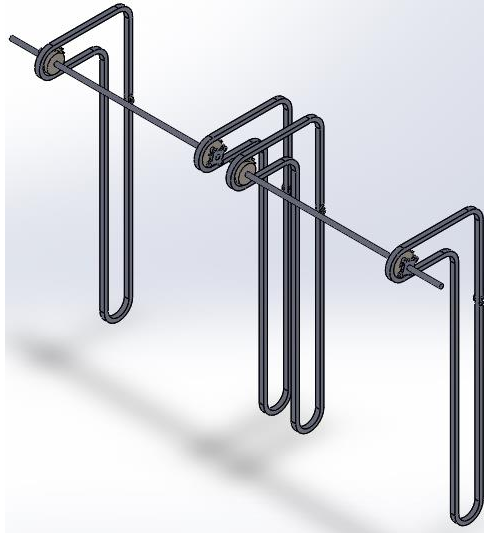
**Figura 18. Ubicación de los ejes de 109,5 cm**



Su longitud es de 109,5 *cm* debido a que son ejes que están apoyados en las chumaceras, por tanto, tienen el ancho de la canaleta.

#### 4.7.2.2 En la parte superior, en la entrada de agua

Figura 19. Ubicación de los ejes de 130 cm



Su longitud es de 130 *cm* debido a que encaja en los piñones, en las bases y además recibe el movimiento de las poleas.

### 4.8 DISEÑO DE LAS BASES

Encargadas de sostener y dar estabilidad a todo el sistema.

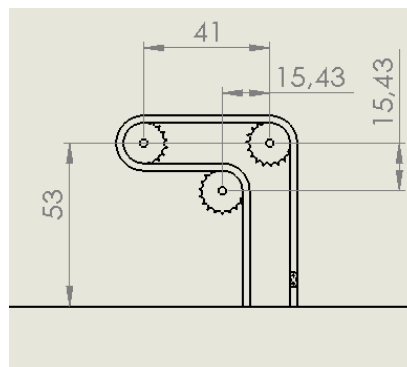
#### 4.8.1 Condiciones

- El material no debe alterar las propiedades del agua.
- Su geometría se debe adaptar a la posición de los ejes.
- Debe ser robusta para sostener todo el sistema, pero lo suficientemente práctica para adaptarse a cada uno de los muros de la canaleta.

**4.8.2 Para tener en cuenta en las bases** Las medidas a las cuales deben adaptarse las bases son las siguientes:

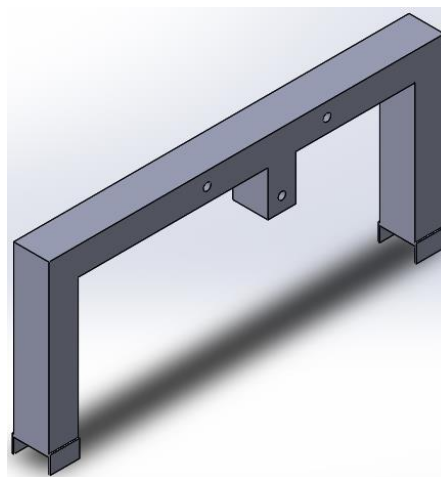
- 41 *cm* horizontales entre los ejes superior.
- 15,43 *cm* horizontal y verticalmente entre los ejes superiores de salida de agua.
- 53 *cm* verticales entre los ejes superiores y la parte superior de la canaleta.

**Figura 20. Medidas de la cadena respecto a la canaleta**



**4.8.3 Resultados** En base a lo anteriormente expuesto, se opta por construir unas bases en acero inoxidable con las siguientes dimensiones (ver anexo 7):

**Figura 21. Diseño de las bases**



Donde la medida X varía dependiendo de cada muro para adaptarse al ancho de este y buscando que la base quede centrada en el muro.

## **4.9 DISEÑO DE TOLVA DE RECOLECCIÓN**

Encargada de soportar el tornillo y guiar los residuos hacia la tolva de extracción.

### **4.9.1 Condiciones**

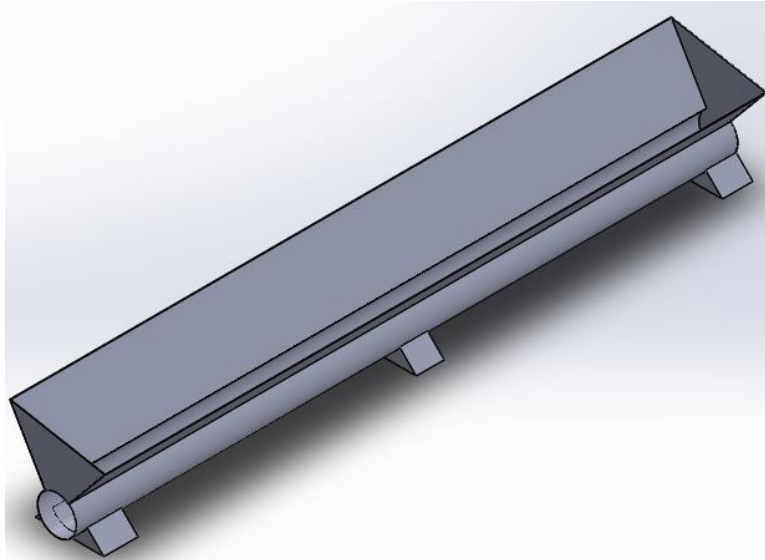
- El material no debe alterar las propiedades del agua.
- Extenderse a lo largo de los dos (2) sistemas.
- Capacidad de transporte de residuos de  $3 \frac{Kg}{h}$ .
- Soportar los 86,8412 Kg del tornillo sin fin.

**4.9.2 Resultados** Basados en las condiciones antes nombradas y en recomendaciones expertas brindadas por parte de la empresa FAMMICOL S.A.S.<sup>9</sup> (empresa especializada en el diseño y construcción de tornillos sin fin con sus respectivas tolvas, chumaceras, etc.) se opta por construir una tolva en acero inoxidable calibre 14 que rodea al tornillo sin fin, con una boca en la parte superior la cual recibe todo el material retirado del agua y una apertura en una de sus laterales para expulsar dicho material (ver anexo 8).

---

<sup>9</sup> FAMMICOL S.A.S. [en línea] [27 de febrero del 2015]. Documento disponible en: <http://fammicol.blogspot.com/2015/02/fammicol-ltda.html>

**Figura 22. Diseño de la tolva de recolección**



#### **4.10 DISEÑO DE LA TOLVA DE EXTRACCIÓN**

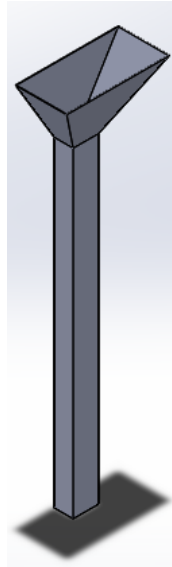
Encargada de guiar los residuos a la caneca de basura

##### **4.10.1 Condiciones**

- Su entrada ubicada a la salida de la tolva de recolección.
- Su salida ubicada a la entrada de la caneca de basura.

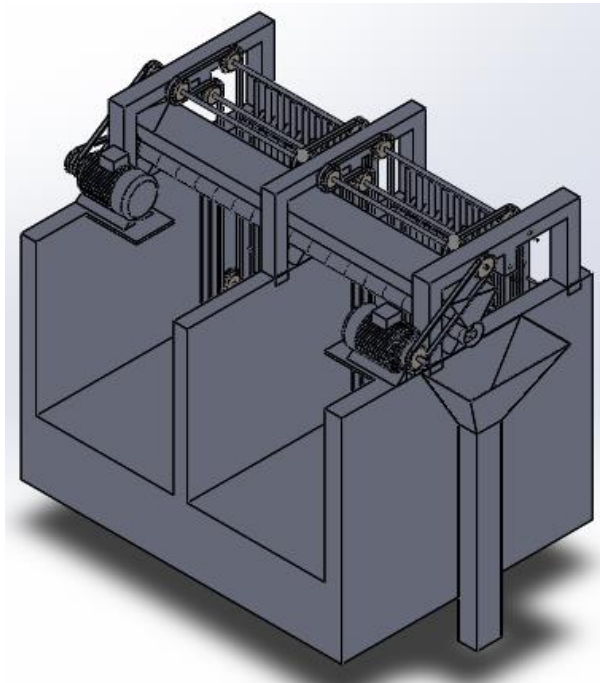
**4.10.2 Resultados** En base a las condiciones ya nombradas y a que la tolva debe soportar un peso poco significativo, se opta por construir una tolva en acero inoxidable calibre 16 con las siguientes especificaciones (ver anexo 9).

**Figura 23. Diseño tolva de extracción**



#### **4.11 SIMULACIÓN DEL PROYECTO**

**Figura 24. Simulación del sistema (ver anexo 10)**



## **5. CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CRIBADO**

### **5.1 FABRICACIÓN DE LA REJILLA**

Como primer paso se debe realizar la construcción de la rejilla de captación, un corte de 160 piezas de acero inoxidable calibre 14 con las especificaciones antes dichas, el corte de 7 tornillos y la compra de 2240 arandelas y 14 tuercas. Se realiza el ensamble de esta, primeramente, se coloca una tuerca en cada uno de los tornillos a 3 cm de una de las puntas, luego se coloca una pieza cortada, seguido de esto se coloca 2 arandelas en cada uno de los tornillos, luego otra pieza, nuevamente 2 arandelas en cada tornillo, continuando esta secuencia hasta colocar las 160 piezas de la rejilla y por último agregar una tuerca en cada tornillo para asegurar la rejilla. Nota: este procedimiento es para una sola rejilla (repetir esto para la segunda rejilla).

Realizar el corte del Angulo y hacer 7 perforaciones en cada uno (según especificaciones dadas).

### **5.2 FABRICACIÓN DEL CANGILÓN**

Realizar el corte de 161 piezas de acero inoxidable calibre 14 con las especificaciones anteriores y de los 2 tornillos además de la compra de 320 arandelas y 4 tuercas y realizar un procedimiento igual a la rejilla. Nota: este procedimiento es para un solo cangilón (repetir esto para los 6 cangilones).

### **5.3 FABRICACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO**

Se realiza la compra de 4 cadenas 80-1 y 12 accesorios especificados, 16 piñones 80B19 SS, 8 ejes, 16 chumaceras UCF205-16 de 1" carcasa termoplástica rodamiento inoxidable y 2 motorreductores.

### **5.4 FABRICACIÓN DE LAS BASES**

Con las especificaciones dadas en los cálculos anteriormente realizados, se realiza el corte de la lámina y posteriormente se soldán las bases del proyecto.

### **5.5 FABRICACIÓN DEL TORNILLO SIN FIN**

Para la fabricación del tornillo sin fin, se toma como eje un tubo de 5 *cm* de radio exterior (cilindrado con anterioridad), se sellan sus puntas con anillos de 5 *cm* de diámetro y se le agrega un eje de 20 *cm* a una de sus puntas (el cual recibe la transmisión del movimiento) y para la fabricación de su hélice, se hacen cortes en anillos según especificación de diseño y luego se realiza el estiramiento de los anillos y se soldán a su eje de 5 *cm*.

### **5.6 FABRICACIÓN DE LA TOLVA DE RECOLECCIÓN**

En base a los diseños ya realizados, se procede a hacer los cortes de la lámina, se realiza el cilindrado que cubrirá al tornillo y por último se unen las piezas con soldadura.

## 5.7 FABRICACIÓN DE LA TOLVA DE EXTRACCIÓN

Con las medidas ya especificadas, se realizan los cortes de la lámina y su respectiva unión con soldadura.

## 5.8 MONTAJE Y ENSAMBLAJE EN LA CANALETA PARSHALL

- Luego de la parada de planta, realizar la construcción del muro central de 11 *cm* de ancho, 2 *m* de largo y 1,2 *m* de alto.
- Perforar y se asegurar los ángulos a las paredes de la canaleta y al muro central (un ángulo en cada pared que sirve de guía para la rejilla y otro ángulo a 32 *cm* para protección de las chumaceras, los piñones y la cadena).
- Ensamblar las chumaceras con sus respectivos ejes y piñones y se ubican a 20 *cm* del piso de la canaleta y a 20 *cm* del ángulo ubicado como guía de las rejillas.
- Montar las 3 bases del sistema, se ensamblan los ejes con los piñones y sus respectivas chumaceras para adherirlas a las bases.
- Montar y ensamblar las cadenas (cada una en su propia línea de piñones).
- Ensamblar los cangilones a las cadenas (constatar que queden alineados con la rejilla para su correcta limpieza).
- Sujetar a las paredes de la canaleta las bases de los motores.
- Ubicar y sujetar los motores a dichas bases.
- Ubicar y sujetar la tolva de recolección la cual ya viene con el tornillo sin fin instalado.
- Colocar las poleas tanto en la salida de los motorreductores, como en el tornillo sin fin y los ejes principales de las cadenas.
- Colocar las correas a las poleas.
- Ubicar y sujetar la tolva de extracción.

## **6. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

### **6.1 LISTADO DE ELEMENTOS**

#### **6.1.1 Sistema de captación y limpieza**

2 rejillas

320 laminas

14 ejes roscados

4480 arandelas

28 tuercas

6 cangilones

960 laminas

12 ejes roscados

1920 arandelas

24 tuercas

8 ángulos perforados

24 tornillos

#### **6.1.2 Sistema de transmisión de movimiento**

2 motorreductores

16 piñones

4 cadenas

12 accesorios

6 poleas

8 ejes

16 chumaceras

64 tornillos

### **6.1.3 Soportes**

3 bases

36 tornillos

### **6.1.4 Sistema de recolección de residuos**

1 tolva de captación

18 tornillos

1 tornillo sin fin

1 chumacera

1 tolva de recolección

10 tornillos

### **6.1.5 Otros**

1 banda transportadora

1 instalación eléctrica

## **6.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

**6.2.1 Descripción** El sistema de cribado planteado consta de 2 rejillas elaboradas en platinas de acero inoxidable calibre 14 de 4 *mm* de separación entre platinas (separadas por 2 arandelas de 2 *mm* c/u) y unidas entre sí por 7 ejes roscados las cuales son limpiadas por un sistema de 6 cangilones (tipo uñas) que realizan un recorrido de abajo hacia arriba en la rejilla, pasando por entre las platinas de esta y así retirar todos los residuos que esta atrape para ser transportados hasta una tolva

de captación que tiene un tornillo sin fin incorporado para transportar estos residuos hasta la tolva de recolección, la cual guía los residuos hasta la caneca de basura.

**6.2.2 Funcionamiento** El sistema consta de 2 motorreductores de 0,5 HP c/u que se encargan de generar todo el movimiento del sistema, 1 de ellos transmite movimiento a una de las secciones y al tornillo sin fin mientras que el otro le transmite movimiento a la otra sección. Mediante un sistema de poleas, los motorreductores transmiten el movimiento al tornillo sin fin (orden de transmisión de movimiento: motorreductor-eje motor-polea conductora-polea conducida-tornillo sin fin) y a las cadenas (orden de transmisión de movimiento: motorreductor-eje motor-polea conductora-polea conducida-eje polea conducida-piñón-cadena) las cuales están ubicadas en parejas para poder transportar entre ellas los cangilones, estos se adaptan a las cadenas mediante unos accesorios especiales y se encargan de realizar la limpieza de las rejillas.

## **6.3 CONDICIONES DE MANTENIMIENTO**

### **6.3.1 Sistema eléctrico**

- **MANTENIMIENTO DE UNIDAD**

**ACTIVIDAD**

- ✓ Realizar limpieza superficial.

**TIEMPO**

- ✓ Diario.

- **MANTENIMIENTO TÉCNICO**

**ACTIVIDAD**

- ✓ Revisar breakers, hacer cambios si es necesario.

- ✓ Revisión de conectores.
- ✓ Realizar revisión térmica del sistema.
- ✓ Revisión de pulsadores.
- ✓ Revisión de caja de protección.

#### TIEMPO

- ✓ Cada mes

- **MANTENIMIENTO DE APOYO GENERAL**

#### ACTIVIDAD

- ✓ Realizar una revisión general de todo el sistema eléctrico.

#### TIEMPO

- ✓ Cada año.

### **6.3.2 Motorreductor**

- **MANTENIMIENTO DE UNIDAD**

#### ACTIVIDAD

- ✓ Limpieza de superficie
- ✓ Revisar temperatura que este a 40° centígrados
- ✓ Lubricar los rodamientos
- ✓ Revisar ruidos extraños en los rodamientos
- ✓ Revisar vibraciones

#### TIEMPO

- ✓ Cada semana.

- **MANTENIMIENTO TECNICO**

- ✓ Revisar conexiones eléctricas.

- ✓ Tomar voltaje y amperaje.
- ✓ Cambiar balineras.
- ✓ Revisar sellos.
- ✓ Revisar embobinado.
- ✓ Aplicar pintura dieléctrica al embobinado.
- ✓ Revisar y engrasar los sellos.

#### TIEMPO

- ✓ Cada 2 meses.

- MANTENIMIENTO DE APOYO GENERAL

#### ACTIVIDAD

- ✓ Limpieza interna del motor.

#### TIEMPO

- ✓ Cada 6 meses.

#### RECOMENDACIONES

- ✓ El cambio de las bandas debe efectuarse cuando estas hayan alcanzado 300-350 horas de trabajo.
- ✓ El motor se debe mantener cubierto debido que el ambiente en que se encuentra está saturado de polvo.
- ✓ Es importante revisar periódicamente la temperatura ya este puede ser un indicador de que el sistema está operando en mal, una de sus principales causas se debe a la fricción que las balineras que hayan sufrido alguna falla por lo que se recomienda cambiar cada 1000 horas de uso.

## CAMBIO DE BALINERAS

A continuación, se menciona los pasos que se deben seguir para realizar un cambio de balineras en un motor eléctrico.

- ✓ Desconectar la parte eléctrica del motor.
- ✓ Desmontar motor de la base de trabajo.
- ✓ Quitar polea con puller.
- ✓ Marcar posición de las tapaderas de la carcasa.
- ✓ Quitar tornillos de las tapaderas.
- ✓ Quitar rotor.
- ✓ Quitar balinera del eje del rotor con puller.
- ✓ Limpiar con solución dieléctrica el estator.
- ✓ Limpieza de balineras.
- ✓ Limpiar con solución dieléctrica el estator y limpiar todo tipo de partículas ajenas al contenido interno del motor.
- ✓ Colocar balineras en el eje del rotor con prensa hidráulica.
- ✓ Colocar rotor dentro de estator.
- ✓ Alinear marcas de las tapaderas.
- ✓ Atornillar y ajustar.

A continuación, se menciona los pasos que se deben seguir para realizar una revisión de balineras en un motor eléctrico.

- ✓ Desconectar la parte eléctrica del motor.
- ✓ Desmontar motor de la base de trabajo.
- ✓ Quitar polea con puller.
- ✓ Marcar posición de las tapaderas de la carcasa.
- ✓ Quitar tornillos de las tapaderas.
- ✓ Quitar rotor.
- ✓ Observar balinera para ver si es necesario el cambio.
- ✓ Limpiar con solución dieléctrica el estator.

- ✓ Limpieza de balineras.
- ✓ Pulir rotor y estator si es necesario.
- ✓ Colocar rotor dentro de estator.
- ✓ Alinear marcas de las tapaderas.
- ✓ Atornillar y ajustar.

A continuación, se menciona los pasos que se deben seguir para realizar una limpieza interna en el motor eléctrico.

- ✓ Desconectar la parte dieléctrica del motor.
- ✓ Desmontar motor de la base de trabajo.
- ✓ Quitar polea con puller.
- ✓ Marcar posición de las tapaderas de la carcasa.
- ✓ Quitar tornillos de las tapaderas.
- ✓ Quitar rotor.
- ✓ Limpiar con solución dieléctrica el estator.
- ✓ Limpieza de balineras.
- ✓ Limpiar con solución dieléctrica el estator y limpiar todo tipo de partículas ajenas al contenido interno del motor.
- ✓ Colocar rotor dentro del estator.
- ✓ Alinear marcas de las tapaderas.
- ✓ Atornillar y ajustar.

A continuación, se menciona los pasos que se deben seguir para realizar cambio de aceite del reductor en un motor eléctrico.

- ✓ Desmontar reductor de la base de trabajo.
- ✓ Quitar tornillo de drenaje.
- ✓ Dejar fluir lubricante.
- ✓ Quitar tornillo de medición de lubricante.
- ✓ Colocar tornillo de drenaje.
- ✓ Llenar con lubricante por el tornillo de medición de aceite.

- ✓ Colocar tornillo de medición de lubricante.

A continuación, se menciona los pasos que se deben seguir para realizar cambio de banda del compresor en un motor eléctrico.

- ✓ Desmontar protector de banda y poleas.
- ✓ Aflojar tornillos de base de motor.
- ✓ Mover motor para desregulación de la banda.
- ✓ Quitar banda y colocar nueva.
- ✓ Mover motor a posición original para tensar bandas.
- ✓ Ajustar tornillos de base del motor.

A continuación, se menciona los pasos que se deben seguir para realizar cambio de banda del compresor en un motor eléctrico.

- Realizar el mismo proceso indicado para el cambio de balineras y soldar.

### **6.3.3 Sistema tornillo sin fin**

- MANTENIMIENTO DE UNIDAD

#### ACTIVIDAD

- ✓ Limpieza de superficie
- ✓ Revisar ruidos extraños

#### TIEMPO

- ✓ Cada semana

- MANTENIMIENTO TECNICO

#### ACTIVIDAD

- ✓ Revisar desgaste del canal
- ✓ Alineamiento del tornillo

- ✓ Revisar chumaceras de rodamiento
- ✓ Revisar puntos soldados

#### TIEMPO

- ✓ Cada mes

- **MANTENIMIENTO DE APOYO GENERAL**

#### ACTIVIDAD

- ✓ Cambio de piezas con fallas
- ✓ Revisión general

#### TIEMPO

- ✓ Cada año

#### RECOMENDACIÓN

- ✓ Controlar velocidad de flujo

### **6.3.4 Sistema de transmisión de movimiento**

- **MANTENIMIENTO TECNICO**

#### ACTIVIDAD

- ✓ Revisar aparición de manchas en el material

#### TIEMPO

- ✓ Cada mes

#### RECOMENDACIÓN

En caso de encontrar manchas en el material, realice la limpieza con abundante agua y jabón (se puede utilizar la mayor parte de los detergentes o jabones para uso doméstico o los limpia cristales), utilizar trapos o si es posible, cepillos

suaves de nylon, su secado de debe realizar con rascador de goma o con trapo suave y limpio.

Al momento de realizar la limpieza de acero inoxidable, evite usar estropajos metálicos, cepillos y lanas metálicas, cepillos duros, estropajos y polvos abrasivos, productos clorados, cera o lejía.

### **6.3.5 Rejillas, cangilones y bases**

- **MANTENIMIENTO TECNICO**

**ACTIVIDAD**

- ✓ Revisar aparición de manchas en el material

**TIEMPO**

- ✓ Cada mes

**RECOMENDACIÓN**

En caso de encontrar manchas en el material, realice la limpieza con abundante agua y jabón (se puede utilizar la mayor parte de los detergentes o jabones para uso doméstico o los limpia cristales), utilizar trapos o si es posible, cepillos suaves de nylon, su secado de debe realizar con rascador de goma o con trapo suave y limpio.

Al momento de realizar la limpieza de acero inoxidable, evite usar estropajos metálicos, cepillos y lanas metálicas, cepillos duros, estropajos y polvos abrasivos, productos clorados, cera o lejía.

## 6.4 PUESTA EN MARCHA

Antes de prender los motores y poner a funcionar el sistema se deben revisar los siguientes parámetros:

- Que ninguna persona este obstruyendo o se encuentre cerca del sistema.
- La alineación de los cangilones con la rejilla.
- La conexión eléctrica.
- El ensamble de las correas y las poleas.
- La caneca de residuos debe estar desocupada.
- El ensamble de la banda transportadora.

## 7. ANÁLISIS FINANCIERO

### INVERSIONES

**Tabla 4. Inversión**

CONCEPTO DE GASTO	VALOR
Elaboración de piezas	\$ 4.000.000,00
montaje del sistema	\$ 2.000.000,00
Papelería	\$ 400.000,00
Viáticos	\$ 500.000,00
<b>Total</b>	<b>\$ 6.900.000,00</b>

NOTA\* Valor de inversión

### INGRESOS

**Tabla 5. Ingresos**

CONCEPTO	CANTIDAD AL AÑO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Daño en los floculadores	16	\$500.000	\$ 8.000.000,00
Daño en las bombas de extracción de lodos	3	\$4'000.000	\$12.000.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$20.000.000,00</b>

NOTA\* Valor del mantenimiento de máquinas afectadas por el problema

### COSTOS

**Tabla 6. Costos**

CONCEPTO	VALOR ANUAL
Mantenimiento	\$ 500.000,00
Mano de obra (estudiantes)	\$ 6.000.000,00
Director de proyecto	\$ 4.000.000,00

<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR ANUAL</b>
Medios de transporte	\$ 1'000.000,00
Catálogos y manuales	\$ 600.000,00
Computador con software CAD	\$ 22.000.000,00
Materiales	\$ 35.000.000,00
arreglo de la canaleta Parshall	\$ 3.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 72.100.000,00</b>

NOTA\* Costos de instalación y mantenimiento

## ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DEL PROYECTO

### INVERSIÓN INICIAL

**Tabla 7. Inversión inicial**

<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR</b>
Elaboración de piezas	\$ 4.000.000,00
montaje del sistema	\$ 2.000.000,00
Papelería	\$ 400.000,00
Viáticos	\$ 500.000,00
Mano de obra (estudiantes)	\$ 6.000.000,00
Director de proyecto	\$ 4.000.000,00
Medios de transporte	\$ 1'000.000,00
Catálogos y manuales	\$ 600.000,00
Computador con software CAD	\$ 22.000.000,00
Materiales	\$ 35.000.000,00
Arreglo de la canaleta Parshall	\$ 3.000.000,00
Subtotal	\$ 78.500.000,00
Imprevistos (10%)	\$ 7.850.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 86.350.000,00</b>

NOTA\* Valor total de la inversión inicial

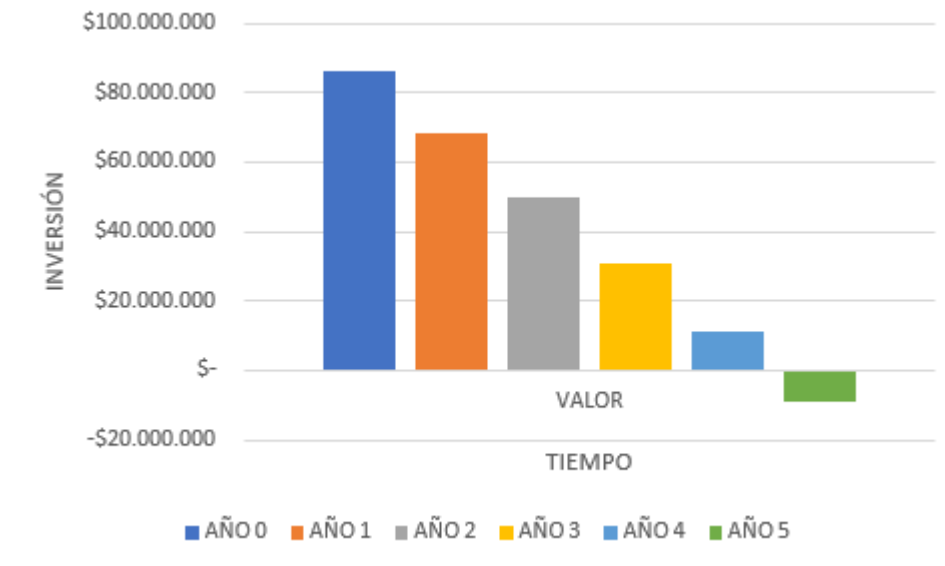
## TIEMPO ESTIMADO PARA RECUPERAR LA INVERSIÓN

**Tabla 8: análisis financiero**

CONCEPTO	INVERSIÓN INICIAL	INGRESOS	MANTENIMIENTO	TOTAL
<b>AÑO 0</b>	\$ 86.350.000	\$ ---	\$ ---	\$ ---
<b>AÑO 1</b>	\$ ---	\$18.500.000	\$ 500.000	\$ 68.350.000
<b>AÑO 2</b>	\$ ---	\$19.055.000	\$ 515.000	\$ 49.810.000
<b>AÑO 3</b>	\$ ---	\$19.626.650	\$ 530.450	\$ 30.713.800
<b>AÑO 4</b>	\$ ---	\$20.215.450	\$ 546.364	\$ 11.044.714
<b>AÑO 5</b>	\$ ---	\$20.821.913	\$ 562.754	\$ -9.214.445

NOTA\* Comparación costo inicial – ingresos, respecto al tiempo

**Figura 25. Análisis tiempo de recuperación de la inversión**



Donde obtenemos como resultado que la inversión inicial será de \$86.350.000 *m/c* los cuales se recuperaran en un plazo máximo de 5 años teniendo en cuenta un aumento anual del 3% en el mantenimiento de los equipos, luego de este tiempo (5 años) la inversión se representara como ganancias.

## 8. CONCLUSIONES

- El modelo matemático basado en la teoría de la mecánica de fluidos predice un aumento en el nivel del agua, de aproximadamente 3 *cm*, aguas arriba de la rejilla. las pruebas experimentales, validan el modelo, al verificarse resultados similares.
- Las pruebas preliminares de campo con la rejilla donde se esperaba una captación de 24 *g/h*, arrojaron resultados mejores a estos, logrando una captación de 33 *g/h*.
- En las pruebas preliminares se adaptó un soporte provisional a la rejilla, construido en acero 1020, mientras que la rejilla se construyó en acero inoxidable. Inicialmente el proyecto se planteó para usar acero inoxidable solamente en los componentes sumergidos (rejilla, cangilones, cadenas, piñones, ejes y chumaceras), pero luego de la realización de pruebas, se identifica que a pesar de que el soporte provisional no se sumerge, su exposición al ambiente genera corrosión excesiva con producción de gotas de oxido que caen al agua afectando sus propiedades., Por tal motivo se decide hacer todo el proyecto en acero inoxidable.

## 9. RECOMENDACIONES

- Realizar estandarización del sistema para realizar una implementación parcial o completa de este en las demás plantas de tratamiento de agua que tengan el mismo problema.
- Realizar continuación del proceso de reciclaje con los residuos extraídos, clasificarlos (plásticos, piedras, vidrios, hojas y palos, etc.) y realizar un mejor manejo de estos ya sea en la producción de compost (hojas y palos) como en la venta o donación de los demás residuos (plásticos y vidrios) a un tercero para que este realice un mejor manejo de dichos residuos.
- Realizar un techado de la planta (puede ser un enmallado simple) en la parte de los floculadores y los sedimentadores para evitar la caída directa de las hojas y palos a los equipos y con ello minimizar las fallas de estos, generando un ahorro adicional.

## BIBLIOGRAFÍA

BNAMERICAS Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, AMB [en línea] [7 de marzo del 2016]. Documento disponible en: <https://www.bnamericas.com/company-profile/es/acueducto-metropolitano-de-bucaramanga-sa-esp-amb>

CONAMET Organismo Nacional de Acreditación de Colombia, ONAC [En línea] [Julio del 2016]. Documento disponible en: <https://www.conamet.com.co/index.php/quienes-somos/quien-es-onac>

ECURED Tipos de criba [en línea] [1 agosto de 2016] Información disponible en: [https://www.ecured.cu/Cribas\\_industriales](https://www.ecured.cu/Cribas_industriales)

EL ECONOMISTA AMERICA Montaequipos de Santander S.A.S. [en línea] [10 de febrero del 2019]. Documento disponible en: <http://empresite.eleconomistaamerica.co/SOLUCIONES-ESPECIALIZADAS-NATALY-PINTO-EU.html>

FAMMICOL S.A.S. [en línea] [27 de febrero del 2015]. Documento disponible en: <http://fammicol.blogspot.com/2015/02/fammicol-ltda.html>

INTERMEC Catalogo “piñones y cadenas” intermec S.A. [en línea] [2013]. Documento disponible en: [https://www.intermec.com.co/pinones\\_cadena.php](https://www.intermec.com.co/pinones_cadena.php)

LENNTECH FAQ de la contaminación del agua [en línea] [1998-2018] información disponible en: <https://www.lenntech.es/faq-contaminacion-agua.htm>

POCERIA SIN ZANJA Proceso de potabilización [en línea] [11 de abril del 2016]  
Información disponible en: <https://www.poceriasinzanja.es/que-es-el-agua-potable-como-saber-si-el-agua-es-potable/>

WIKIPEDIA ENCLOPEDIA LIBRE Cribado [En línea] [16 de octubre del 2016].  
Documento disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cribado>

## **ANEXOS**

### **Anexo A. Informe muestreo implementación de cribado fino**

#### **INFORME IMPLEMENTACIÓN DE CRIBADO FINO**

**Laura Liliana Barragán Martínez**  
**Mayra Alejandra Galvis Rubio**  
**Universidad Pontificia Bolivariana**  
**2017**

El siguiente informe se hizo con el fin de suministrar al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, las pruebas y posteriores resultados que se realizaron para la implementación del cribado fino en la planta de tratamiento de agua potable Bosconia.

#### **METODOLOGÍA**

1. En el proceso de captación, se realizó un estudio de material flotante que pasa por las rejillas mediante el diseño y la implementación de un cribado fino ubicado en desarenadores (Ver fotografía 1). Dicha prueba piloto se llevó a cabo, ubicando la malla en 1/6 de sección de los desarenadores (Ver figura 1), después de esto se hizo un análisis a prueba y error, la cual consistió en poner en funcionamiento la malla, con un determinado tiempo para la retención de material flotante y un caudal específico de entrada a los desarenadores en dicho momento (Ver fotografías 2, 3, 4, 5, 6 y 7) (Ver figura 2).

Fotografía 1. Desarenador



Fuente: Autoras

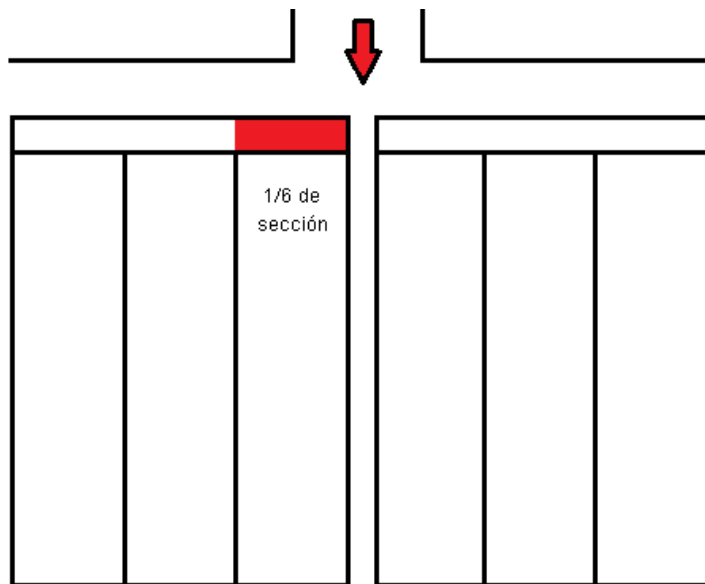


Figura 1. Esquema de ubicación de la malla en el desarenador

Fuente: Autoras

*Fotografía 2. Medición del ancho de la malla*



Fuente: Autoras

*Fotografía 3. Medición del largo de la malla*



Fuente: Autoras

*Fotografía 4. Medición del ancho de anclaje de la malla*

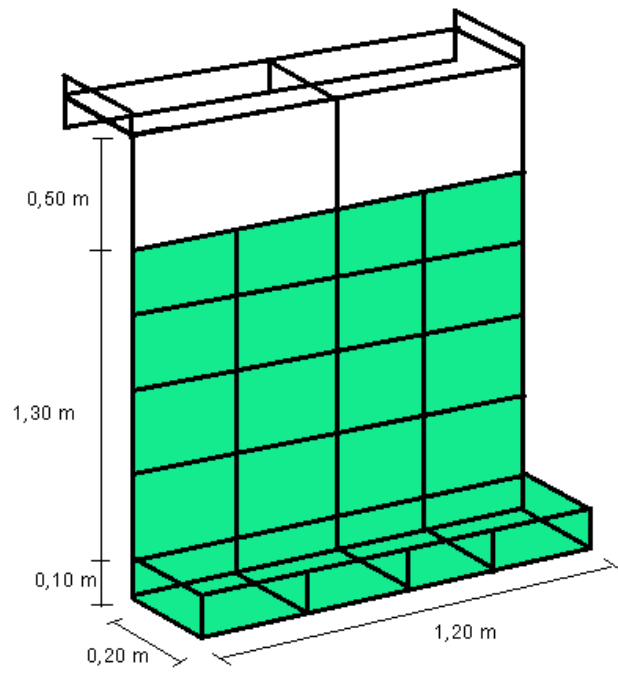


Fuente: Autoras

*Fotografía 5. Medición del diámetro de entrada del agua al desarenador*



Fuente: Autoras



*Figura 2.. Esquema de la malla*

Fuente: Autoras

*Fotografía 6. Elaboración de la malla*



Fuente: Autoras

Fotografía 7. Malla terminada



Fuente: Autoras

Con este análisis, se determinó el tiempo más eficiente, donde se obtuvo una muestra significativa de material flotante; esto con el fin de establecer las variables que dieron como resultado la concentración de dicho material, los cuales están expresados en la siguiente ecuación:

$$Q * [ ] = \frac{M}{T}$$

Dónde:

Q: Caudal

[ ]: Concentración

M: Masa

T: Tiempo

## RESULTADOS

### ANÁLISIS DE MATERIAL FLOTANTE, PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CRIBADO FINO

Se ejecutó la metodología inicialmente planteada, donde se instaló una malla en 1/6 de sección de los desarenadores, con el fin de determinar y hacer una caracterización del material flotante que por allí pasa en un tiempo determinado a prueba y error (1,2,4,8 y 24 hrs); en la realización de dicha metodología se observó que el lugar estipulado inicialmente para la prueba no era el más acorde para la implementación del cribado fino, puesto que no retenía una cantidad significativa de material flotante (Ver fotografía 8)

*Fotografía 8. Muestra en desarenadores*

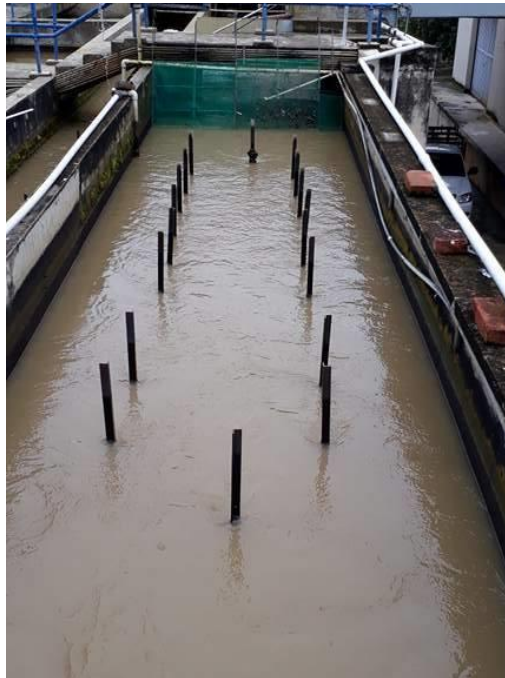


Fuente: Autoras

Los resultados que se obtuvieron con esta prueba piloto, dieron cuenta que el mejor lugar para hacer las pruebas y posteriormente implementar el sistema de cribado

fino, sería en la sección inmediatamente anterior a la canaleta Parshall que se encuentra ubicada en la entrada a la planta (ver fotografía 9), ya que al hacer un estudio preliminar de la zona inicial, se observó la gran cantidad de árboles que se encuentran en los alrededores de los presedimentadores, en los cuales cae gran cantidad de material flotante y esto se verifico en los floculadores, en donde queda atrapado dicho material, impidiendo el normal funcionamiento de los mismos. (Ver Fotografía 10)

*Fotografía 9. Canal de entrada a la planta*



Fuente: Autoras

Fotografía 10. Floculador



Fuente: Autoras

Se llevó a cabo las pruebas de obtención y caracterización del material flotante que llega a la planta, las cuales se realizaron entre las 7 a.m. y 3 p.m. por 4 días, con una frecuencia de 1 hora entre toma de muestras, determinando así el tipo de material que arriba a la planta (Ver tabla 1) y la concentración del mismo, que se obtuvo determinando el peso de cada muestra, para la implementación del cribado (Ver tabla 2).

Tabla 9. Caracterización del material flotante

CARACTERIZACION MATERIAL FLOTANTE
Ramas de diferentes tamaños
Hojas secas de diferentes tamaños
Plástico
Semillas
Envolturas de dulces
Bombas (látex)
Plumas

Fuente: Autoras

Tabla 10. Datos del material flotante

N° muestra	Caudal (L/s)	Turbiedad (UNT)	Tiempo (s)	Masa (gr)	Concentración (gr/L)
1	805	230	3600	55	1,89786E-05
2	801,15	210	3600	75	2,60043E-05
3	799,84	180	3600	18	6,25125E-06
4	775,2	133	3600	21	7,52494E-06
5	780,97	115	3600	8	2,84546E-06
6	772,45	115	3600	37	1,33054E-05
7	767,32	90	3600	305	0,000110413
8	778,71	85	3600	125	4,45894E-05
9	707,43	82	3600	12	4,71189E-06
10	947,87	112	3600	9	2,63749E-06
11	911,76	108	3600	5	1,52331E-06
12	879,05	105	3600	248	7,83674E-05
13	840,16	102	3600	345	0,000114066
14	714,75	79	3600	321	0,000124752
15	640,19	70	3600	188	8,1573E-05
16	631,33	81	3600	83	3,6519E-05
17	820,1	51	3600	23	7,79038E-06
18	791,65	48	3600	16	5,61415E-06
19	851,46	45	3600	73	2,38153E-05
20	900,87	40	3600	257	7,92444E-05
21	916,74	38	3600	172	5,2117E-05
22	712,34	42	3600	47	1,83277E-05

Fuente: Autoras

Finalmente, el material flotante recogido, se utilizó para determinar el tamaño de la malla más eficiente para el diseño del cribado fino, esto se llevó a cabo mediante una prueba de tamices.

Fotografía 11. Tamices



Fuente: Autoras

Tabla 11. Peso de las muestras en los tamices

PESO DE LAS MUESTRAS EN LOS TAMICES																					
DIA 1			DIA 2						DIA 3						DIA 4						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
543	560	509	510	503	528	784,3	607,1	507	503	502	737,5	774,5	818,6	649,3	564	518	508	561	709,1	646,2	533
484	484	484	481	479	480	479,2	486,6	479	479	480	483,9	486,5	481,7	487,2	481	480	479	481	483	481,1	482
411	411	411	410	410	410	410,1	410,7	410	410	410	410,6	410,6	410,2	410,5	410	410	410	410	410,4	410,5	411
335	335	335	335	335	335	334,6	334,8	335	335	335	334,6	334,6	334,6	334,6	335	335	335	335	334,6	334,7	335
321	321	321	321	321	321	321,1	321,1	321	321	321	321,1	321,1	321,1	321,1	321	321	321	321	321,1	321,1	321
318	318	318	318	318	318	317,9	317,9	318	318	318	317,9	317,9	317,9	317,9	318	318	318	318	317,9	317,9	318
306	306	306	306	306	306	305,7	305,7	306	306	306	305,7	305,7	305,7	305,7	306	306	306	306	305,7	305,7	306
290	290	290	290	290	290	289,5	289,5	290	290	290	289,5	289,5	289,5	289,5	290	290	290	290	289,5	289,5	290
243	243	243	243	243	243	242,5	242,5	243	243	243	242,5	242,5	242,5	242,5	243	243	243	243	242,5	242,5	243

Fuente: Autoras

Tabla 12. Material retenido

MATERIAL RETENIDO																								
TAMICES			DIA 1			DIA 2						DIA 3						DIA 4						
TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
# 4	4,75	498	44,8	61,8	11,2	11,7	4,8	29,9	286,3	109,1	8,7	5	3,8	239,5	276,5	320,6	151,3	66,1	20,4	10,1	63	211,1	148,2	34,8
# 8	2,36	478,9	5,3	4,8	5	1,8	0,2	0,8	0,3	7,7	0,5	0,2	1	5	7,6	2,8	8,3	1,8	1,3	0,3	2,4	4,1	2,2	2,8
# 10	2	410	0,7	0,6	0,5	0,3	0,1	0,2	0,1	0,7	0,1	0	0	0,6	0,6	0,2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
# 40	0,419	334,6	0,6	0,4	0,5	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
# 60	0,248	321,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
# 80	0,177	317,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
# 100	0,149	305,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
# 200	0,071	289,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BASE	0	242,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autoras

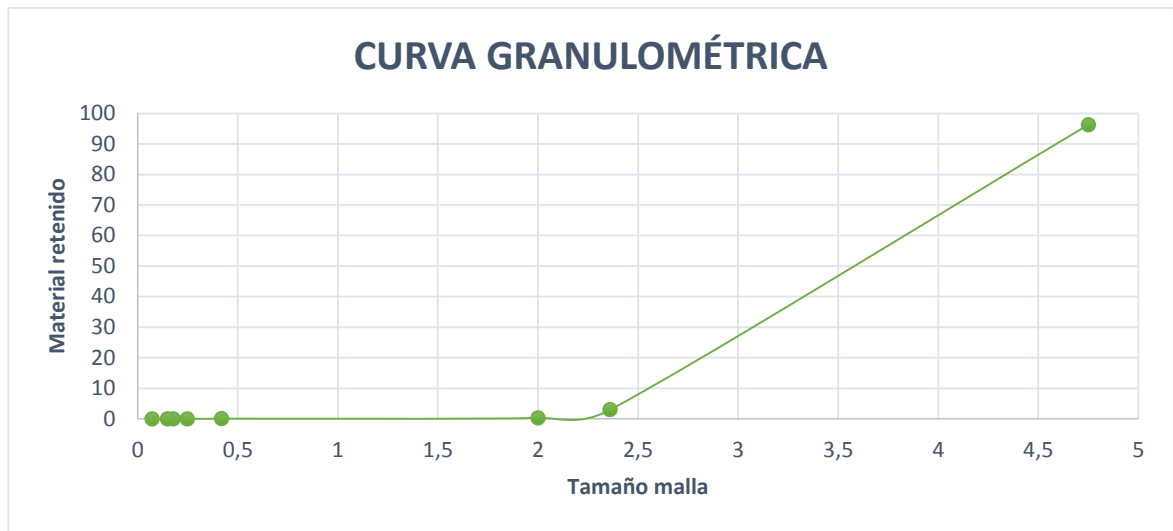
Tabla 13. Promedio de material retenido

MATERIAL RETENIDO			
TAMICES			PROM. MATERIAL RETENIDO
TAMIZ	MALLA (mm)	PESO TAMIZ	
# 4	4,75	498	96,30454545
# 8	2,36	478,9	3,009090909
# 10	2	410	0,336363636
# 40	0,4191	334,6	0,090909091
# 60	0,248	321,1	0
# 80	0,177	317,9	0
# 100	0,149	305,7	0
# 200	0,071	289,5	0
BASE	0	242,5	0

Fuente: Autoras

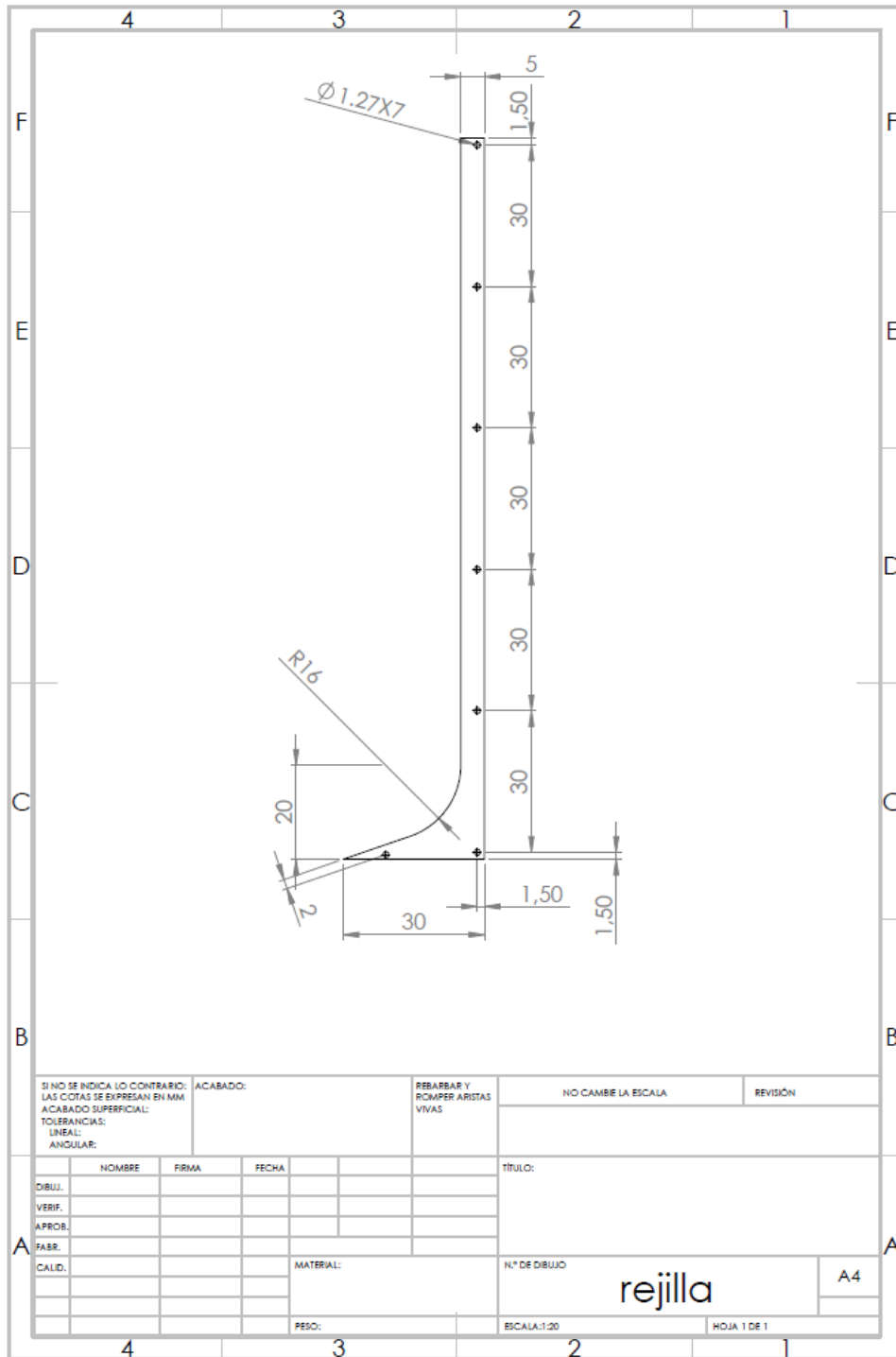
Se observó que el material flotante quedo retenido entre los tamices #4 y #40 (ver tabla 5), lo cual determino que para la implementación del cribado fino dispuesto en el canal de entrada a la planta se necesita una malla de 2 mm, donde se evidencio un numero relevante de material retenido. (Ver grafica 1)

Gráfica 1. Curva granulométrica



Fuente: Autoras

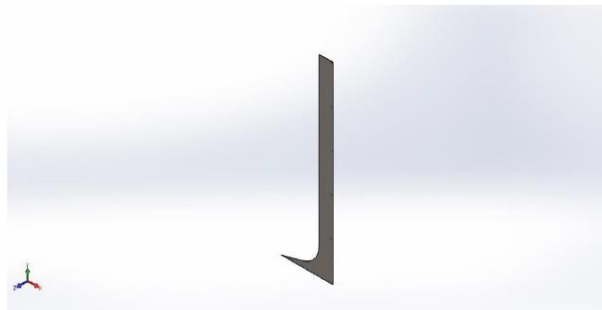
## Anexo B. Dimensiones de la rejilla



## Anexo C. Estudio estático de la rejilla



Acueducto Metropolitano de Bucaramanga  
Diagonal 32 No. 30A - 51  
Teléfono: (+37) 632 0220  
www.amb.com.co



**Descripción**  
No hay datos

### Simulación de rejilla

Fecha: domingo, 8 de julio de 2018  
Diseñador: Yuber Antonio Corredor Espitia  
Nombre de estudio: Análisis estático 1  
Tipo de análisis: Análisis estático

#### Tabla de contenidos

Descripción .....	1
Información de modelo .....	2
Propiedades de estudio .....	3
Unidades .....	4
Propiedades de material .....	4
Cargas y sujeciones.....	5
Información de malla .....	6
Fuerzas resultantes.....	7
Resultados del estudio .....	8
Conclusión .....	11




SOLIDWORKS

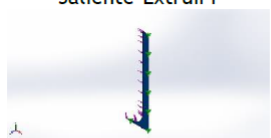
Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de rejilla 1

## Información de modelo



Nombre del modelo: rejilla  
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir1 	Sólido	Masa: 2.77685 kg Volumen: 0.000345938 m <sup>3</sup> Densidad: 8027 kg/m <sup>3</sup> Peso: 27.2131 N	C:\Users\SONY\Documents \9no PROYECTO DE GRADO\para planos\ analisis de rejilla\rejilla.SLDPRT Jul 08 12:03:34 2018

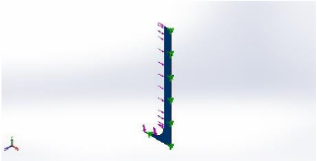
### Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\SONY\Documents\9no PROYECTO DE GRADO\para planos\ analisis de rejilla)

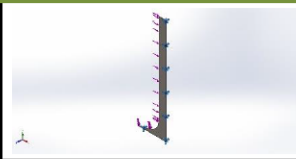
### Unidades

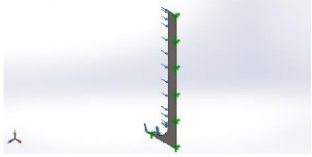
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m <sup>2</sup>

### Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 316L Acero inoxidable</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 1.7e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p>Límite de tracción: 4.85e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.265</p> <p>Densidad: 8027 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Módulo cortante: 8.2e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1.7e-005 /Kelvin</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir1)(rejilla)
Datos de curva:N/A		

### Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 7 cara(s) Tipo: Geometría fija			
<b>Fuerzas resultantes</b>					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-3.9937	3.06443	3.21192e-005	5.03392	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

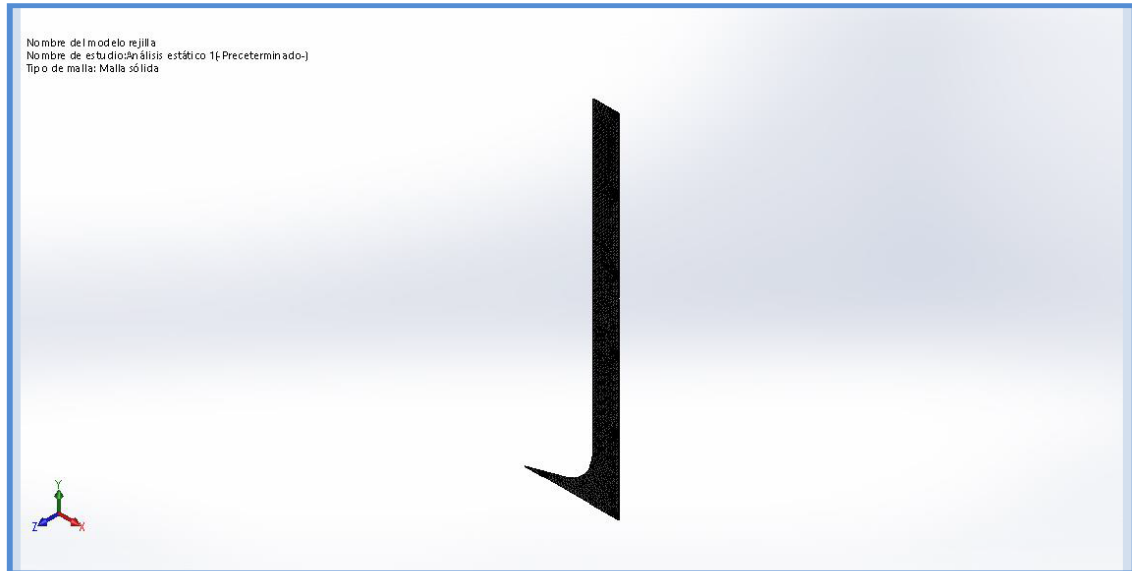
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 2 N			

### Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	1.21904 cm
Tolerancia	0.060952 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

### Información de malla - Detalles

Número total de nodos	17638
Número total de elementos	8344
Cociente máximo de aspecto	21.662
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	4.76
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	1.62
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	



## Fuerzas resultantes

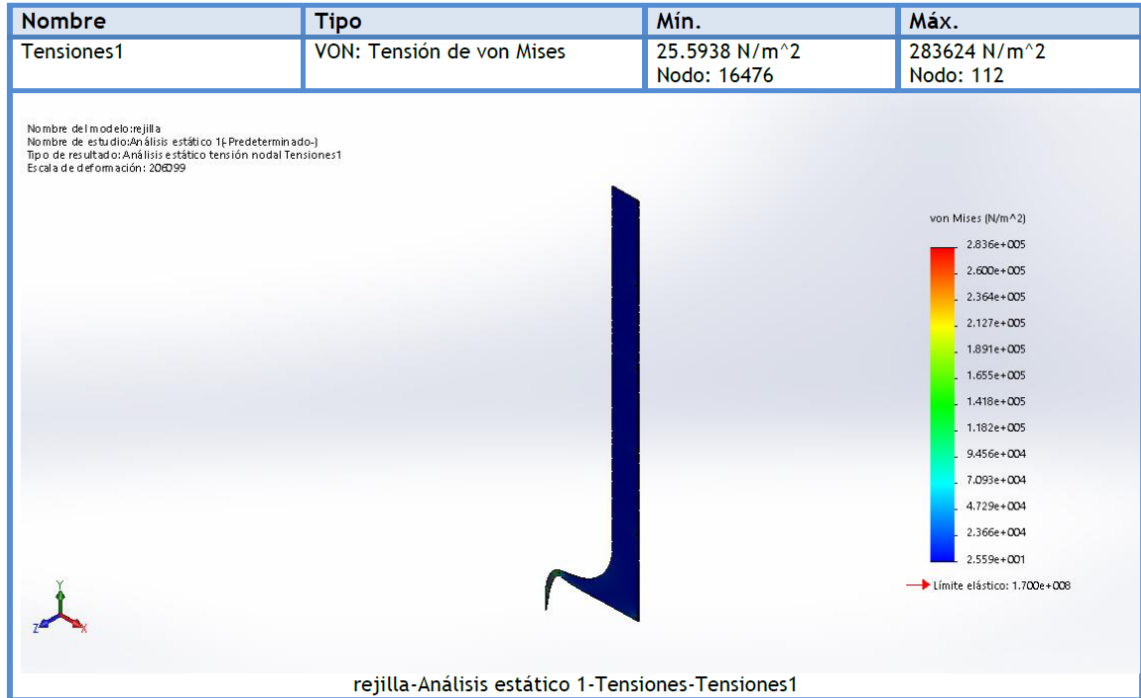
### Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-3.9937	3.06443	3.21192e-005	5.03392

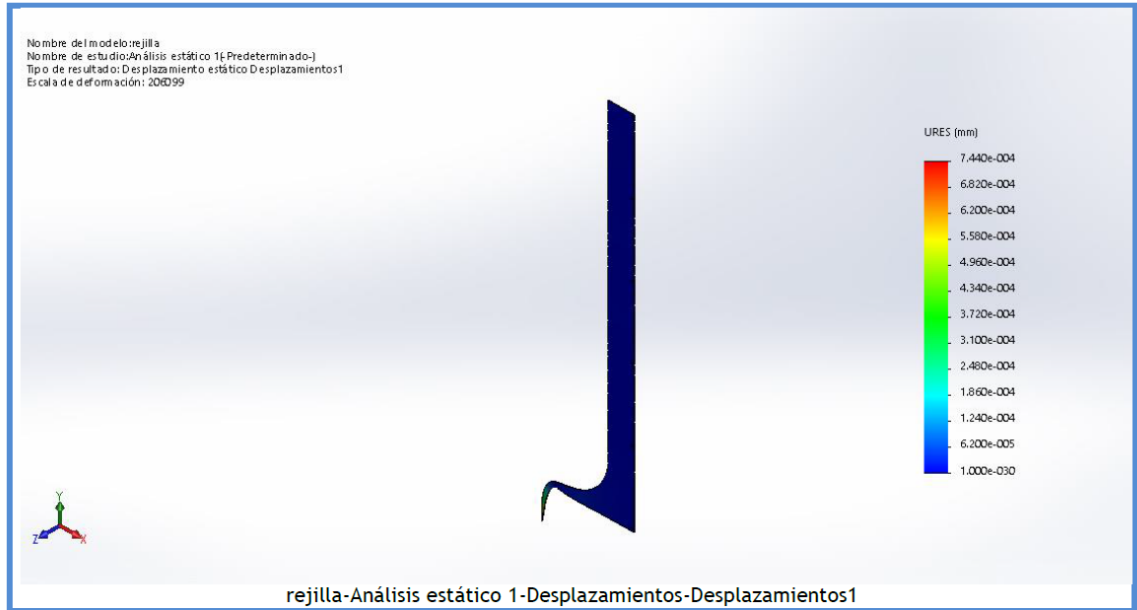
### Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

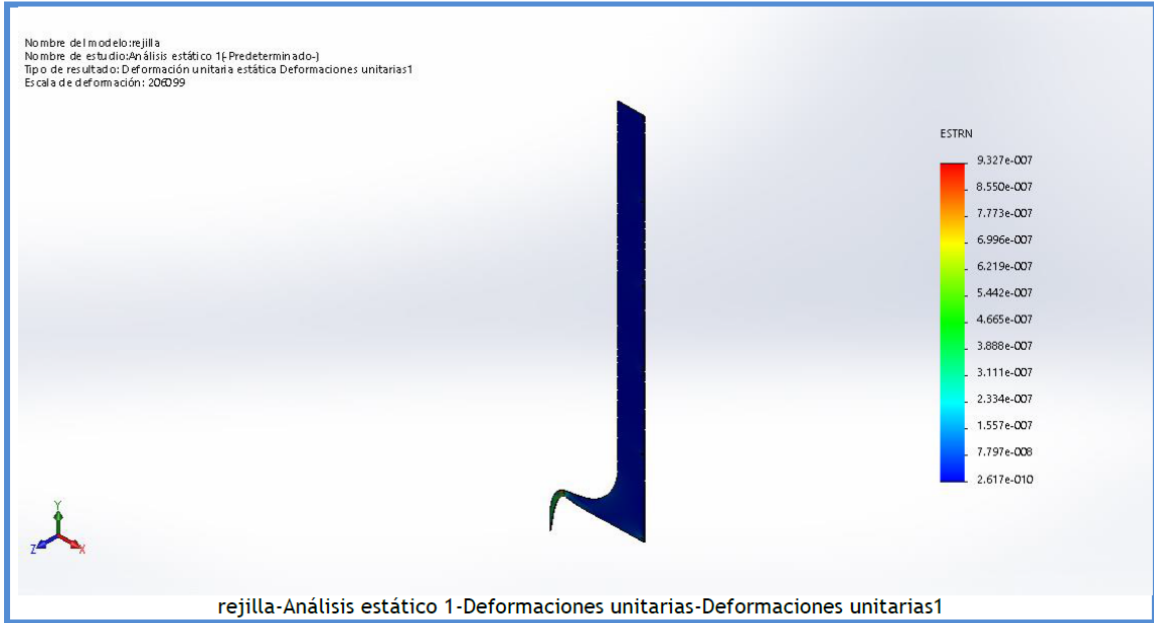
## Resultados del estudio



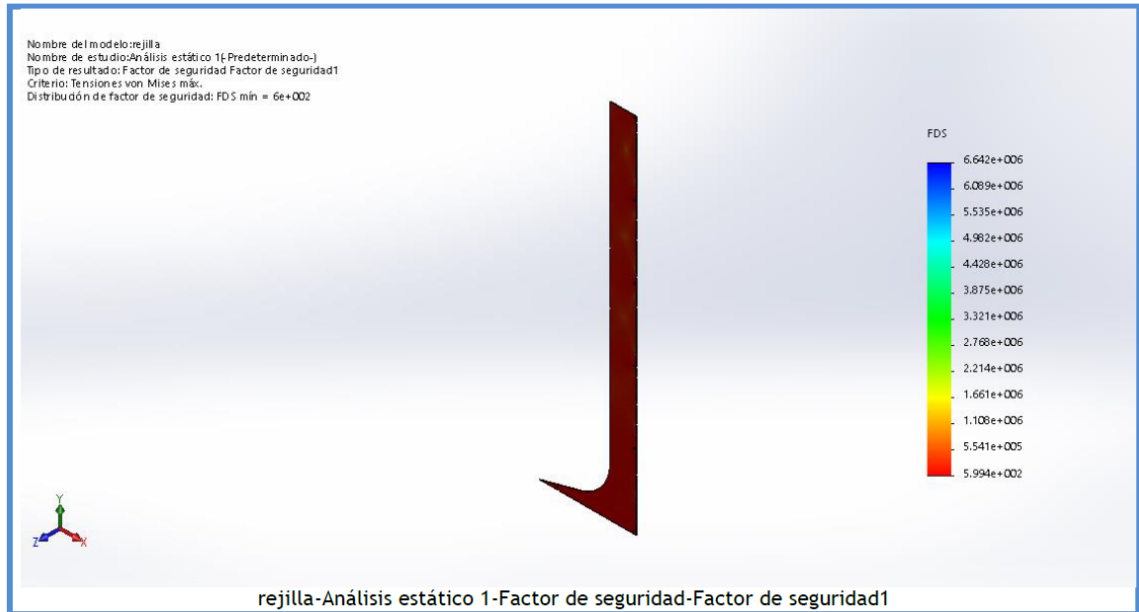
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 1	0.000744017 mm Nodo: 17022



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.61743e-010 Elemento: 4856	9.32723e-007 Elemento: 8108

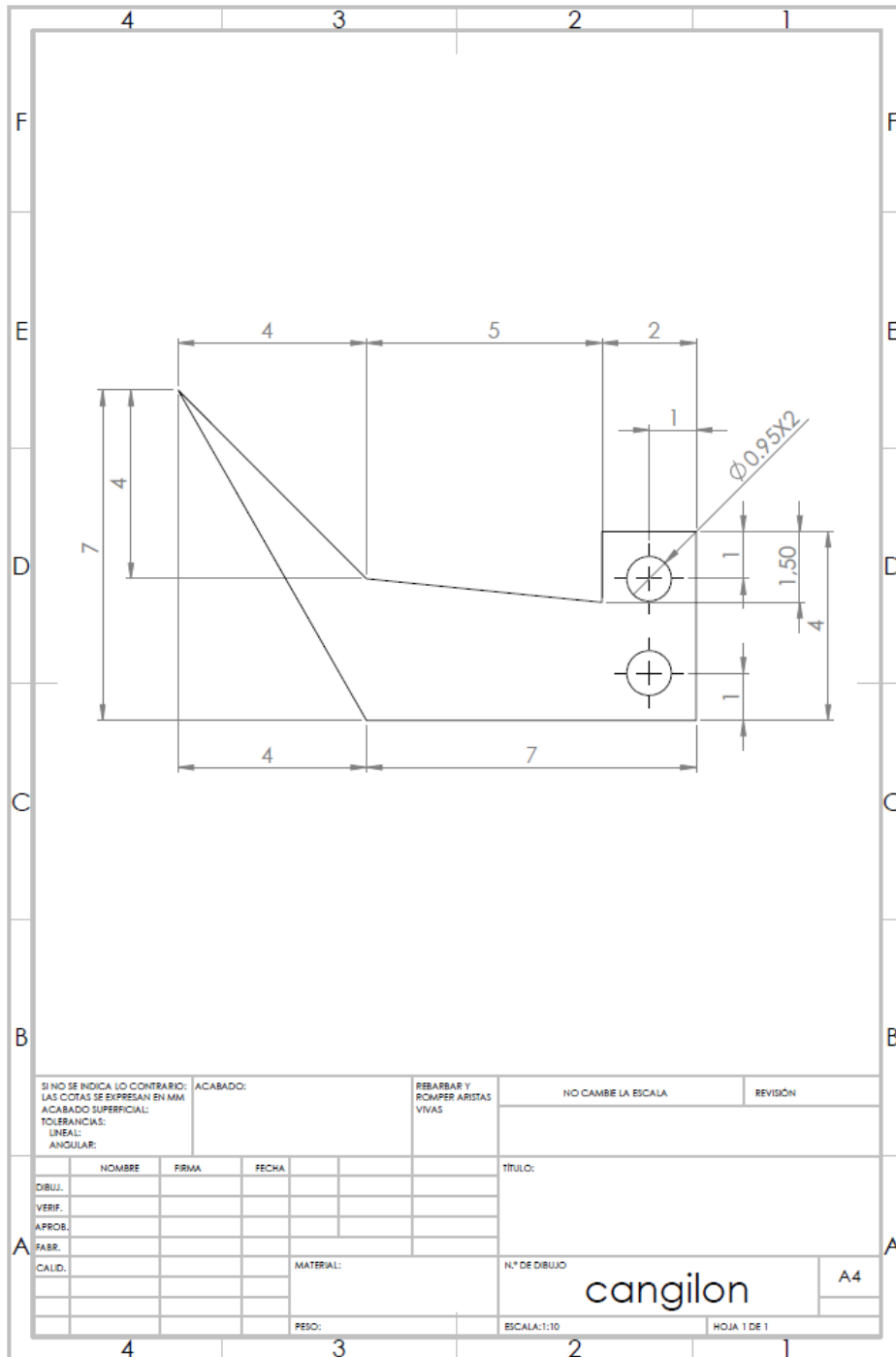


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	599.385 Nodo: 112	6.64223e+006 Nodo: 16476



## Conclusión

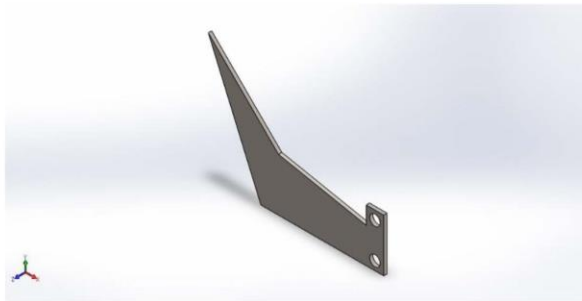
## Anexo D. Dimensiones del cangilón



## Anexo E. Estudio estático del cangilón



Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P.  
Diagonal 32 No. 30A-51  
Teléfono: (+57) 6320220  
<http://www.amb.com.co>



**Descripción**  
No hay datos

### Simulación de cangilon

Fecha: domingo, 8 de julio de 2018  
Diseñador: Yuber Antonio Corredor Espitia  
Nombre de estudio: Análisis estático 1  
Tipo de análisis: Análisis estático

#### Tabla de contenidos

Descripción .....	1
Suposiciones .....	2
Información de modelo .....	2
Propiedades de estudio .....	3
Unidades .....	4
Propiedades de material .....	4
Cargas y sujeciones.....	5
Definiciones de conector .....	5
Información de contacto .....	6
Información de malla .....	7
Detalles del sensor .....	8
Fuerzas resultantes.....	9
Vigas .....	9
Resultados del estudio.....	10
Conclusión .....	13



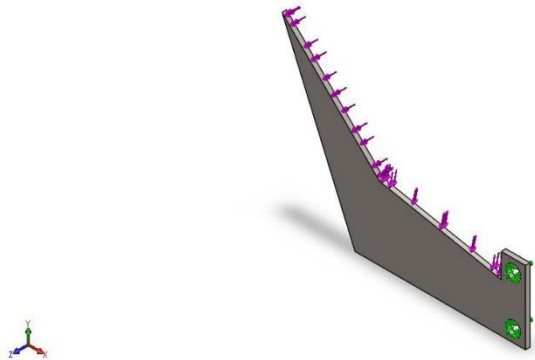
SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

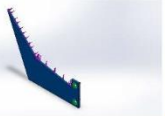
Simulación de cangilon 1

## Suposiciones

## Información de modelo



Nombre del modelo: cangilon  
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0.0372658 kg Volumen:4.64256e-006 m <sup>3</sup> Densidad:8027 kg/m <sup>3</sup> Peso:0.365205 N	C:\Users\SONY\Documents \9no PROYECTO DE GRADO\para planos\análisis de cangilon\cangilon.SLDPRT Jul 08 10:55:46 2018


### Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\SONY\Documents\9no PROYECTO DE GRADO\para planos\análisis de cangilon)

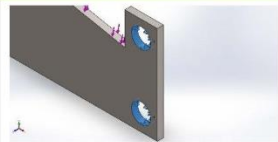
### Unidades

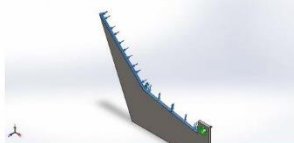
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m <sup>2</sup>

### Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p><b>Nombre:</b> AISI 316L Acero inoxidable</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Desconocido</p> <p><b>Límite elástico:</b> 1.7e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 4.85e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 2e+011 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.265</p> <p><b>Densidad:</b> 8027 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 8.2e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1.7e-005 /Kelvin</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir1)(cangilon)
Datos de curva:N/A		

### Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija			
<b>Fuerzas resultantes</b>					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	0.90336	1.68767	-2.67848e-005	1.91424	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1 N			

### Definiciones de conector

No hay datos



Acueducto Metropolitano de  
bucaramanga S.A. E.S.P.  
Diagonal 32 No. 30A-51

Yuber Antonio Corredor Espitia  
8/07/2018

---

### Información de contacto

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de cangilon

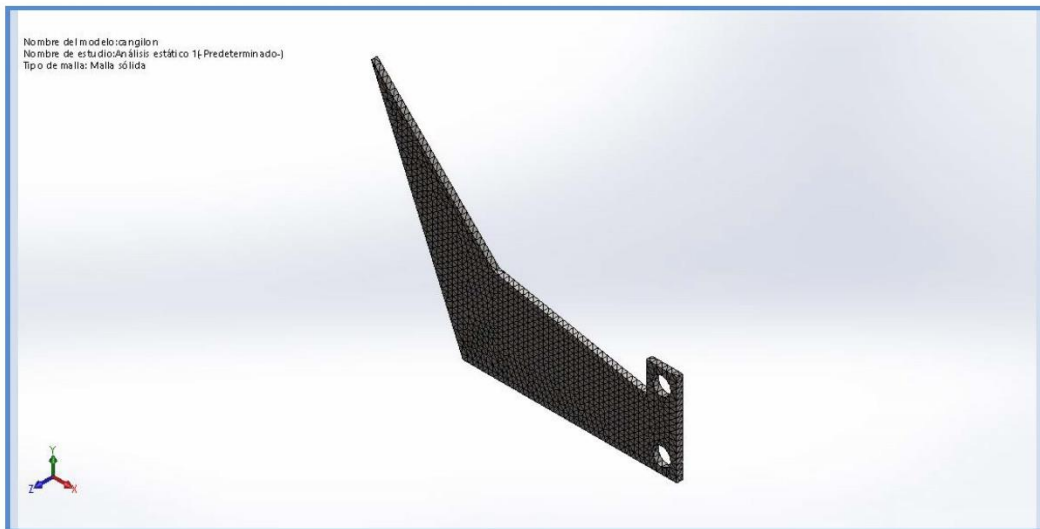
6

### Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	0.16689 cm
Tolerancia	0.0083445 cm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

### Información de malla - Detalles

Número total de nodos	17366
Número total de elementos	9918
Cociente máximo de aspecto	5.779
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	



**Detalles del sensor**  
No hay datos

## Fuerzas resultantes

### Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0.90336	1.68767	-2.67848e-005	1.91424

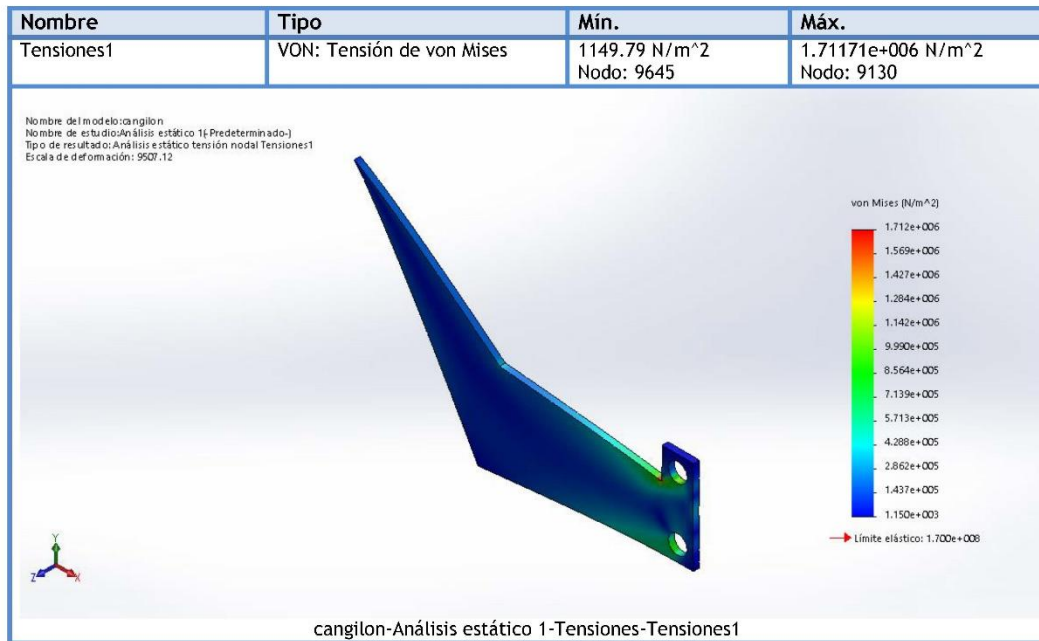
### Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

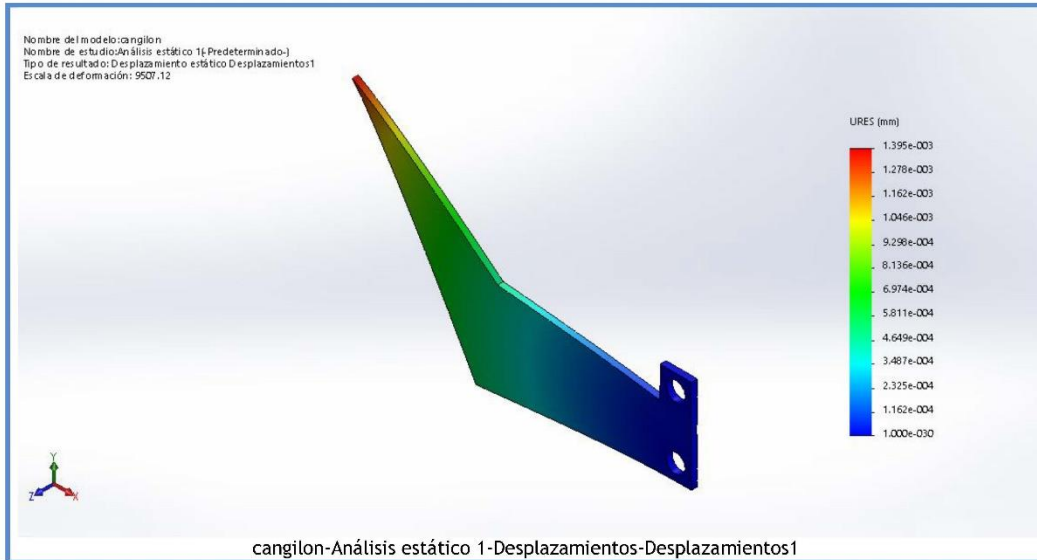
## Vigas

No hay datos

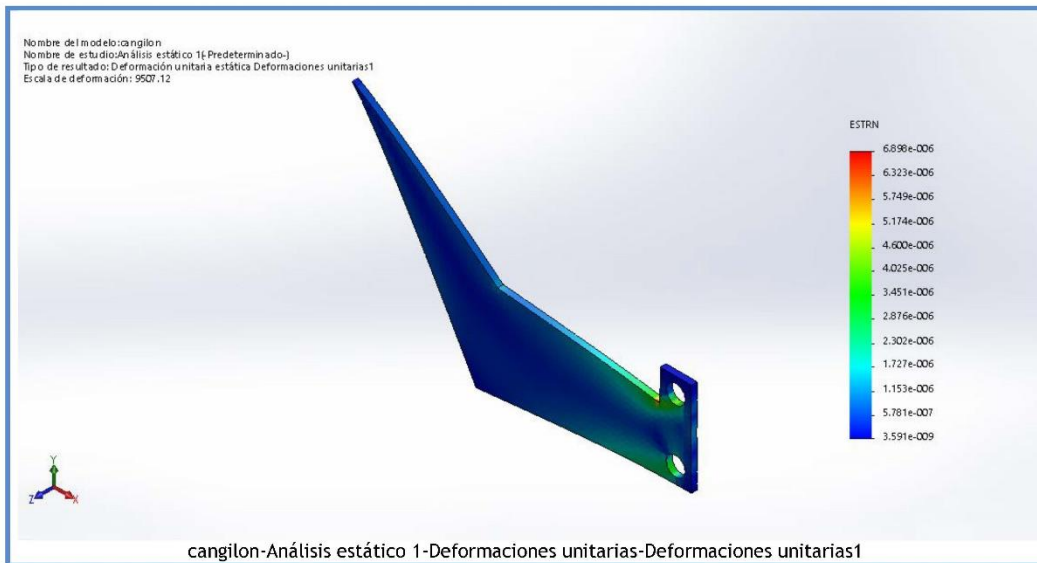
## Resultados del estudio



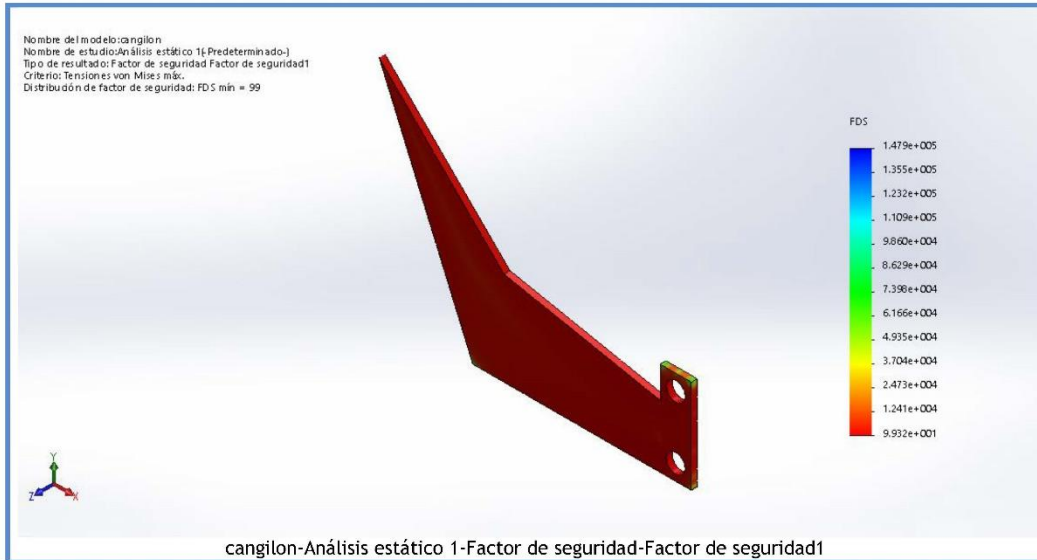
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 1	0.00139471 mm Nodo: 1978



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.59102e-009 Elemento: 3045	6.89772e-006 Elemento: 3508



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	99.3162 Nodo: 9130	147854 Nodo: 9645



## Conclusión

## **Anexo F. Selección de un tornillo sin fin transportador**

### **Cálculo de Transportadores de Tornillo Sin Fin**

#### **Índice de contenidos:**

- 1- Introducción
  - 1.1- Generalidades
  - 1.2- Clasificación
- 2- Componentes del sistema
  - 2.1- Hélice y eje
  - 2.2- Carcasa
  - 2.3- Grupo motriz
  - 2.4- Velocidad de giro del tornillo
  - 2.5- Paso y Diámetro del tornillo
- 3- Capacidad de transporte
  - 3.1- Generalidades
  - 3.2- Determinación del flujo de material
- 4- Potencia de accionamiento
  - 4.1- Generalidades
  - 4.2- Cálculo de la potencia total
- 5- Tipos de materiales
  - 5.1- Materiales de Clase I
  - 5.2- Materiales de Clase II
  - 5.3- Materiales Clase III
  - 5.4- Materiales de Clase IV
  - 5.5- Materiales de Clase V

---

## DESARROLLO DEL CONTENIDO

---

### 1- Introducción

#### 1.1- Generalidades

Entre los sistemas de manipulación, entendido como el conjunto de medios técnicos, instrumentos y dispositivos que hacen posible la MANIPULACIÓN y TRASLADO de los materiales, más empleados en la industria están los *Transportadores de Tornillo Sin Fin*.



Básicamente, un transportador normalizado de tornillo sin fin está constituido por una hélice montada sobre un eje que se encuentra suspendido en un canal, generalmente en forma de "U", como se muestra en la figura adjunta.

Un grupo motorreductor situado en uno de los extremos del eje del tornillo hace girar la hélice que arrastra el producto a transportar.

Es un sistema de manipulación y transporte de material extremadamente versátil, que puede ser empleado, además de como equipo de trasiego de material, como

dispositivo dosificador, o también como elemento que funciona como mezclador o agitador.

Entre las ventajas del uso de transportadores de tornillo sin fin están, entre otras:

- Sencillez de fabricación, con diseño compacto de fácil instalación
- Es un sistema de bajo costo
- Posibilidad de hacer fácilmente hermético el sistema, lo que evita la generación de polvos y posibles exhalaciones molestas



- Posibilidad también de colocar bocas de carga y descarga en diferentes puntos.
- Por el contrario, es un sistema de manutención que también presenta ciertas desventajas, como son:
  - Mayores requerimientos de potencia para su accionamiento
  - Para usos en configuraciones con diferencia de altura entre la carga y la descarga, este sistema presenta cierta dificultad de sobrepasar ciertas pendientes de elevación, disminuyendo su capacidad de transporte con la pendiente
- Tampoco se recomienda emplear transportadores de tornillo excesivamente largos (se suelen emplear para longitudes de trasiego de material menores de 50 metros)

- Es un sistema que genera un fuerte desgaste en los componentes, por lo que se limita su uso a manipular materiales siempre NO abrasivos
- También puede producir contaminación del material, por lo que empleando este sistema puede existir peligro de deterioro de ciertos productos
- Además, el uso de transportadores de tornillo sin fin está limitado a materiales que no sean frágiles o delicados.

## **1.2- Clasificación**

La característica fundamental de un transportador de tornillo sin fin es la presencia en su diseño de un tornillo giratorio o árbol que hace desplazar al material en la dirección de su eje longitudinal, gracias a la acción de empuje que ejercen unas hélices o paletas soldadas al eje del tornillo.

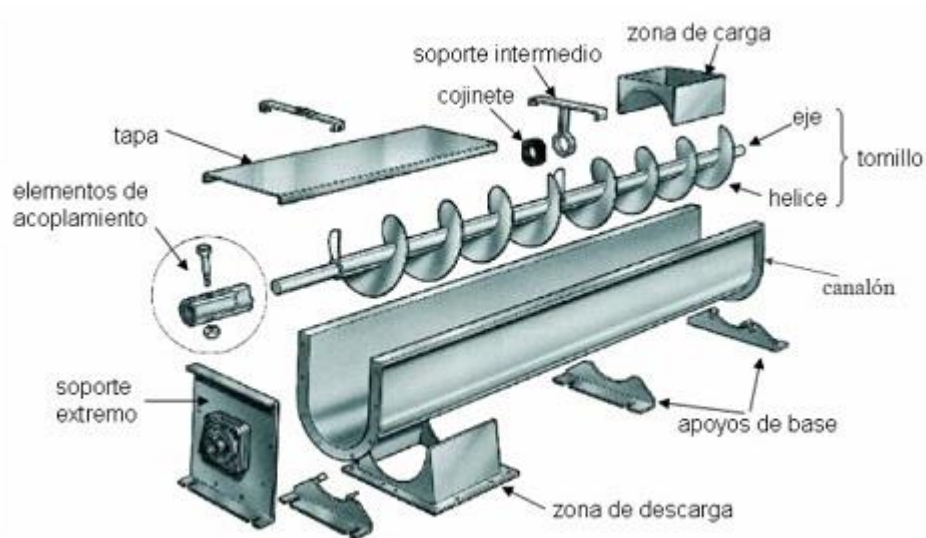
Dependiendo de la forma del diseño del eje del tornillo, los transportadores de tornillo se pueden clasificar en diversos tipos:

- Tornillo sin fin de hélice helicoidal
- Tornillo sin fin de hélice seccional
- Tornillo sin fin de paletas cortadas
- Tornillo sin fin de paletas tipo cinta
- Tornillo sin fin con palas
- Tornillo sin fin de paletas plegadas y cortadas
- Tornillo sin fin de paso corto de paletas cortadas con palas
- Tornillo sin fin de palas
- Tornillo sin fin de paletas distribuidas formando un cono
- Tornillo sin fin de diámetro escalonado
- Tornillo sin fin de paso escalonado
- Tornillo sin fin de paso largo
- Tornillo sin fin de doble paleta

## 2- Componentes del sistema

### 2.1- Hélice y eje

Para el manejo de materiales y productos normales, la *hélice* de un transportador de tornillo está normalmente fabricada en chapa de acero al carbono de 3 a 4 mm de espesor. Su diámetro suele ser inferior en unos 2 cm al de la carcasa, ya que no deberá rozar las paredes de la misma cuando el eje del tornillo gire. El tipo de hélice varía en relación al producto a transportar y de su función.



En la figura esquemática adjunta se puede consultar, además de la hélice y eje, los principales componentes que constituyen un transportador de tornillo sin fin de manera genérica.



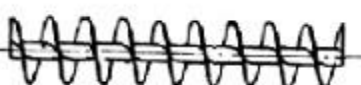
Como se aprecia en la figura, la hélice va montada sobre el eje portante del tornillo, que a su vez es el generador del movimiento giratorio al estar engranado a un grupo motriz en uno de sus extremos.

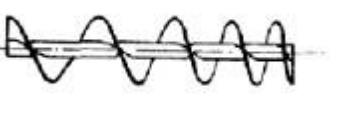
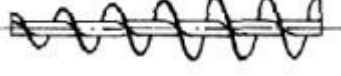

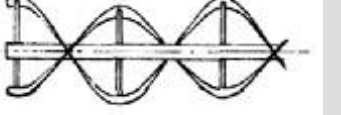
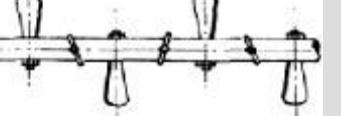
Para evitar que se produzcan excesivas flexiones del eje, se hace necesario disponer de una serie de soportes intermedios (generalmente situados cada 3 - 4 metros) para apoyar el eje. En cada apoyo se hará uso de cojinetes para aminorar el rozamiento del eje en los soportes.

La instalación de estos soportes intermedios producen zonas de interrupción en la hélice, que suelen generar zonas de atasco del producto, por lo que se recomienda extremar el cuidado en el diseño de estos puntos de apoyo.

Para aminorar este problema, a veces se aumenta la separación entre puntos de apoyo, pero en este caso se hace necesario utilizar ejes macizos, ya que la distancia máxima entre apoyos está limitada por el esfuerzo de torsión a que se somete el eje.

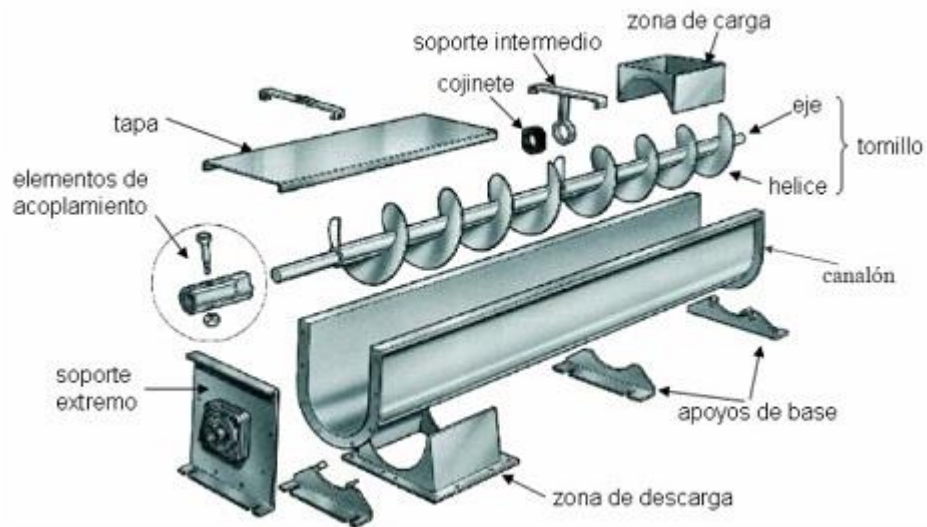
A continuación, en la siguiente tabla se muestran los distintos tipos de hélices, según el tipo de material a transportar y de la función a realizar:

Tipo de Hélice	Tipo de Material para Transportar / Aplicación	Figura
Hélice continua, de paso igual al diámetro	Tipo de hélice normal para transporte de sólidos	
Hélice de gran paso, de 1,5 a 2 veces el diámetro	Se utiliza para productos que fluyen muy bien	
Hélice de pequeño paso, normalmente la mitad del diámetro	Se utiliza en tornillos sin fin inclinados hasta unos 20-25°, o cuando se quiere un prolongado tiempo de permanencia del producto en el transportador con el objeto de enfriarlo, secarlo, etc.	

Tipo de Hélice	Tipo de Material para Transportar / Aplicación	Figura
Hélice de paso variable	Utilizado para compresión de productos, como es el caso de las prensas de tornillo.	
Hélice de diámetro variable	Se utiliza como extractor dosificador de sólidos de tolvas.	
Hélice de cinta	Tipo de hélice adecuada para productos que producen atascamiento.	
Hélice mezcladora, con dos hélices tipo cinta, una a derecha y otra a izquierda	Se utiliza como equipo mezclador	
Hélice mezcladora, con eje provisto de paletas	Se utiliza como equipo mezclador	

## 2.2- Carcasa

Las paredes metálicas que cierran y envuelven al transportador forman la *carcasa del tornillo*, y sirve para contener el material y separarlo del ambiente exterior.



Como se aprecia en la figura adjunta donde se indican los componentes principales de un transportador de tornillo, elementos como el canalón o la tapa superior forman parte de la carcasa del transportador.

Normalmente, los elementos que componen la carcasa de los transportadores de tornillo están fabricadas en chapa de acero al carbono de 3 a 6 mm de espesor.

Cuando se trata de la manipulación de productos altamente abrasivos o corrosivos, o bien por razones sanitarias (como en el caso de productos alimenticios), las paredes de la carcasa de los transportadores se construyen en acero inoxidable.

En la carcasa se colocan tanto las bocas de carga (normalmente situada en la tapa superior) como la de descarga (situada en el canalón), dispuestas de acuerdo con las necesidades del proceso tecnológico.

En algunos casos, por necesidades higiénicas, sanitarias o de otra índole, las paredes de la carcasa del transportador son totalmente cerradas y herméticas, configurando una especie de tubo dentro del cual gira el sin fin.

### 2.3- Grupo motriz

Para el accionamiento de giro del eje del tornillo es necesario la instalación en el sistema del transportador de un *grupo motriz*, normalmente de accionamiento eléctrico.



El grupo motriz está formado por un motor-reductor con base de fijación sobre una bancada solidaria a la carcasa, efectuándose la unión de la mangueta del reductor con el eje del tornillo sin fin mediante un acoplamiento.

En los casos de transportadores de tornillo de mayor potencia es recomendable incluir un acoplador hidráulico entre el motor y el reductor de velocidad, con objeto de conseguir un arranque suave del sistema a plena carga.

Para una mayor información, en el siguiente apartado se realiza un estudio en mayor detalle del rango de velocidad de giro que debe proporcionar el grupo motriz al eje del tornillo, según las distintas aplicaciones.

## 2.4- Velocidad de giro del tornillo

La velocidad de giro ( $n$ ) de los transportadores de tornillo depende, entre otros factores, de la naturaleza del material a transportar.

En este sentido y según el tipo de material a desplazar, la velocidad de giro del tornillo suele estar comprendida, con buena aproximación, entre los siguientes rangos:

- para materiales pesados  $\rightarrow n \approx 50 \text{ r.p.m.}$
- para materiales ligeros  $\rightarrow n < 150 \text{ r.p.m.}$

En general, se cumple que la velocidad de giro de un transportador de tornillo es inversamente proporcional a:

- el peso a granel del material a transportar
- del grado de abrasividad del material a transportar
- diámetro del tornillo.

Por otro lado, la máxima velocidad de giro a la que puede trabajar un tornillo sin fin depende de, además de la naturaleza del material a transportar, del diámetro total del tornillo (eje+hélice).

En la siguiente tabla se indica la velocidad de giro recomendada para un transportador de tornillo en función de la clase de material y del diámetro del tornillo:

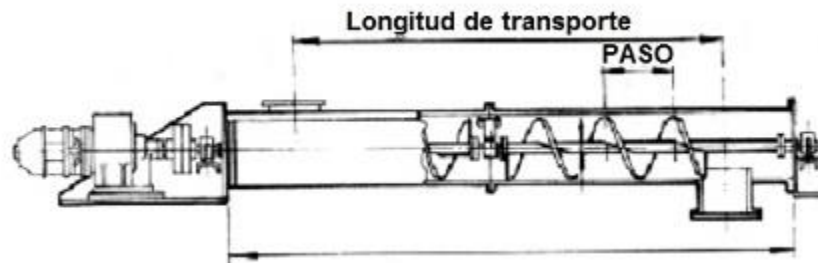
Diámetro del tornillo (mm.)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*)				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25

Diámetro del tornillo (mm.)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*)				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

(\*) Ver las distintas clases de material definidas en el apartado 5.

## 2.5- Paso y Diámetro del tornillo

En todo transportador el paso de tornillo, también conocido como *paso de hélice*, se define como la distancia entre dos hélices consecutivas en la dirección del eje del tornillo, según se puede ver en la figura siguiente que se adjunta.



En general, la dimensión para el paso de los transportadores de tornillo suele estar comprendida entre 0,5 y 1 veces la medida del diámetro del mismo, siendo mayor cuanto más ligera sea la carga que se vaya a transportar con el tornillo.

En cuanto al diámetro de la hélice del tornillo, su dimensión es inversamente proporcional a la velocidad de giro del eje, es decir, para velocidades de giro más elevadas supondrá un tornillo de hélices más estrechas.

En general, la dimensión del diámetro que hay que emplear en los transportadores de tornillo depende también del tipo de material a transportar, cumpliéndose de manera muy aproximada la siguiente relación:

- para materiales homogéneos, el diámetro del tornillo será, al menos, 12 veces mayor que el diámetro de los pedazos a transportar;
- para materiales heterogéneos, el diámetro del tornillo será 4 veces mayor que el mayor diámetro de los pedazos a transportar.

### 3- Capacidad de transporte

#### 3.1- Generalidades

Antes de conocer las expresiones matemáticas que permiten obtener el flujo de material que puede desplazar un transportador de tornillo, es necesario definir los siguientes conceptos:

- Área de relleno del canalón (S):

El área de relleno (S) del canalón que ocupa el material que mueve el transportador, se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$S = \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

donde,

S es el área de relleno del transportador, en  $m^2$

D es el diámetro del canalón del transportador, en  $m$

$\lambda$  es el coeficiente de relleno de la sección.

Este coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) deberá ser menor que la unidad con objeto de evitar que se produzca amontonamiento del material que dificultaría su correcto flujo a lo largo del canalón.

En la siguiente tabla se indican los valores del coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) en función del tipo de carga que transporta el tornillo:

Tipo de carga	Coeficiente de relleno, $\lambda$
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

- Velocidad de desplazamiento del transportador ( $v$ ):

La velocidad de desplazamiento ( $v$ ) del transportador es la velocidad con la que desplaza el material en la dirección longitudinal del eje del tornillo. Depende tanto del paso del tornillo como de su velocidad de giro.

La expresión que permite conocer la velocidad de desplazamiento en un transportador de tornillo es la siguiente:

$$v = \frac{p \cdot n}{60}$$

donde,

$v$  es la velocidad de desplazamiento del transportador, en  $m/s$

$p$  es el paso del tornillo o paso de hélice, en  $m$

$n$  es la velocidad de giro del eje del tornillo, en  $r.p.m.$

### 3.2- Determinación del flujo de material

La *capacidad de transporte* de un transportador de tornillo sin fin viene determinada por la siguiente expresión que calcula el flujo de material transportado:

$$Q = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot i$$

donde,

$Q$  es el flujo de material transportado, en  $t/h$

$S$  es el área de relleno del transportador, en  $m^2$ , visto en el apartado anterior

$v$  es la velocidad de desplazamiento del transportador, en  $m/s$ , visto en el apartado anterior

$\rho$  es la densidad del material transportado, en  $t/m^3$

$i$  es el coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador.

En la siguiente tabla se muestran los valores de este coeficiente ( $i$ ) de disminución de flujo que indica la reducción de capacidad de transporte debida a la inclinación:

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
$i$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Si se sustituye las expresiones que calculan el área de relleno del transportador ( $S$ ) y de la velocidad de desplazamiento ( $v$ ) vistas en el apartado anterior, la capacidad de flujo de material transportado ( $Q$ ) resultaría finalmente como:

$$Q = 3600 \cdot \lambda \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{\rho \cdot n}{60} \cdot \rho \cdot i$$

A título de ejemplo se incluye la siguiente tabla donde se recogen algunos datos indicativos relativos a la capacidad de transporte de un tornillo sin fin de tipo comercial:

**TABLA**  
**Capacidad de transporte de un sin fin**

Ø del tornillo (mm) ... ..	160	200	250	315	400	500	630	800
Paso de hélice (mm) ... ..	160	200	250	300	355	400	450	500
Velocidad normal (r.p.m.)...	70	65	60	55	50	45	40	35
Capacidad en horizontal al 100 % (m <sup>3</sup> /h) ... ..	14	26	45	78	130	217	342	525

Capacidad de transporte de un tornillo sin fin

#### 4- Potencia de accionamiento

##### 4.1- Generalidades

La potencia de accionamiento ( $P$ ) de un transportador de tornillo sin fin se compone de la suma de tres componentes principales, según se refleja en la siguiente expresión:

$$P = P_H + P_N + P_i$$

donde,

$P_H$  es la potencia necesaria para el desplazamiento horizontal del material

$P_N$  es la potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío

$P_i$  es la potencia necesaria para el caso de un tornillo sin fin inclinado.

#### 4.2- Cálculo de la potencia total

Para el cálculo de la potencia total ( $P$ ) de accionamiento de un transportador de tornillo se deberá calcular previamente las necesidades de potencia de cada tipo, según lo indicado en el apartado anterior, y posteriormente sumarlas para el cálculo de la potencia total.

- Potencia para el desplazamiento horizontal del material ( $P_H$ ):

La potencia necesaria para realizar el desplazamiento horizontal del material se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_H (kW) = c_0 \cdot \frac{Q \cdot L}{367}$$

donde,

$Q$  es el flujo de material transportado, en  $t/h$

$L$  es la longitud del transportador, en  $m$

$c_0$  es el coeficiente de resistencia del material transportado. Para el conocer el valor de este coeficiente, se puede emplear la tabla adjunta obtenida empíricamente a partir del ensayo con materiales de distinta naturaleza:

Tipo de material	Valor de $c_0$
Harina, serrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

- Potencia de accionamiento del tornillo en vacío ( $P_N$ ):

La potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío se puede calcular con bastante aproximación mediante la siguiente expresión:

$$P_N (kW) = \frac{D \cdot L}{20}$$

donde,

$D$  es el diámetro de la sección del canalón de la carcasa del transportador, en  $m$

$L$  es la longitud del transportador, en  $m$

Normalmente, el valor nominal de esta potencia es muy pequeña en comparación con la potencia necesaria para el desplazamiento del material del punto anterior.

- Potencia para el caso de un tornillo sin fin inclinado ( $P_i$ ):

Esta componente se aplica para el caso que se use un transportador de tornillo inclinado, donde exista una diferencia de cota ( $H$ ) entre la posición de la boca de entrada del material y la boca de salida o de descarga.

En este caso, la potencia necesaria para realizar el desplazamiento del material por un transportador de tornillo inclinado se emplea la siguiente expresión:

$$P_i (kW) = \frac{Q \cdot H}{367}$$

donde,

$Q$  es el flujo de material transportado, en  $t/h$

$H$  es la altura de la instalación, en  $m$

Finalmente, la potencia total ( $P$ ) necesaria para el accionamiento de un transportador de tornillo resulta de la suma de las distintas necesidades de potencias calculadas anteriormente:

$$P = P_H + P_N + P_i = c_0 \cdot \frac{Q \cdot L}{367} + \frac{D \cdot L}{20} + \frac{Q \cdot H}{367}$$

Que finalmente se puede expresar como:

$$P = \frac{Q \cdot (c_0 \cdot L + H)}{367} + \frac{D \cdot L}{20}$$

## 5- Tipos de materiales

### 5.1- Materiales de Clase I

Los *materiales de Clase I* son principalmente materiales pulverulentos, no abrasivos, que tienen un peso específico que se sitúa entre 0,4 - 0,7  $t/m^3$  aproximadamente, y que fluyen fácilmente.

Entre los materiales pertenecientes a esta clase están:

- Cebada, trigo, malta, arroz y similares.
- Harina de trigo y similares.

- Carbón en polvo.
- Cal hidratada y pulverizada.

## **5.2- Materiales de Clase II**

Los *materiales de Clase II* son materiales que se presentan en granos o pequeños tamaños, mezclados en polvo, son de naturaleza no abrasiva, que fluyen fácilmente. Su peso específico se sitúa entre 0,6 - 0,8 t/m<sup>3</sup>.

Entre los materiales pertenecientes a esta clase están:

- Alumbre en polvo.
- Haba de soja.
- Granos de café, cacao y maíz.
- Carbón de hulla en finos y menudos.
- Cal hidratada.

## **5.3- Materiales de Clase III**

Los *materiales de Clase III* son materiales semi-abrasivos de pequeño tamaño, mezclados con polvos, con peso específico que se sitúa entre 0,6 - 1,2 t/m<sup>3</sup>.

Entre los materiales pertenecientes a esta clase están:

- Alumbre en terrones.
- Bórax.
- Carbón vegetal.
- Corcho troceado.
- Pulpa de papel.
- Leche en polvo.
- Sal.
- Almidón.

- Azúcar refinada.
- Jabón pulverizado.

#### **5.4- Materiales de Clase IV**

Los *materiales de Clase IV* son materiales semi-abrasivos o abrasivos, granulares o pequeños tamaños en mezcla con polvos. Son materiales con un peso específico que se sitúa entre 0,8 - 1,6 t/m<sup>3</sup>.

Entre los materiales pertenecientes a esta clase están:

- Bauxita en polvo.
- Negro de humo.
- Harina de huesos.
- Cemento.
- Arcilla.
- Azufre.
- Arena.
- Polvo de piedra caliza.
- Azúcar sin refinar.
- Resinas sintéticas.
- Óxido de cinc.

#### **5.5- Materiales de Clase V**

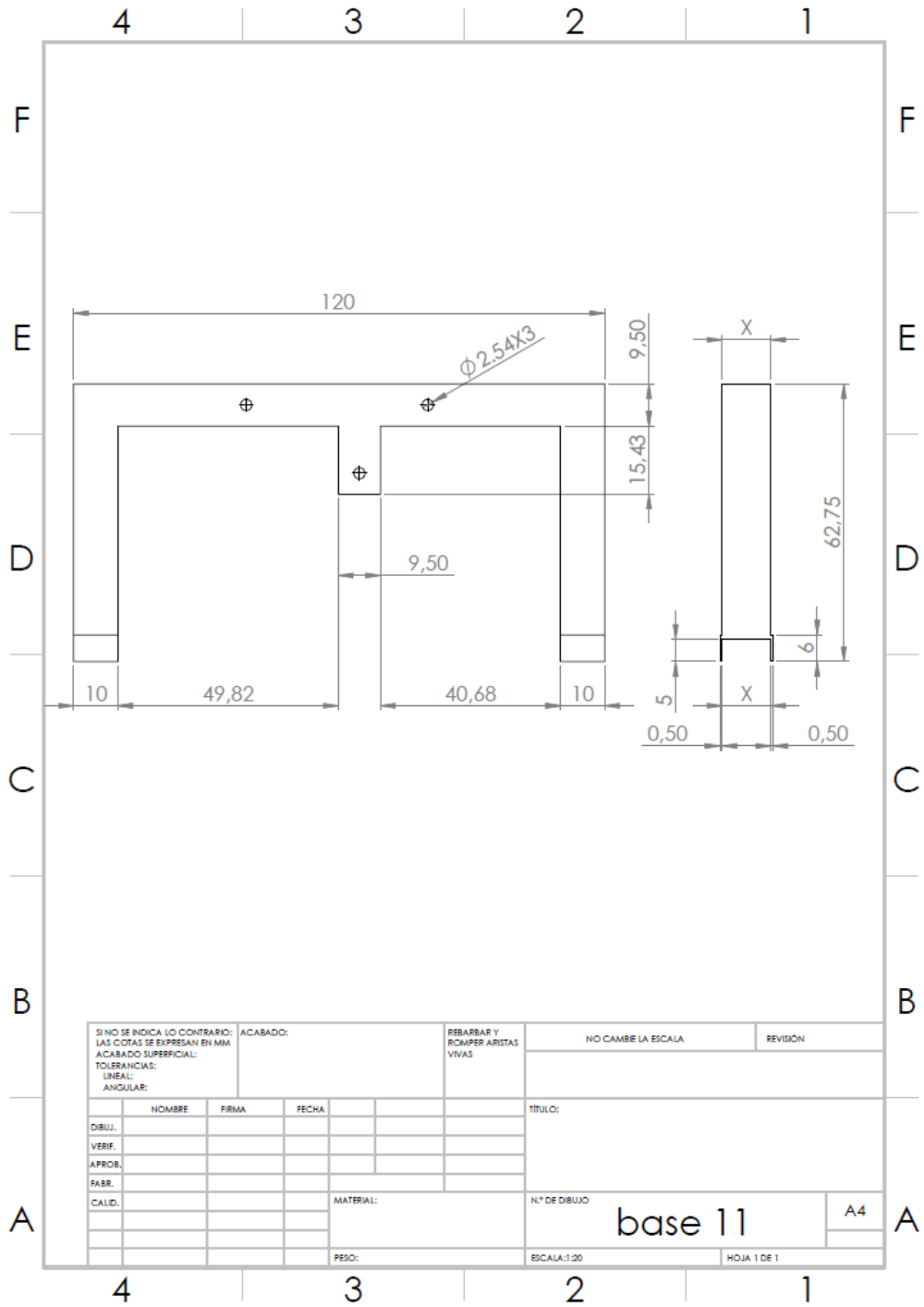
Los *materiales de Clase V* son materiales abrasivos, troceados o en polvo, como pueden ser cenizas, hollines de conductos de humos, cuarzo pulverizado, arena silíceo.

Esta clase de materiales, al ser de naturaleza abrasiva, se debe evitar que entre en contacto con soportes y cojinetes.

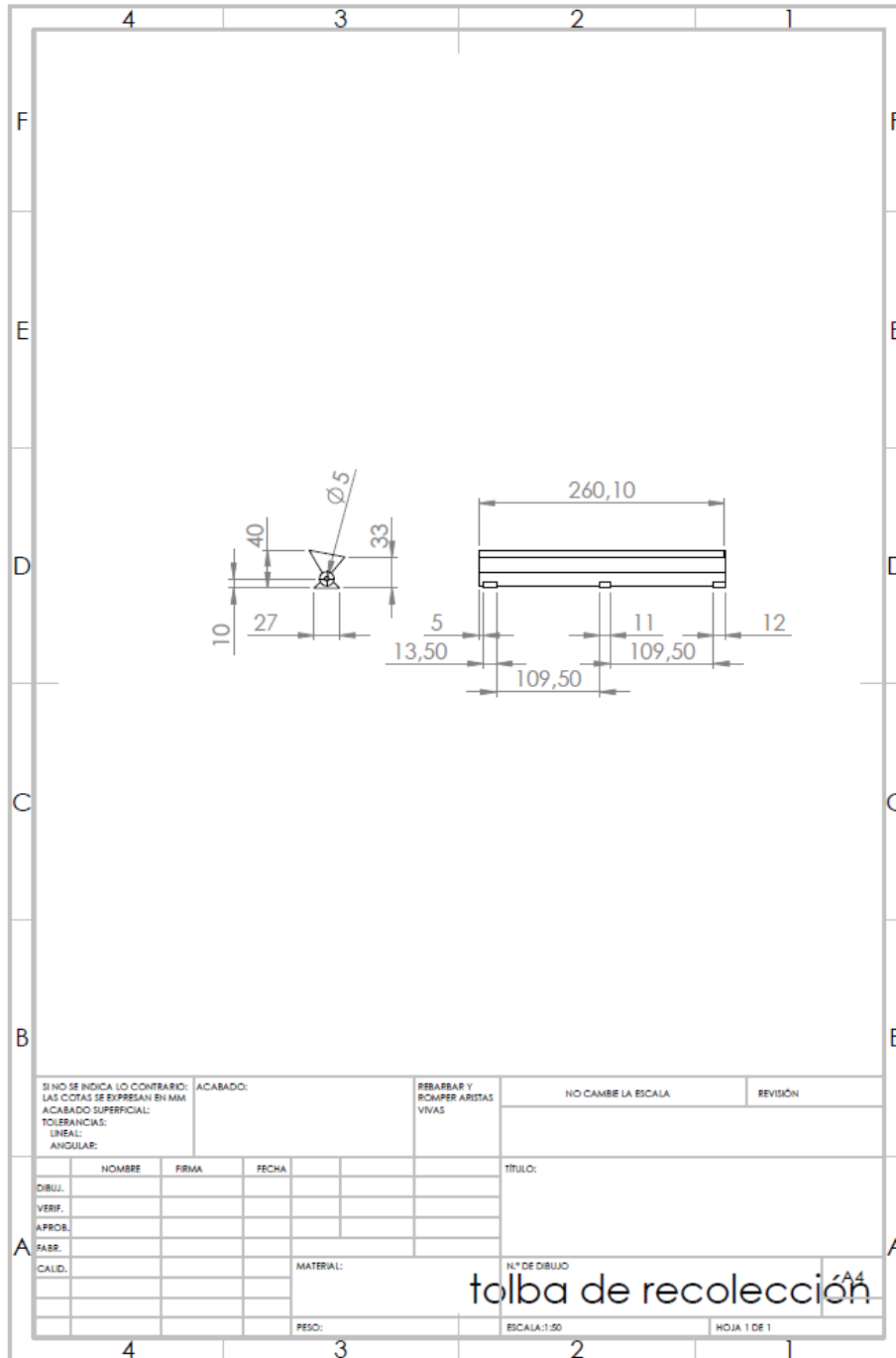
Como norma general, NO es aconsejable utilizar transportadores de tornillo sin fin para transportar esta clase de material.

Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

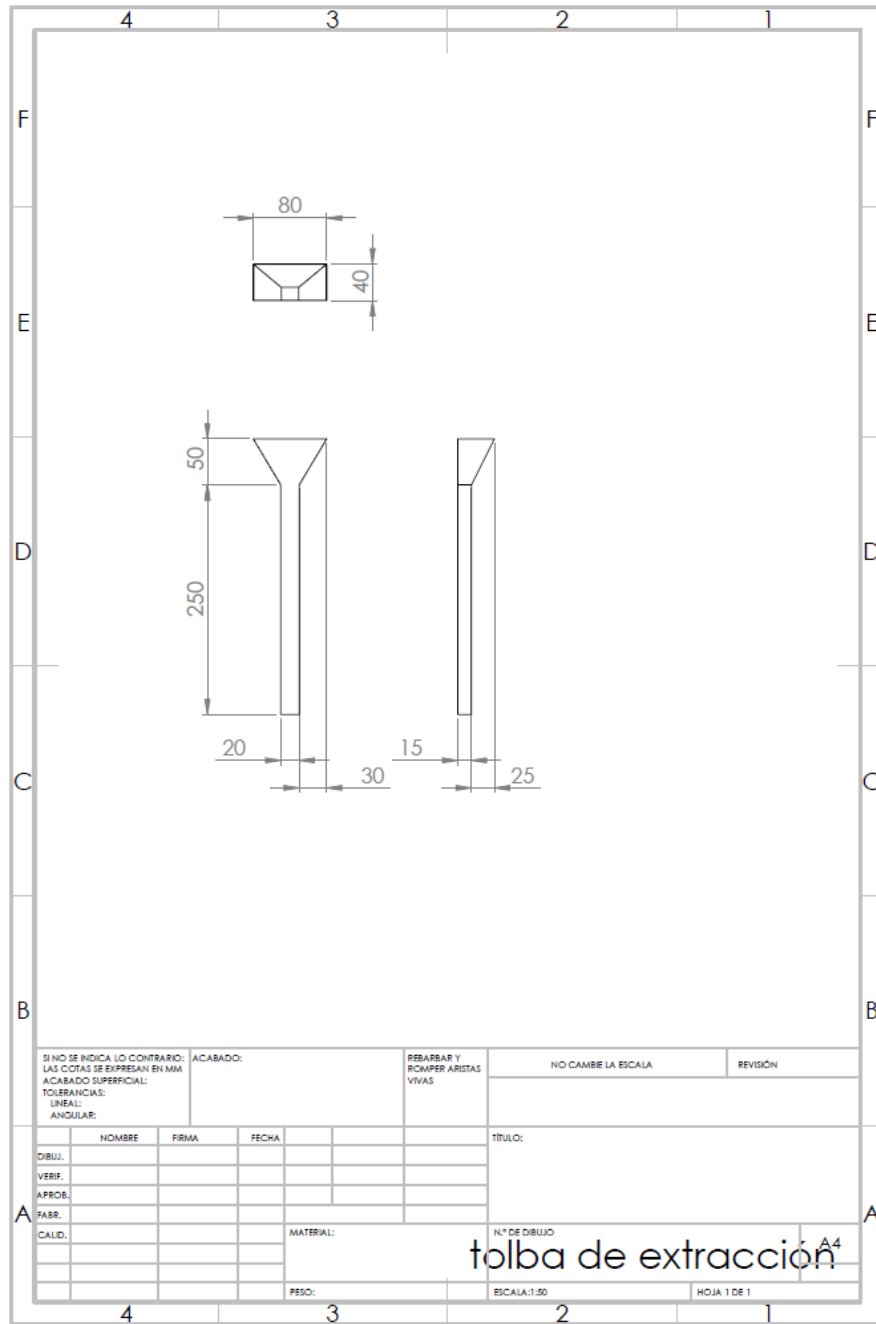
### Anexo G. Dimensiones de las bases



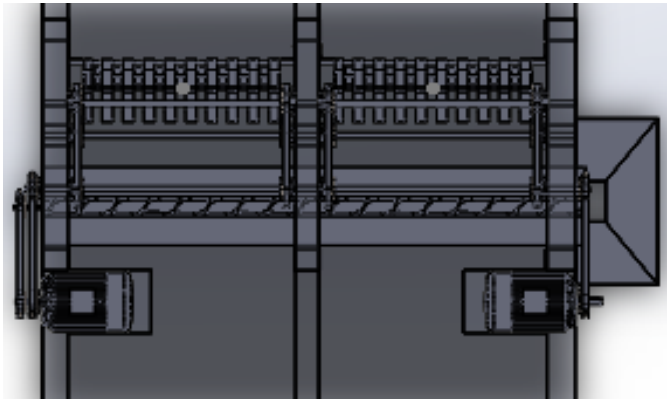
## Anexo H. Dimensiones de la tolva de recolección



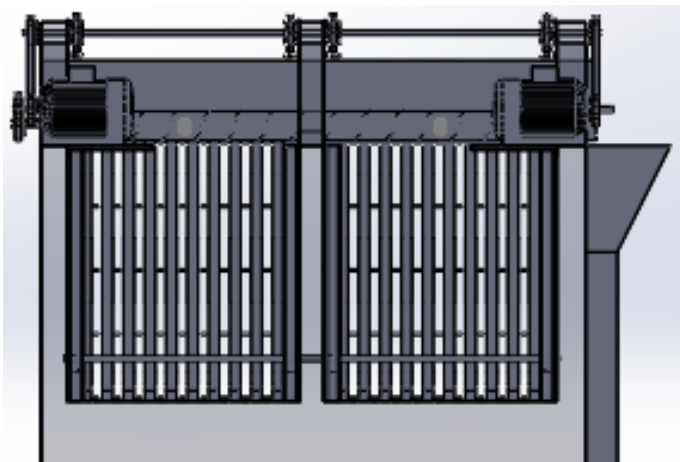
## Anexo I. Dimensiones de la tolva de extracción



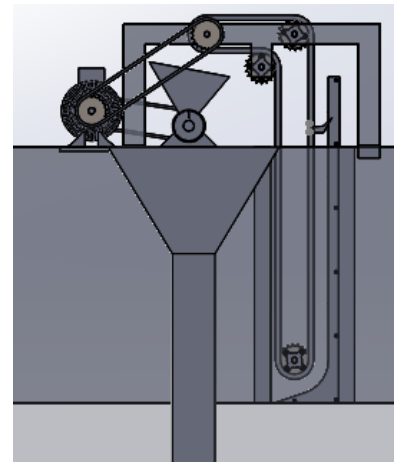
## Anexo J. Simulación del sistema



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

VISTA ISÓMETRICA

