

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE ADUCCION DE LA  
GRANJA DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**DIANA MARCELA CABRERA ARGUELLO**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2012**

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DEL SISTEMA DE ADUCCION DE LA  
GRANJA DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**DIANA MARCELA CABRERA ARGUELLO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero  
Agrícola**

**Director:  
GILBERTO ALVAREZ LINARES**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2012**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

Firma del Director  
**GILBERTO ALVAREZ LINARES**  
Esp. Irrigación

---

Firma del Jurado  
**MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO**  
Esp. Irrigación

---

Firma del Jurado  
**JAIME IZQUIERDO BAUTISTA**  
MSc. Ingeniería Civil

Neiva, Noviembre 2012

## DEDICATORIA

Dedico el proyecto de grado a Dios todopoderoso, por darme la bendición de hacer un sueño una realidad. A mi mamita linda quien me dio la vida y desde la eternidad me ha iluminado, a mi hijo Pablo Andrés quien es mi orgullo y el motor de mi vida, a mi papa Laureano Cabrera a quien quiero mucho, a mis Hermanas Socorro, Patricia, Francy y Maira quienes aportaron un granito de arena para hacer esto un logro y en especial a mi más conocido padrino Ingeniero Carlos Julio Rivera quien es el complemento de mi papa, quien me guio y apoyo moralmente durante este proceso y me enseñó a ver y enfrentar la vida de manera sensata enseñándome la frase “no hay que llegar primero, sino que hay que saber llegar”.

DIANA M.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de manera especial a mi Profesor, consejero, amigo y director Gilberto Alvares Linares, por su gran apoyo y colaboración durante el proceso de formación a nivel personal y profesional además el aporte que trasmite a este trabajo.

A todos y cada uno de los Profesores que compartieron y me aportaron su conocimiento, a mis compañeros y amigos adquiridos en esta corta y muy importante etapa de mi vida.

A Diana Katherine Correa quien me brindo su amistad de manera incondicional y desinteresada, por sus buenos consejos y su apoyo.

A los jurados del proyecto, profesores Miguel German Cifuentes y Jaime Izquierdo por su colaboración y acompañamiento en el presente trabajo.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	13
INTRODUCCION.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. MARCO TEORICO.....	18
2.1. SISTEMA DE ADUCCION.....	18
2.1.2 Operación y Mantenimiento del Sistema de Aducción.....	18
2.2 CONDUCCION.....	19
2.3 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES.....	19
2.3.1 Método del flotador.....	19
2.3.1.1 Determinación de la velocidad.....	20
2.3.1.2 Determinación del área del canal.....	20
2.3.1.3 Determinación del caudal.....	20
2.3.2 Método Volumétrico.....	21
2.3.3 Método De La Trayectoria.....	21
2.4 CAJA DISIPADORA DE ENERGÍA.....	22
2.5 DISEÑO DE CANALES DE RIEGO.....	25
2.5.1 Ecuación de Manning.....	26
2.5.2 Trazado de curvas simples de canales de riego.....	27
2.6 AFORADOR PARSHALL.....	28
3. METODOLOGÍA.....	31
3.1 Ubicación general y características del área de estudio.....	31
3.2 Trabajo en campo.....	32
3.3 Trabajo en oficina.....	32
4. RESULTADOS.....	34
4.1 Línea de Aducción.....	34
4.2 Diseño del aforador Parshall No1.....	35
4.3 Cajillas de inspección.....	37
4.3.1 Diseño de tapas de las cajillas.....	39
4.3.2 Muestra de calculo cajilla No1.....	40
4.4 Diseño de encofrados.....	42
4.4.1 Calculo de hierros.....	43
4.5 Cárcamo.....	45

4.6 Sistema de Conducción	pág. 46
4.6.1 Caseta de bombeo.....	46
4.6.2 Tubería Conducción al riego superficial.....	46
4.7 Sistema de Distribución.....	46
4.7.1 Caja disipadora de energía.....	46
4.7.2 Diseño Caja disipadora de energía y distribución.....	47
4.7.3 Canal oriental.....	47
4.7.4 Determinación del caudal del Canal Oriental.....	48
4.7.5 Diseño del Canal Oriental.....	49
4.7.6 Diseño de la sección del canal.....	49
4.7.7 Diseño de las semicajillas de recibimiento.....	52
4.7.8 Diseño de la curva simple.....	52
4.7.9 Diseño de la cajilla de distribución: .....	53
4.7.10 Aforador Parshall No2.....	54
4.8 Diseño de revestimiento de la sección del canal Occidental.....	54
5. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	55
5.1 Concretos.....	55
5.2 Morteros.....	56
5.3 Estructuras.....	57
5.4 Canales.....	60
6. PRESUPUESTO.....	61
7. CONCLUSIONES.....	62
8. RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFIA.....	64
ANEXOS.....	66

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Caudal en litros/segundo (L/s) para varios diámetros de tuberías.....	22
<b>Tabla 2.</b> Características de los tanques de quiebre de presión.....	23
<b>Tabla 3.</b> Relación entre radios mínimos de la curvatura y el caudal en circulación. ....	27
<b>Tabla 4.</b> Caudal aforado en función de la lamina de agua en la garganta.....	35
<b>Tabla 5.</b> Dimensiones estándar en cm del aforador Parshall W=9".....	36
<b>Tabla 6.</b> Dimesiones de las tapas de las cajillas de inspección.....	39
<b>Tabla 7.</b> Altura de la lámina de agua y velocidades estimadas.....	48
<b>Tabla 8.</b> Iteraciones de las dimensiones de la sección del canal.....	50
<b>Tabla 9.</b> Características finales de diseño canal oriental. ....	51
<b>Tabla 10.</b> Costos de mano de obra por cuadrillas.....	55
<b>Tabla 11.</b> Análisis de precios para 1m <sup>3</sup> de concreto ciclópeo.....	55
<b>Tabla 12.</b> Análisis de precios para 1m <sup>3</sup> de concreto simple de 2500 PSI.....	56
<b>Tabla 13.</b> Análisis de precios para 1m <sup>3</sup> de Mortero 1:3.....	56
<b>Tabla 14.</b> Análisis de precios de un Aforador Parshall.....	57
<b>Tabla 15.</b> Análisis de precios de una tapa de las cajillas.....	57
<b>Tabla 16.</b> Análisis de precios del encofrado de la tubería por cada 3ml.....	58
<b>Tabla 17.</b> Análisis de precios reparación de la tubería de aducción.....	58
<b>Tabla 18.</b> Análisis de precios del rediseño cajilla disipadora de energía.....	59

	<b>pág.</b>
<b>Tabla 19.</b> Análisis de precios de una cajilla de recibimiento y/o distribución..	59
<b>Tabla 20.</b> Análisis de precios por metro lineal de canal oriental.....	60
<b>Tabla 21.</b> Análisis de precios por metro lineal de canal occidental.....	60
<b>Tabla 22.</b> Presupuesto requerido para la construcción del proyecto.....	61

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Medidas necesarias para determinar el área aproximada de un canal.....	20
<b>Figura 2.</b> Medición de caudales utilizando un balde y un cronómetro.....	21
<b>Figura 3.</b> Medición de caudal en una tubería llena horizontal, utilizando el método de la trayectoria.....	21
<b>Figura 4.</b> Tanque para quiebre de presión. Vista en planta. ....	25
<b>Figura 5.</b> Tanque para quiebre de presión. ....	25
<b>Figura 6.</b> Propiedades geométricas de la secciones de un canal.....	26
<b>Figura 7.</b> Factores geométricos en el diseño de curvas de canales.....	27
<b>Figura 8.</b> Vista en Planta y corte transversal L-L de una Canaleta Parshall.....	29
<b>Figura 9.</b> Ubicación de la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana.....	31
<b>Figura 10.</b> Grafica del gasto para un aforador Parshall de 22,86 cm de ancho de garganta (W). ....	35
<b>Figura 11.</b> Aforador Parshall de W=9”.....	37
<b>Figura 12.</b> Diagramas de cortante y momento de las tapas de las cajilla.....	41
<b>Figura 13.</b> Diseño de las tapas de las cajillas.....	42
<b>Figura 14.</b> Propuesta de diseño para semiencofrado de la tubería de aducción.....	42
<b>Figura 15.</b> Distribución de las varillas de viga de soporte del Semiencofrado.....	45
<b>Figura 16.</b> Modelo de readecuación cajilla disipadora.....	47

**pág.**

<b>Figura 17. Propuesta para diseño viaducto canal oriental.....</b>	<b>53</b>
--	-----------

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>ANEXO A.</b> Constancia del caudal asignado a la granja experimenta de la Universidad Surcolombiana.....	66
<b>ANEXO B.</b> Registro fotográfico salida de campo. ....	67
<b>ANEXO C.</b> Datos levantamiento topográfico del perfil de la tubería de aducción. ....	69
<b>ANEXO D.</b> Datos aforo caudal entrante al cárcamo.....	71
<b>ANEXO E.</b> Cuantías requeridas para el diseño de estructuras de concreto. ....	72
<b>ANEXO F.</b> Número de varillas y cantidad requerida según As.....	73
<b>ANEXO G.</b> Planos. ....	74

## RESUMEN

Este trabajo inicia con el reconocimiento y levantamiento topográfico del sistema de aducción de la Granja experimental de la Universidad Surcolombiana, para determinar las falencias que se presentan y las necesidades en estructuras hidráulicas que se requieran. Se realizan pruebas de entrada de caudal para corroborar si es la cantidad que costea la administración de la Universidad.

Se plantea el diseño para la construcción de dos aforadores Parshall para estimar el caudal entrante a la Granja, la reconstrucción de las tapas de catorce cajillas de inspección y una solución a la inseguridad de las tuberías mediante una estructura de estabilidad.

Así mismo, se propone la adecuación de la cajilla de recibimiento y distribución de caudal para mitigar los costos de la construcción de una estructura totalmente nueva. Por ultimo, se realiza el diseño de una sección trapezoidal para el canal oriental, y una sección rectangular para el canal occidental. El trabajo se complementa con la elaboración de los planos y el presupuesto de las obras planteadas.

Palabras claves: Sistema de aducción, estructuras hidráulicas, diseño de canales.

## **ABSTRACT**

Is work begins with the recognition and mapping system adduction Experimental farm Surcolombiana University to determine the weaknesses and needs of in hydraulic structures required. Entrance tests of water are conducted to confirm whether flow is the amount that pays the university administration.

We propose the design for the construction of two Parshall flumes to estimate the inflow to the Farm, the reconstruction of the covers of the fourteen inspection deposit boxes and a solution to the insecurity of the pipes by a structure of stability.

Furthermore, we propose the adaptation of the reception box, hosting and distribution of flow to mitigate the costs of building an entirely new structure. Finally, the design is performed in a trapezoidal section to the east channel, and a rectangular section for western channel. The work is complemented by the development of planes and the budget of the works proposed.

Keywords: adduction system, hydraulic structures, channel design.

## INTRODUCCION

El desarrollo económico del país está ligado íntimamente a su producción agrícola y ésta a su vez condicionada a la disponibilidad de suelo y a la relativa escasez o abundancia de agua para regar las áreas de cultivo. Ante este reto, es urgente adelantar, en primer lugar una gestión ambiental que contribuya al desarrollo sostenible de los recursos hídricos y en segundo lugar, proyectar el control y la mitigación de los impactos negativos ambientales y económicos que se generan durante la operación de los programas de adecuación de tierras y distritos de riego, buscado consenso entre todos los actores y elementos que intervienen.

Dentro del sector agrícola las obras de ingeniería para el regadío, que van desde el sistema de captación y aducción, conducción y obras de control, son importantes para el manejo adecuado de los recursos que provee la naturaleza, en un ambiente donde empiezan a escasear o tener dificultad para la obtención de los mismos, se hace indispensable la aplicación de metodologías y la implementación de elementos y estructuras eficientes para la inspección e intervención en el momento de la explotación y administración que den como resultado una rentabilidad económica y ambiental del entorno y así minimizar los inconvenientes que se presenten a corto y largo plazo en un área de desarrollo agrícola.

El sistema de aducción adoptado en la granja de la universidad presenta un sin número de inconvenientes debido a el mal estado de algunas de las instalaciones en parte por a caducidad de su tiempo de vida útil, y por otro lado a sus parámetros de diseño u operación inadecuados de algunos elementos, limitaciones de capacidad de obtención, conducción y almacenamiento y dificultades en la regulación y control de caudal.

En este contexto, el sistema de aducción para el riego por superficie utilizado en la granja tiene muchos inconvenientes por las pérdidas de agua en la conducción y se hace necesario realizar los cálculos para un redimensionamiento de los canales, cálculo de la cantidad de obra para el revestimiento y un adecuado presupuesto que plasme la inversión que se tendría que hacer para aprovechar el recurso hídrico en la granja, además, se hace necesario diseñar estructuras de aforo y reparto para poder cuantificar la cantidad de agua que ingresa al centro experimental para un mayor control de la utilización efectiva del agua.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión adecuada de los recursos naturales renovables es un concepto que ya está tomando auge dentro las políticas generales para un desarrollo sostenible, donde toma importancia el uso racional del agua a partir diversos campos que van desde diseños de acueductos para el agua de consumo en los hogares hasta el gasto y el manejo que se le brinda en las labores de regadío en los sistemas de producción agrícola. Es aquí donde las actividades y la infraestructura de la Granja de la Universidad Surcolombiana presentan falencias para el adecuado aprovechamiento de este importante recurso renovable pero limitado.

Diferentes a las pérdidas de agua y energía que se generan obligatoriamente por la rugosidad de la tubería y condiciones de la topografía en el trayecto de aducción en un proyecto de abastecimiento de agua, se pueden llegar a tener pérdidas significativas de caudal como ha sucedido en distritos de riegos a pequeña escala de la región donde por falta de labores de mantenimiento de las estructuras que intervienen las condiciones de flujo como cajillas de inspección, han provocado en algunas ocasiones la obstrucción parcial de la tubería y el derroche de cantidades considerables del líquido, y hasta el taponamiento total del ducto dejando como resultado el rompimiento de la tubería.

Inicialmente, la Granja Experimental no cuenta con un sistema de control que le permita cuantificar aproximadamente los volúmenes de agua que ingresan a ésta para estimar un costo económico de caudal unitario obligando a pagar un consumo real desconocido facturado por el distrito de riego Asojuncal, entidad encargada de suministrar el servicio. Seguidamente, el sistema de aducción principal ha cumplido años de funcionamiento y está sometido en algunos sectores a condiciones de la intemperie haciéndolo más vulnerable a algún inconveniente que le genere daño alguno.

Cerca del 70 % del área cultivable de la granja es irrigada por gravedad a través de una serie de canales sin algún revestimiento siendo así elevadas las pérdidas por infiltración debido a la textura gruesa característica de los suelos de la granja (Franco Arenosa, Mujica y Perdomo, 2009). Además, el deterioro de la sección geométrica en los canales ayuda a que existan escapes de agua y permita pérdidas por escorrentía, transportando menos volumen de agua de la requerida por los cultivos implementados lo que conlleva a que se requiera una mayor frecuencia de riego y generando una baja eficiencia de aplicación.

El punto de inicio de distribución del agua a estos canales es una estructura de forma rectangular que de cierta forma ayuda a disipar la energía con la que llega el flujo de la tubería de aducción. Ésta estructura, ineficiente desde el punto de vista que no se cuenta con un sistema de control de salidas para la repartición de

caudales, lo que hace arbitrario la cantidad de agua que se dirige hacia los diferentes lotes y lagos que también de aquí se alimentan.

Por lo anterior, el sistema de aducción por tuberías y canales hacia los predios de la Granja Experimental puede presentar una serie de inconvenientes que minimizan la eficiencia en el transporte del agua lo que genera pérdidas económicas significativas y sobre todo un derroche del recurso de prioridad como el agua. En este contexto, es necesario realizar una evaluación hidráulica de las estructuras encargadas de la aducción para plantear de alternativas que mitiguen los problemas hallados, calcular si es necesario el redimensionamiento de los elementos y el diseño de estructuras de aforo y de distribución para lograr estimar empíricamente la cantidad de agua que ingresa al centro experimental para un mayor control y un uso eficaz.

## **2. MARCO TEORICO**

### **2.1. SISTEMA DE ADUCCION**

Se define línea de aducción en un sistema de acueducto o de riego al conducto que transporta el agua desde la bocatoma o el punto de toma, desde la cámara de derivación, hasta el desarenador. Puede ser un canal abierto o un canal cerrado (tubería), funciona con flujo a superficie libre, excepto en épocas de altas lluvias donde la tubería se llena completamente funcionando a presión (Corcho et al, 2005). El sistema entonces es el conjunto conformado por la línea de aducción junto a los accesorios requeridos como cajas de inspección, válvulas, cámaras de quiebre de presión, etc.

Es competencia del diseñador plantear las alternativas de trazado para la aducción teniendo en cuenta aspectos como: longitud, condiciones geológicas y geomecánicas de los suelos que cruza, actividad sísmica de la zona, usos del suelo por el corredor previsto, tipo y número de cruces que se presentan (vías, fuentes superficiales, humedales, etc.), vegetación predominante en los corredores, infraestructura actual existente a lo largo del trazado y proyectos futuros Previstos. (Ministerio del medio ambiente, 2002).

En la selección del trazado de la aducción, se debe considerar además del análisis económico, caudal y vida útil, los siguientes factores:

- a) Que en lo posible la conducción sea cerrada y a presión.
- b) Que el trazado de la línea sea lo más directo posible de la fuente a la red de distribución.
- c) Que la línea de conducción evite tramos extremadamente difíciles o inaccesibles
- d) Que la línea de conducción esté siempre por debajo de la línea piezométrica más desfavorable, a fin de evitar zonas de depresión que representan un peligro de aplastamiento de la tubería y posibilidad de cavitación.
- e) Evitar presiones excesivas que afecten la seguridad de la conducción.
- f) Que la línea evite zonas de deslizamiento e inundaciones.
- g) Evitar tramos de pendiente y contrapendiente, los que pueden causar bloqueos de aire en la línea.

#### **2.1.2 Operación y Mantenimiento del Sistema de Aducción**

Se debe mantener un control efectivo sobre los sedimentos atrapados en las tuberías de aducción, para el efecto se deben llevar estadísticas sobre la cantidad retenida en las tuberías y el tipo de material producido.

En los casos en que la aducción sea mediante tuberías a presión o canales en los cuales existan tramos por encima de la superficie del terreno, debe verificarse los asentamientos producidos en anclajes y uniones. Se recomienda implementar una ficha de control por cada accesorio que permita llevar en record de los asentamientos producidos con el tiempo, así mismo en los casos donde se hallen zonas inestables llevar un registro fotográfico y control de los desplazamientos observados.

## **2.2 CONDUCCIÓN**

El diseñador deberá fijar actividades de inspección rutinaria a las redes de conducción de agua, de tal manera que se puedan determinar daños en la red o conexiones clandestinas y así mismo fijar su solución inmediata. Estas pérdidas se ven reflejadas en una disminución del caudal en la afluencia al desarenador o el primer punto de llegada y se relacionan directamente con disminución de caudales en la fuente, erosión por escorrentías de agua y aumento de costos de operación.

Se deben realizar inspecciones de rutina que permitan identificar asentamientos en los anclajes de válvulas y accesorios, deslizamientos en el corredor de servidumbre, estado silvicultural de la vegetación y densificación poblacional de la zona, con el ánimo de poder atender convenientemente cualquier situación imprevista que se presente. En las conducciones es fundamental realizar la revisión de la línea piezométrica o gradiente hidráulico a lo largo de las tuberías. Se debe tener un protocolo para la disposición de los residuos generados por las labores de mantenimiento de las tuberías, teniendo en cuenta que en ningún caso se permitirá su descarga directa a las fuentes superficiales.

## **2.3 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES**

Entre los métodos más utilizados para medir caudales de agua, se encuentran los siguientes: método del flotador, método volumétrico y método de la trayectoria.

### **2.3.1 Método del flotador**

El método del flotador se utiliza en los canales, acequias y da sólo una medida aproximada de los caudales. Su uso es limitado debido a que los valores que se obtienen son estimativos del caudal, siendo necesario el uso de otros métodos cuando se requiere una mayor precisión. Para ejecutarlo, se elige un tramo del canal que sea recto y de sección transversal uniforme, donde el agua escurra libremente, (Bello et al, 2000).

Se marca en el terreno la longitud elegida y se toma el tiempo que demora un flotador en recorrerla, con el fin de conocer la velocidad que lleva el agua en esa sección. Como flotador se puede usar cualquier objeto que sea capaz de permanecer suspendido en el agua, como un trozo de madera, corcho u otro material similar, que no ofrezca gran resistencia al contacto con el aire y que se deje arrastrar fácilmente por la corriente de agua (Bello et al, 2000).

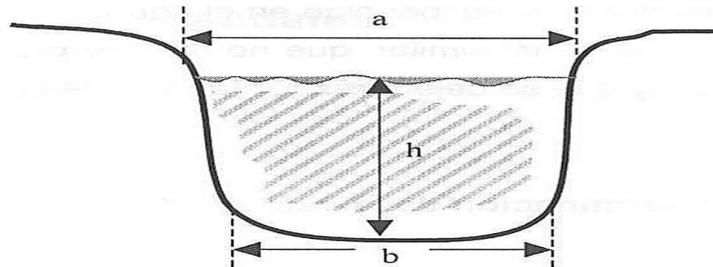
### 2.3.1.1 Determinación de la velocidad

Para conocer la velocidad del agua, deberá dividirse el largo de la sección elegida, en metros, por el tiempo que demoró el flotador en recorrerla, expresado en segundos, como se indica en la siguiente relación:

$$V = \frac{\text{Largo de la sección}}{\text{Tiempo en recorrerla}} = (m/s)$$

### 2.3.1.2 Determinación del área del canal

Se multiplica el ancho promedio del canal por su profundidad, con todas las medidas expresadas en metros (ver Figura 1).



**Figura 1.** Medidas necesarias para determinar el área aproximada de un canal. Fuente: Bello et al, 2000.

La altura "h" se obtiene de un promedio de las alturas de agua a lo largo del canal en el sector elegido.

### 2.3.1.3 Determinación del caudal

Conocida la velocidad (V) del agua y el área (A) del canal, se aplica la siguiente fórmula para calcular el caudal (Q):

$$Q = A \times V$$

Donde:

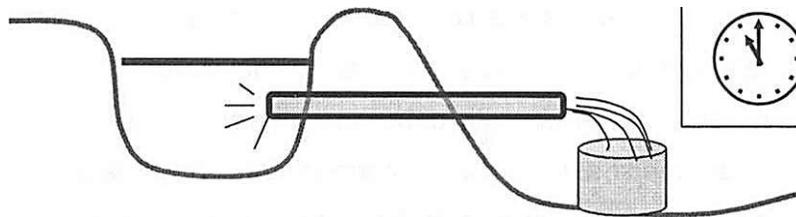
Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s

A = Área del canal en m<sup>2</sup>

V = Velocidad en m/s

### 2.3.2 Método Volumétrico

Este método permite medir pequeños caudales de agua, como son los que escurren en surcos de riego o pequeñas acequias. Para ello es necesario contar con un depósito (balde) de volumen conocido en el cual se colecta el agua, anotando el tiempo que demoró en llenarse. Esta operación puede repetirse 2 ó 3 veces y se promedia, con el fin de asegurar una mayor exactitud (ver Figura 2).

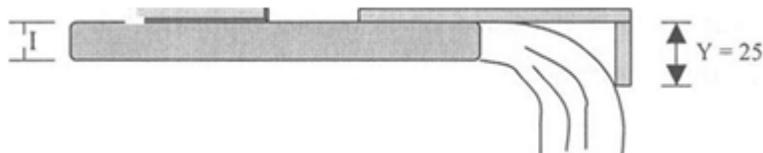


**Figura 2.** Medición de caudales utilizando un balde y un cronómetro. Fuente: Bello et al, 2000.

### 2.3.3 Método De La Trayectoria

Este método es de gran utilidad para el aforo (medición de caudal) en tuberías y bombas. Con él es posible obtener una aproximación aceptable cuando se usa en forma adecuada. La ventaja que presenta es su fácil y rápida operación.

El material que se utiliza es una escuadra, cuya forma se indica en la figura 3 (tubería a nivel). La característica de ella es que uno de sus lados (Y) debe medir 25 cm para poder hacer uso de las tablas que se detallan más adelante.



**Figura 3.** Medición de caudal en una tubería llena horizontal, utilizando el método de la trayectoria. Fuente: Bello et al, 2000.

La medición se realiza desplazando la regla hasta que el extremo inferior (mango) roce el chorro de agua que sale del tubo. El lado "X" de la regla debe quedar paralelo y apoyado en dicho tubo, para medir así la distancia horizontal que hay desde el punto donde el chorro toca la regla, a la boca de salida de la tubería. La tubería debe estar en forma horizontal. Debe cuidarse que no se produzcan curvaturas a lo largo de ella y que la tubería vaya llena de agua.

Es conveniente hacer varias lecturas con el fin de promediar los resultados y obtener una medición más próxima al caudal verdadero. Una vez realizada la medición en la reglilla horizontal "X", se mide el diámetro interno del tubo. Con estos dos valores, se determina el caudal en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Caudal en litros/segundo (L/s) para varios diámetros de tuberías.

Distancia de la trayectoria horizontal en cm (X)	Diámetro de la tubería en pulgadas						
	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
5	0.4	1.0	1.8	2.7	4.0	7.0	11.0
7,5	0.7	1.5	2.6	4.1	5.1	10.6	16.5
10,0	0.9	2.0	3.5	5.5	7.9	14.1	22.0
12,5	1.1	2.5	4.4	6.9	9.9	17.6	27.4
15,0	1.3	3.0	5.3	8.3	11.8	21.2	33.0
17,5	1.5	3.5	6.2	9.6	13.9	24.6	38.6
20,0	1.8	4.0	7.0	11.0	15.8	28.2	44.0
22,5	2.0	4.4	7.9	12.4	17.8	31.6	49.5
25,0	2.2	4.9	8.8	13.8	19.8	35.2	55.0
27,5	2.4	5.4	9.7	15.1	21.8	38.6	60.5
30,0	2.6	5.9	10.6	16.5	23.7	42.3	66.0
35,0	3.0	6.9	12.4	19.2	27.7	49.4	77.0
40,0	3.5	7.9	14.2	22.0	31.7	56.4	88.0
45,0	4.0	8.9	15.7	24.8	35.7	63.5	99.0
50,0	4.4	9.9	17.7	27.5	39.6	70.5	110.0
55,0	4.8	10.9	19.4	30.2	43.6	77.5	121.0
60,0	5.3	11.9	21.2	33.0	47.5	84.5	132.0

Fuente: Bello y Pino, 2000.

## 2.4 CAJA DISIPADORA DE ENERGÍA

La reducción de las altas presiones se puede hacer a través de válvulas reguladoras de presión o por medio de tanques de quiebre de presión. De estos

últimos se han realizado algunos estudios tales como el Tanque para quiebre de presión en tubería, el cual presentó un satisfactorio funcionamiento hidráulico y economía en su construcción.

La experimentación se realizó sobre un modelo construido en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Medellín basado en similitud geométrica y en similitud de Froude. Esta última aplicada al caudal, la presión y las velocidades. Este dispositivo ha presentado un extraordinario funcionamiento por cuanto constituye un buen disipador de energía. La Federación Nacional de Cafeteros ha utilizado con éxito los tanques de quiebre de presión y ha incluido dentro de sus normas de diseño "que cuando la presión estática en el sistema de acueducto supere los esfuerzos de trabajo de los materiales, se debe considerar la utilización de los tanques de quiebre de presión". (Ver figura 4). Este nuevo diseño recomienda dos flautas concéntricas en la tubería de descarga. Se evaluaron seis tanques de quiebre de presión sobre el mismo modelo y se obtuvieron los resultados que se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características de los tanques de quiebre de presión.

Tanque	1	2	3	4	5	6
Caudal Máximo (l/s)	42	25	17	7.5	4.5	3.0
Cabeza de Presión Máxima (c.m.a.)	140	140	140	70	70	70
L(m)	1,40	1,20	1,00	0,70	0,60	0,50
a(m)	1.00	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50
b(m)	0.80	0,60	0,40	0,40	0,30	0,20
c(m)	0,50	0,50	0,50	0,25	0,25	0,25
H(m)	1.20	1,20	1,10	0,60	0,60	0,50
h(m)	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20
P(m)	0.80	0,80	0,70	0,40	0,40	0,35
e(m)	0.10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05
D <sub>i</sub> (pulg)	4	4	3	2	2	½
D <sub>e</sub> (pulg)	8	8	4	4	3	-
L <sub>i</sub> (pulg)	Ver Recomendaciones					
L <sub>e</sub> (pulg)	1,00	1,00	0,90	0,50	0,50	0,45
N <sub>e</sub>	36	35	38	36	35	38
S <sub>i</sub> (m)	0.30	0,50	0,24	15	0,25	0,12
S <sub>e</sub> (m)	0.40	0,50	0,40	20	0,25	0,20
Ø <sub>i</sub> (pulg)	1 ½	1 ½	1	¾	¾	½
Ø <sub>e</sub> (pulg)	1 ½	1 ½	1	¾	¾	½
De (pulg)	6	4	4	3	2	2
Ds (pulg)	6	4	4	3	2	2
H <sub>r</sub> (pulg)	0,90	0,90	0,80	0,50	0,50	0,45

Fuente: Corcho, 2005.

Las dimensiones de las cámaras rompe presión serán de acuerdo con el caudal y la presión de servicio en el punto. Si existen tanques de almacenamiento aguas arriba, los tanques se colocarán con una diferencia máxima de 70 m de presión estática y con flotador.

La tabla anterior muestra las dimensiones de cada tanque, el caudal de diseño y la cabeza de presión que se logra romper sin que se produzcan condiciones adversas en el tanque, donde:

L: longitud total interior del tanque (m).

a: ancho total interior del tanque (m).

b: distancia de la pared de entrada al vertedero interior (m).

c: distancia del vertedero interior a la pared de salida (m).

H: altura total interior del tanque (m).

h: altura del vertedero interior (m).

P: profundidad a la cual debe permanecer el agua para un adecuado funcionamiento. Se logra mediante estrangulación de la válvula de salida (m).

e: espesor del vertedero interior (m).

Di: diámetro de la tubería interior del dispositivo de entrada (pulg.).

De: diámetro de la tubería exterior del dispositivo de entrada (pulg.).

Li: longitud de la tubería interior del dispositivo de entrada (m).

Le: longitud de la tubería exterior del dispositivo de entrada (m).

Ni: número de perforaciones que debe tener el tubo interior del dispositivo de entrada.

Ne: número de perforaciones que debe tener el tubo exterior del dispositivo de entrada.

Si: longitud en la cual se deben distribuir las perforaciones del tubo interior del dispositivo de entrada (m)

Se: longitud en la cual se deben distribuir las perforaciones del tubo exterior del dispositivo de entrada (m).

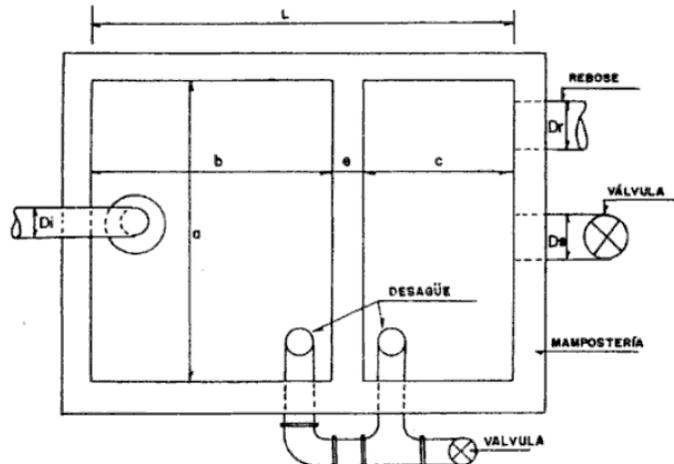
Øi: diámetro de las perforaciones del tubo interior del dispositivo de entrada (pulg).

Øe: diámetro de las perforaciones del tubo exterior del dispositivo de entrada (pulg).

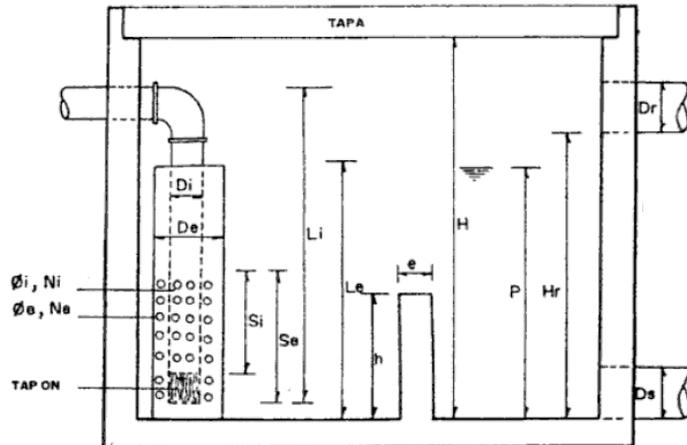
Ds: diámetro de la tubería de salida (pulg).

Dr: diámetro de la tubería de rebose (pulg).

Hr: altura de la tubería de rebose (m)



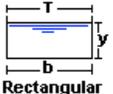
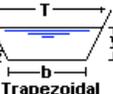
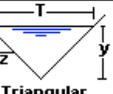
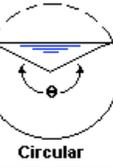
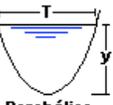
**FIGURA 4.** Tanque para quiebre de presión. Vista en planta. Fuente: Corcho, 2005.



**FIGURA 5.** Tanque para quiebre de presión. Fuente: Corcho, 2005.

## 2.5 DISEÑO DE CANALES DE RIEGO

La sección trapezoidal en un canal para riego es la más usual en el campo; se considera que es muy práctica, de bajo costo y de fácil construcción, facilita el revestimiento y presenta un buen comportamiento hidráulico. (Materón, 1997). Los cálculos para el flujo uniforme se realizan fundamentalmente con las ecuaciones de Manning y de continuidad, tomando como elementos las propiedades geométricas de la sección (Figura 6).

Tipo de sección	Área A (m <sup>2</sup> )	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}) \frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2}) D$ ó $\frac{2y}{2\sqrt{D-y}}$
 Parabólica	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

**FIGURA 6.** Propiedades geométricas de la secciones de un canal.  
 Fuente: Ven Te Chow, 1995.

### 2.5.1 Ecuación de Manning

La Ecuación de Manning es alternativa para dar solución a problemas de flujos en conductos cerrados (tuberías) y canales abiertos, esta es considerada exacta para tuberías de 1 metro de diámetro, siendo muy fiable para la gama de diámetros comprendidos entre 0.40 y 1.30 m. La formula de Manning viene dada por:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

V = velocidad [m/s]

R= radio hidráulico (D/4) [m]

n= coeficiente de rugosidad de manning

S= pendiente de carga de la línea de alturas piezométricas (perdida de carga por unidad de longitud del conducto [m/m])

### 2.5.2 Trazado de curvas simples de canales de riego

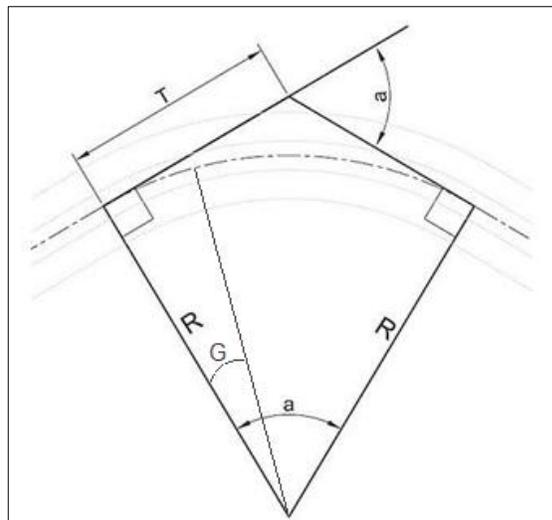
Las curvas circulares simples se definen como arcos de circunferencia de un solo radio que son utilizados para unir dos alineamientos rectos de una vía o un canal. (Cárdenas, 2002). La curvatura permitida en un trazado de un canal para regadío depende de varios factores, tales como la capacidad, velocidad, características del suelo y sección del canal, los cuales deben conjugarse para evitar la erosión en las curvas y el desarrollo de ondas no deseables.

En términos generales, el radio del eje del canal puede estar en el rango comprendido entre 3 y 7 veces el ancho superficial. Otro criterio que se tiene en cuenta para el diseño es según el caudal que se va a transportar, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Relación entre radios mínimos de la curvatura y el caudal en circulación.

Q (m <sup>3</sup> /s)	R mín. (m)
20	100
15	80
10	60
5	20
1	10
0,1	5

Fuente: Materón, 1997.



**Figura 7.** Factores geométricos en el diseño de curvas de canales.

Fuente. Materón, 1997.

Donde:

R = radio de curvatura

a = ángulo al centro

C = cuerda principal

c = cuerda unitaria (5 m, 10 m, 20 m)

T = tangente

G = grado de la curva

L = longitud de la curva

El procedimiento ordinario para trazar un canal se puede resumir así:

1. Elaborar la cartera topográfica con las diferentes coordenadas con los respectivos puntos del trazado.
2. Según el caudal (Q) que transportará el canal, escoger un radio de curvatura ( $R$ ) mínimo.
3. Con el valor de ( $R$ ) mínimo, calcular una tangente ( $T$ ) mínima.
4. Según apreciación del trazado, seleccionar un valor de ( $T$ ) que se ajuste a las condiciones económicas para el propietario del canal y que en ningún momento sufra peligro de erosión
5. Con este último valor de ( $T$ ), calcular un nuevo valor de ( $R$ ) y ( $G$ ) denominado grado de la curvatura.
6. Redondear este valor de ( $G$ ) a un valor de fácil localización, luego recalcular el valor de ( $R$ ) y ( $D$ ), a partir del nuevo valor de ( $G$ ) aproximado. Estos últimos valores son los parámetros para el diseño.

## 2.6 AFORADOR PARSHALL

El aforador Parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal, y consta de cuatro partes principales: una transición de entrada, una sección convergente, la garganta y una sección divergente (Pedroza, 2001). El aforador Parshall es un dispositivo de medición prácticamente experimental, lo que quiere decir que para calcular el gasto se debe recurrir a gráficas experimentales. Sin embargo, se puede utilizar un método analítico por medio de ecuaciones ya definidas cuyas constantes dependen de las características dimensionales del aforador.

En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente. En cualquier parte del aforador,

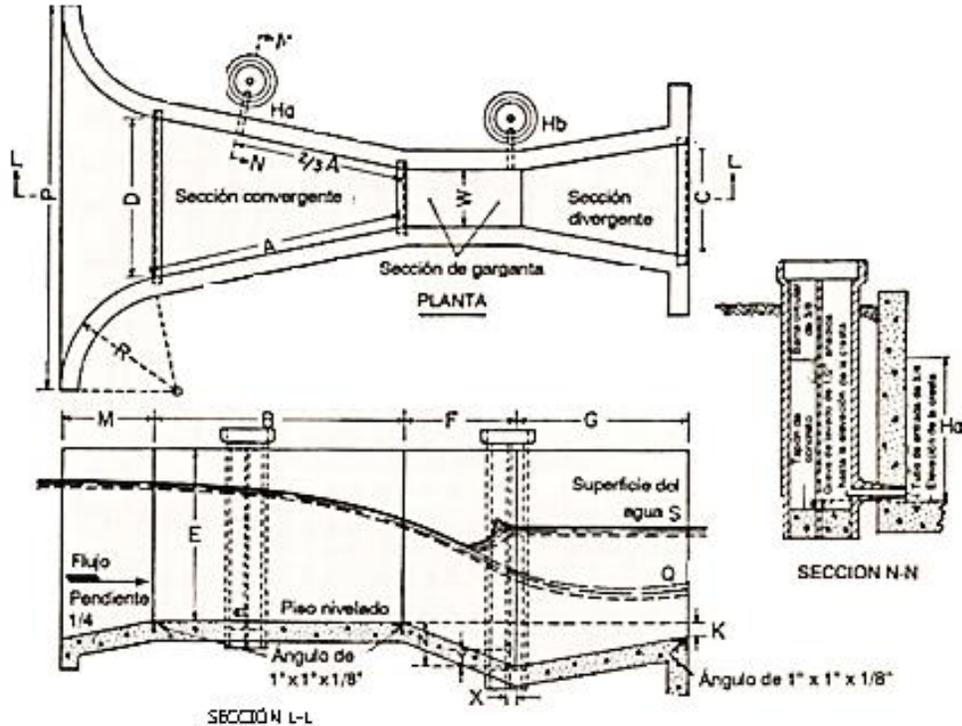
desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección transversal de forma rectangular (Pedroza, 2001).

Mediante una serie de experimentos se probaron aforadores en diferentes dimensiones con diferentes caudales que como resultado arrojaron una serie de medidas estándares y cualquier aforador que se construya actualmente debe apegarse a dichas medidas, ya que los errores de construcción generaran mediciones de flujo erróneas.

Para condiciones de descarga libre el gasto o caudal que transita se puede representar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$Q = C \times H_a^n$$

Donde Q es el gasto, para condiciones de descarga libre;  $H_a$  es la profundidad del agua en una ubicación determinada del aforador; C y n son valores diferentes para cada tamaño de aforador. En función del tamaño del aforador las unidades pueden ser en l/s o  $m^3/s$  para el gasto y en milímetros o metros para la profundidad  $H_a$ .



**Figura 8.** Vista en Planta y corte transversal L-L de una Canaleta Parshall.

Fuente: Ven Te Chow, 1995.

Donde:

w = Tamaño de la canaleta

A= Longitud de la pared lateral de la sección convergente

$\frac{2}{3}A$  = Distancia desde el final de la cresta hasta el punto de medición.

B = Longitud axial de la sección convergente.

C = Ancho del extremo de aguas abajo de la canaleta.

D = Ancho del extremo de aguas arriba de la canaleta.

E = Profundidad de la canaleta.

F = longitud de la garganta.

G = Longitud de la sección divergente.

K = Diferencia de nivel entre el punto más debajo de la canaleta y la cresta

m = Longitud del fondo de la aproximación

N = Profundidad de la presión en la garganta debajo de la cresta.

P = Ancho entre los extremos de las paredes curvadas.

R = Radio de curvatura de las paredes curvas.

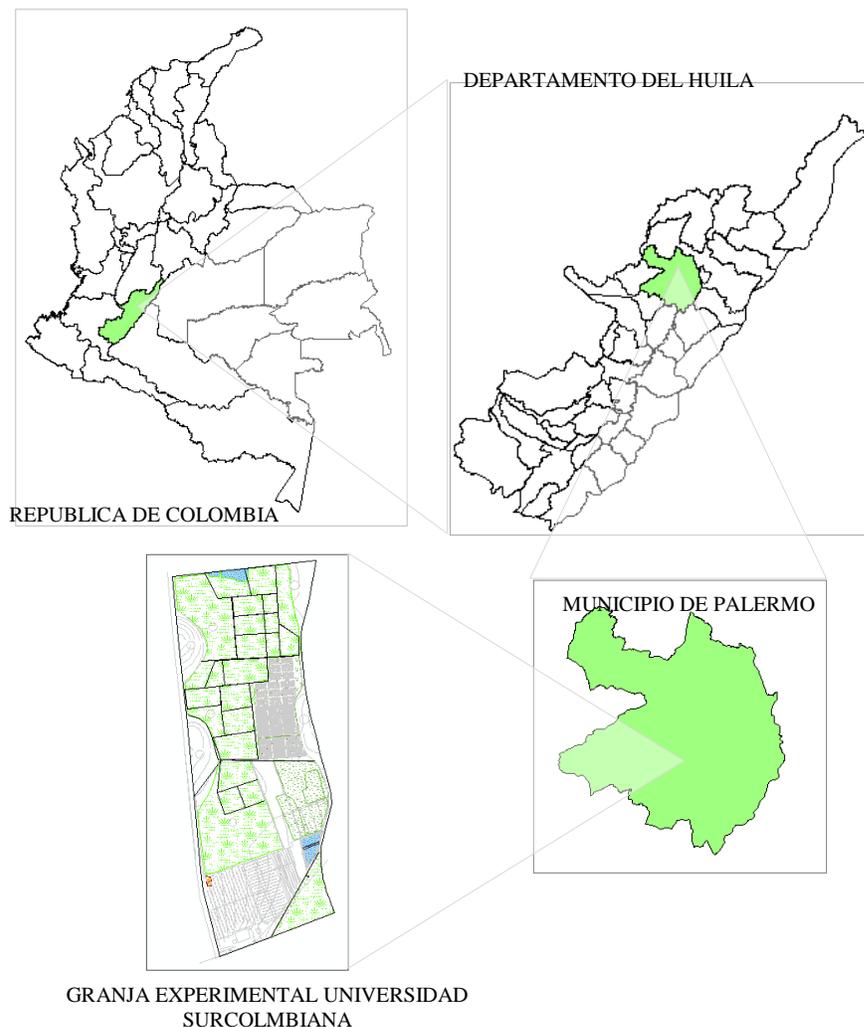
X= Distancia horizontal desde el punto más bajo de la garganta hasta el punto de medición Hb.

Y = Distancia vertical desde el punto más bajo de la garganta hasta el punto de medición Hb

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Ubicación general y características del área de estudio

La Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana se ubica sobre los 2°53'8,97" latitud norte y 75°18'25,64" longitud oeste y es una de las zonas beneficiadas por el distrito de Riego Asojuncal, en el municipio de Palermo, Departamento del Huila, distante 9 kilómetros de la ciudad de Neiva.



**Figura 9.** Ubicación de la Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana. Fuente. Cabrera, 2012.

Con una temperatura media de 26°C, el predio cuenta con una extensión de 30 hectáreas, de las cuales 16 hectáreas (53,3%) son utilizadas para el cultivo de

arroz y se riegan por métodos de gravedad; 3 ha (10%) en mango, 2,5 ha (8,3%) en moringa de las cuales solo 0,8 ha se han sembrado; 2 (6,6%) ha destinadas para implementar Jatrofa, y 0,5 (1,6%) ha en cítricos, todos estos con sistemas de riego a presión.

La textura predominante en los suelos de la granja son los Franco arenoso "FA" a Arenoso franco "AF", la retención de humedad es baja (CC = 20.5%, PMP = 14.2%), la densidad aparente es alta ( $D_a = 1.71 \text{ gr/cm}^3$ ) asociada a procesos de compactación, disminución del espacio poroso por sobremecanización y el monocultivo (Olaya, 2007, citado por Mujica Y Perdomo, 2009).

### **3.2 Trabajo en campo**

Se realiza un recorrido donde se toma como sitio de partida el punto de abastecimiento de agua sobre el canal C4 del Distrito Asojuncal, el cual incluye un reconocimiento del estado actual cada una de las estructuras que conforman el sistema de aducción para la Granja, complementado con un registro fotográfico y toma de dimensiones requeridas para los diseños que se tracen en la propuesta de esta investigación; llegando finalmente, sobre los 130 metros del canal oriental donde termina esta actividad.

Por medio del nivel de precisión NIKON DTM-410 y una mira topográfica se realiza el levantamiento topográfico de los perfiles del trayecto de la aducción y de los 130 primeros metros canal oriental.

Para estimar el caudal aproximado que llega al cárcamo de succión por parte de las bombas para el riego a presión y el riego por gravedad, se utiliza una mira topográfica colocada sobre el fondo del cárcamo con el ingreso de agua suspendido inicialmente para luego permitir la entrada de caudal y de acuerdo al cambio del nivel del agua y el área superficial del cárcamo, se establece el volumen que llega al mismo en determinado intervalo de tiempo.

Para hallar el caudal que transporta el canal oriental se utiliza el método del flotador adecuando la sección del canal a una forma geométrica trapezoidal en una longitud de tres metros.

### **3.3 Trabajo en oficina**

Recolectada la información se procede a digitalizar y ordenar los datos para realizar los respectivos cálculos de diseño.

**Diseño de Canales Abiertos.** Se diseña y calcula las dimensiones de la sección del canal oriental donde se involucra también el diseño de una curva simple, siguiendo la metodología de Ven te Chow 1995, utilizando la ecuación de Robert Manning. Para el trayecto de canal occidental construido sobre un relleno artesanal se propone un diseño que contrarreste la inestabilidad que presenta en la actualidad.

**Diseño de las tapas de la cajillas.** Las tapas se diseñan como una pequeña losa soportada en dos direcciones, mediante la metodología expresada por Jorge Segura, 1999.

**Diseño caja disipadora de energía.** Para el rediseño de la caja disipadora se consulta la metodología de Fredy H. Corcho, adecuando los elementos al máximo a las dimensiones de la cajilla que existe hoy en día.

**Elaboración de planos.** Con la información retomada en campo se elaboran los planos respectivos al trayecto del sistema de aducción y de los diseños propuestos, todos generados en AutoCAD 2010.

**Cantidades de obra.** Con la elaboración de los planos de los diseños respectivamente acotados se determina la cantidad de material requerido para cada obra civil, con el fin de determinar el costo de su construcción.

**Análisis de precios unitarios.** Se determina el costo de las obras por unidad de construcción.

**Presupuesto.** Con las cantidades de obra establecidas y los precios unitarios se determina el costo total de las propuestas del proyecto.

## 4. RESULTADOS

El sistema de aducción para el suministro de agua para el riego de la granja de la universidad presenta falencias en el recorrido desde el punto de toma el canal lateral 4C hasta vertimiento en la caja distribuidora; se observan problemas por falta de mantenimiento, inexistencia de algunas estructuras de protección, control y regulación, pérdidas de caudal por escape e infiltración.

### Captación

El control para la toma de agua para el abastecimiento principal de los sistemas de riego en el canal C4 se realiza por medio de una compuerta deslizante operada mecánicamente (Fotografía 1, Anexo B). Se encuentra en buen estado y es manipulada por funcionarios del distrito de riego ASOJUNCAL cuando se solicita abasto de agua por parte de la administración de la Granja. Realmente no se conoce el caudal exacto que oferta para la granja cada vez que se abre la compuerta debido a la ausencia de una estructura para la medición de éste. Para contrarrestar este inconveniente se propone el diseño de un aforador Parshall en el kilometro 0+50m para cuantificar el caudal suministrado por el Distrito.

### 4.1 Línea de Aducción

Desde el punto de toma hasta el cárcamo de succión del agua por parte de las motobombas, el fluido se transporta por una tubería de A.C de 8" de diámetro subdividida en tramos separados por 14 cajillas de inspección. La tubería inicia enterrada en el suelo hasta el k0+616m (Fotografía 2, Anexo B), continúa a la cajilla No 5, en donde sobresale a la superficie. En este punto la tubería presenta una grieta que permite el escape y pérdida de agua (Fotografía 3, Anexo B).

La tubería que está a la intemperie se encuentra soportada en unos pequeños soportes de concreto a 25 cm aproximadamente del piso y anclada a ellos por medio de unas semicorreas de hierro (Fotografía 4, Anexo B)., sin embargo, algunas están sueltas y conlleva a que la tubería pueda soltarse, desviarse y finalmente sea arrancada debido a la presión. Se observa a simple vista el deterioro de la vida útil del conducto, especialmente en las zonas donde se encuentra expuesta al exterior, soportando las condiciones de sol y lluvia.

## 4.2 Diseño del aforador Parshall No1

La facilidad de utilizar este tipo de aforador es su estandarización en las dimensiones que dependen del ancho de la garganta y caudal a calcular. Para observar que el caudal entrante sea de 30 l/s el que mejor se ajusta a las necesidades es un aforador Parshall con ancho de garganta de 22,86 cm (9 pulgadas) definiendo su ecuación de gasto por:

$$Q = 0,013762 \times H_a^{1,53}$$

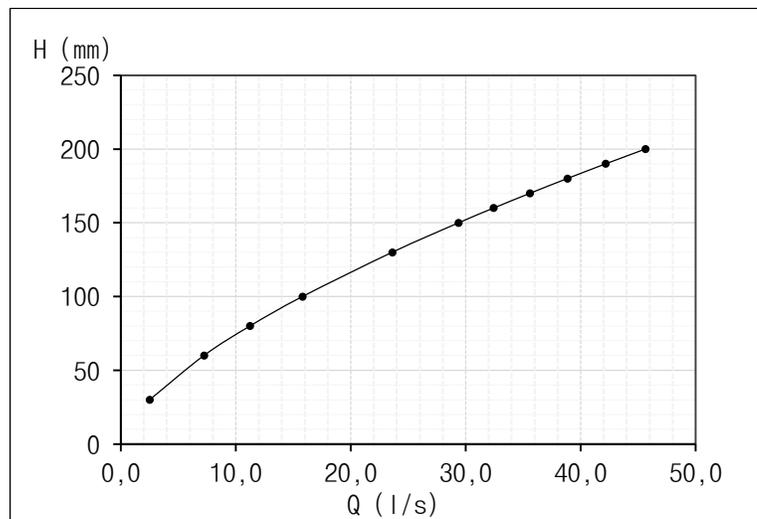
Donde:

Q es el caudal que pasa por el aforador ( $m^3/s$ ).

$H_a$  es la altura que alcanza la lámina agua en la garganta del aforador (mm).

**Tabla 4.** Caudal aforado en función de la lamina de agua en la garganta.

H(mm)	Q(l/s)
30	2,5
60	7,2
80	11,2
100	15,8
150	29,4
160	32,4
170	35,6
180	38,8
190	42,2
200	45,6



**Figura 10.** Grafica del gasto para un aforador Parshall de 22,86 cm de ancho de garganta (W).

En la tabla 5 se muestran las dimensiones estandar del aforador Parshall para este ancho de garganta.

**Tabla 5.** Dimensiones estandar en cm del aforador Parshall W=9”

<b>W</b>	<b>A</b>	<b>a</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>T</b>	<b>G</b>	<b>K</b>	<b>M</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>R</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
22,86	87,9	58,7	86,4	38,1	57,5	76,2	30,5	45,7	76	30,5	114	108	40,6	51	76

Fuente. Pedroza, 2001.

Dónde:

w = Ancho de la garganta

A = Longitud de la pared lateral de la sección convergente

a =  $\frac{2}{3}A$ , Distancia desde el final de la cresta hasta el punto de medición.

B = Longitud axial de la sección convergente.

C = Ancho del extremo de aguas abajo de la canaleta.

D = Ancho del extremo de aguas arriba de la canaleta.

E = Profundidad total de la canaleta.

T = longitud de la garganta.

G = Longitud de la sección divergente.

K = Diferencia de nivel entre el punto más debajo de la canaleta y la cresta

H = Longitud de las paredes de la sección divergente.

M = Longitud la transición de entrada.

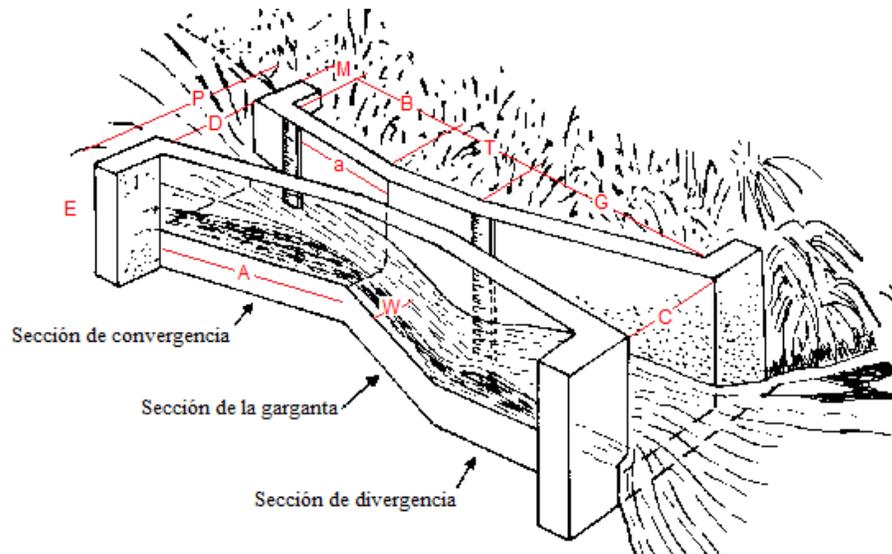
N = Profundidad en la garganta por debajo de la cresta.

P = Ancho entre los extremos de las paredes curvadas.

R = Radio de curvatura de las paredes curvas.

X = Distancia horizontal desde el punto más bajo de la garganta hasta el punto de medición Hb.

Y = Distancia vertical desde el punto más bajo de la garganta hasta el punto de medición Hb



**Figura 11.** Aforador Parshall de  $W=9''$ . Fuente. Scott y Houston, 1959; citado por N.W. Hudson, 1997.

Los muros del aforador Parshall se pueden construir en ladrillo No4 terminados con pañete liso en mortero 1:3. El piso en concreto 1:2:4 (C:A:G) de 4cm de espesor reforzado con varilla corrugada de  $1/4''$  cada 10 cm y 12 cm transversal y longitudinal respectivamente (Ver plano 3).

### 4.3 Cajillas de inspección

Se enumeró un total de 14 cajillas en dirección oeste-este de la tubería de aducción, la mayoría en perfecto estado, algunas parcialmente destruidas. A continuación se describe el estado en que se encuentra cada cajilla de inspección.

**Cajilla No1:** Se encuentra en buen estado, funciona bien. La tapa fue colocada ya que se encontraba en el piso.

**Cajilla No 2:** La cajilla se encontraba destruida (Foto 5, Anexo B) Personas inescrupulosas habían derribado uno de los muros para sustraer agua hacia el predio vecino tapando con un bulto de arena la entrada de la siguiente sección de la tubería desviando la trayectoria del agua. La cajilla de inspección ya fue reparada y tapada. (Fotografía 6, Anexo B).

**Cajilla No3:** La cajilla se encuentra en buen estado, funciona bien. La tapa fue colocada ya que se encontraba en el piso.

**Cajilla No4:** La cajilla se encuentra en buen estado, funciona bien, La tapa fue colocada ya que se encontraba en el piso.

**Cajilla No5:** La cajilla se encuentra en buen estado. A partir de esta cajilla, kilometro + 610, la tubería se encuentra sobre la superficie del suelo, con una pequeña fisura con escape de agua.

**Cajilla No6:** La cajilla se encuentra en condiciones aceptables, no tiene el pañete exterior en las paredes y se observa una ligera fuga a través de uno de los muros. La tapa se encuentra en el suelo.

**Cajilla No7:** Está cajilla presentaba un reboce del agua por una obstrucción en la sección de la tubería que empieza en esta cajilla (Fotografía 7, Anexo B). Se realizaron las labores de mantenimiento y se encontró el taponamiento debido a una rama de palma de coco dentro del ducto la cual fue retirada.

**Cajilla No8:** Cajilla en buen estado pero sin pañete en sus muros interna y externamente.

**Cajilla No9:** La cajilla presenta una buena apariencia, con su respectiva tapa sellada con concreto.

**Cajilla No10:** La cajilla se encuentra en perfecto estado y funcionamiento, pero con su tapa a un lado enterrada por sedimentos.

**Cajilla No11:** La cajilla se encuentra en buen estado y con su tapa puesta, pero requiere labores de remoción de malezas.

**Cajilla No12:** La cajilla tiene el borde de uno de sus muros destruido y su tapa se encuentra prácticamente dañada.

**Cajilla No13:** La cajilla se encuentra en buen estado pero requiere labores de mantenimiento.

**Cajilla No14:** Caja sin tapa pero funcionando bien, requiere labores constantes de remoción de herbazales.

La mayor deficiencia de las cajillas de inspección es la falta de un sistema de seguridad para que impida retirar fácilmente tapas por cualquier persona. El mantener destapadas las cajillas provoca el ingreso al sistema de aducción de material de gran tamaño que puede ocasionar el taponamiento de la conducción. Para evitar dicho inconveniente se plantea el diseño de nuevas tapas de tal manera que puedan ser aseguradas con un candado.

### 4.3.1 Diseño de tapas de las cajillas

Para el diseño estructural las tapas se asumen como una losa apoyada en los bordes, lo cual indica que la zona que tiende a flexionarse es el centro. El sistema de seguridad de las tapas consiste en dejar en el centro una manilla para que sea cruzada por una varilla recta que tiene un doblaje de arco rectangular en su centro de donde se amarra con un candado a la manilla de la tapa. La varilla está sujeta a través de una manilla a lado y lado amarrada a la cajilla, (plano 4).

La tabla 6 presenta las dimensiones ancho y largo de las tapas tomadas en situ y el espesor se define a partir del mínimo permitido en una losa según Segura, 1999:

$$e_{min} = \frac{\text{luz libre en la longitud larga}}{36}$$

La luz libre está en la cajilla 14 con una dimensión en uno de sus lados de 100 cm menos el ancho de los muros (12cm c/u) para un luz libre de 76 cm. Por tanto el espesor mínimo esta dado por:

$$e_{min} = \frac{76 \text{ cm}}{36} = 2,1 \text{ cm}$$

Sin embargo, las tapas se diseñan con un espesor de 4 cm para dar espacio a las varillas de refuerzo.

**Tabla 6.** Dimesiones de las tapas de las cajillas de inspección.

Cajilla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
1	85	85	4
2	82	82	4
3	75	75	4
4	75	75	4
5	84	85	4
6	88	87	4
7	86	85	4
8	85	97	4
9	80	80	4
10	80	83	4
11	75	75	4
12	70	70	4
13	75	75	4
14	78	100	4

### 4.3.2 Muestra de calculo cajilla No1

Se halla las cargas que pueden presentarse sobre las tapas de las cajillas; como carga muerta se determina el peso propio de la tapa en concreto, y como carga viva el peso que puede generar una persona de se pare sobre ella.

Carga muerta (D):

$$Peso\ propio = \gamma_{concreto} \times espesor \times ancho \times largo$$

$$P_p = 24 \frac{KN}{m^2} \times 0,04m \times 0,85m \times 1ml$$

$$P_p = 0,82 \frac{KN}{ml}$$

Carga viva (L):

Se asume que la carga viva que puede llegar a tener una tapa es el peso de las personas (200 Kg).

$$Peso\ personas = 2KN \times 0,85m \times 1ml$$

$$P_{per} = 1,7 \frac{KN}{ml}$$

La carga total según la Norma técnica colombiana sismo resistentes NSR 10 esta dada por:

$$W = 1,4D + 1,7L$$

$$W = 1,4 \times 0,82 \frac{KN}{ml} + 1,7 \times 1,7 \frac{KN}{ml}$$

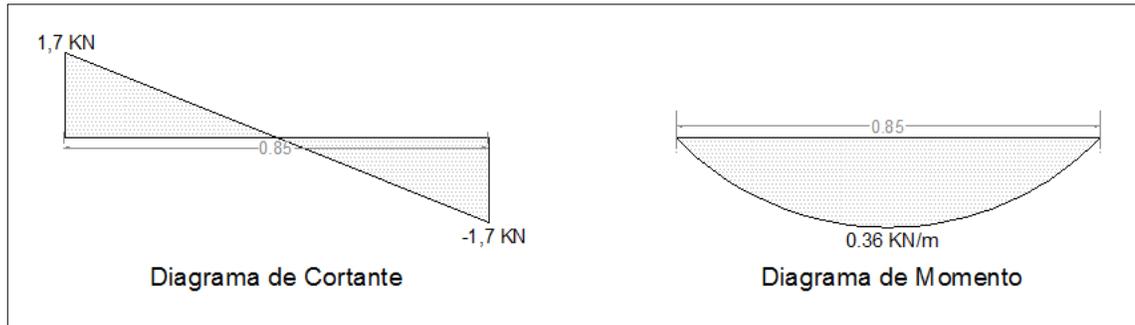
$$W = 4,0 \frac{KN}{ml}$$

Se calcula el momento máximo.

$$M = \frac{WL^2}{8}$$

$$M = \frac{4,0 \text{ KN/ml} \times 0,85^2 \text{ m}}{8}$$

$$M = 0,36 \text{ KN/m}$$



**Figura 12.** Diagramas de cortante y momento de las tapas de las cajilla. Fuente. Cabrera, 2012.

A continuación se halla la cuantía ( $\rho$ ) para determinar el número de varillas requeridas.

$$K = \frac{M}{bd^2}$$

Donde:

M = Momento máximo.

b = ancho del área.

d = espesor del área.

$$K = \frac{0,36 \text{ KN/m}}{0,85 \text{ m} \times 0,04^2 \text{ m}^2}$$

$$K = 264,7 \text{ KN/m}^2$$

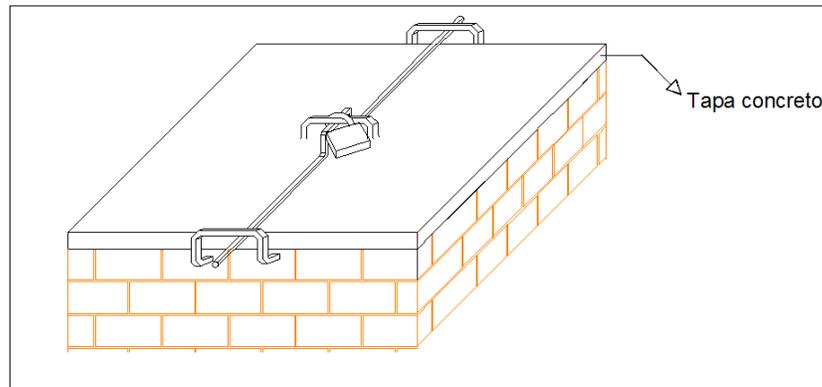
Según la tabla del anexo E, en un concreto de 2000 psi para  $K = 264,7 \text{ KN/m}^2$ , la cuantía es  $\rho = 0,0025$ . Sin embargo la cuantía mínima permitida debe ser de  $\rho = 0,005833$ .

$$A_s = b \times d \times \rho$$

$$A_s = 850 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 0,005833$$

$$A_s = 198 \text{ mm}^2$$

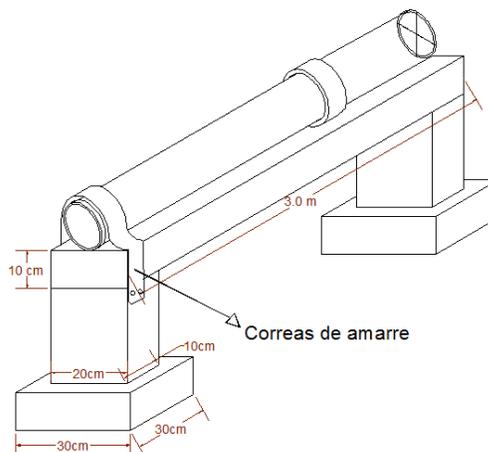
Según el anexo G, para un  $A_s = 198 \text{ mm}^2$  el número de barras que se requieren son: 1#5 o 3#3 o 6#2. Debido a que el área de la sección es amplia se opta por colocar 6 hierros #2 (1/4") cada 15cm (Plano 4).



**Figura 13.** Diseño de las tapas de las cajillas.

#### 4.4 Diseño de encofrados

La propuesta más segura para la protección de la tubería de aducción hacia el cárcamo es el diseño de un sistema de encofrado en los trayectos críticos. Sin embargo, el costo de materiales y construcción es elevado lo que demoraría su posible construcción. Por tanto, se propone el diseño de una viga de sección rectangular que sirva como estructura de soporte. Esta a la vez estaría apoyada sobre soportes en concreto reforzados, (Figura 14).



**Figura 14.** Propuesta de diseño para semiencofrado de la tubería de aducción.

#### 4.4.1 Calculo de hierros

Determinamos la carga muerta se conformada por el peso propio del concreto de la viga en concreto y el peso de la tubería, y como carga viva el peso que del agua que transita por la tubería.

Carga muerta (D):

$$Peso\ propio = \gamma_{concreto} \times espesor \times ancho \times largo$$

$$P_p = 24 \frac{KN}{m^2} \times 0,1m \times 0,2 m \times ml$$

$$P_p = 0,48 \frac{KN}{ml}$$

$$Peso\ tuberia = \gamma_{tuberia} \times largo$$

$$P_t = (0,17 \times 1ml)$$

$$P_t = 0,17KN/ml$$

Carga viva (L):

La carga viva es el peso del volumen de agua que transporta tubería por metros de luz.

$$Peso\ agua = \gamma_{agua} \times V_{tuberia}$$

$$P_a = 10 \frac{KN}{m^3} \times (\pi \times 0,1^2)m \times ml$$

$$P_a = 0,31 KN/ml$$

La carga total según la Norma técnica colombiana sismo resistentes NSR 10 esta dada por:

$$W = 1,4D + 1,7L$$

$$W = 1,4 \times 0,65 \frac{KN}{ml} + 1,7 \times 0,31 \frac{KN}{ml}$$

$$W = 1,43 \frac{KN}{ml}$$

Se calcula el momento máximo.

$$M = \frac{WL^2}{8}$$
$$M = \frac{1,43 \text{ KN/ml} \times 3,0^2 \text{ m}^2}{8}$$
$$M = 1,60 \text{ KN/m}$$

A continuación se halla la cuantía ( $\rho$ ) para determinar el número de varillas requeridas.

$$K = \frac{M}{bd^2}$$

Donde:

M = Momento máximo.

b = ancho del área.

d = espesor del área.

$$K = \frac{1,60 \text{ KN/m}}{0,2\text{m} \times 0,1^2 \text{ m}^2}$$
$$K = 800 \text{ KN/m}^2$$

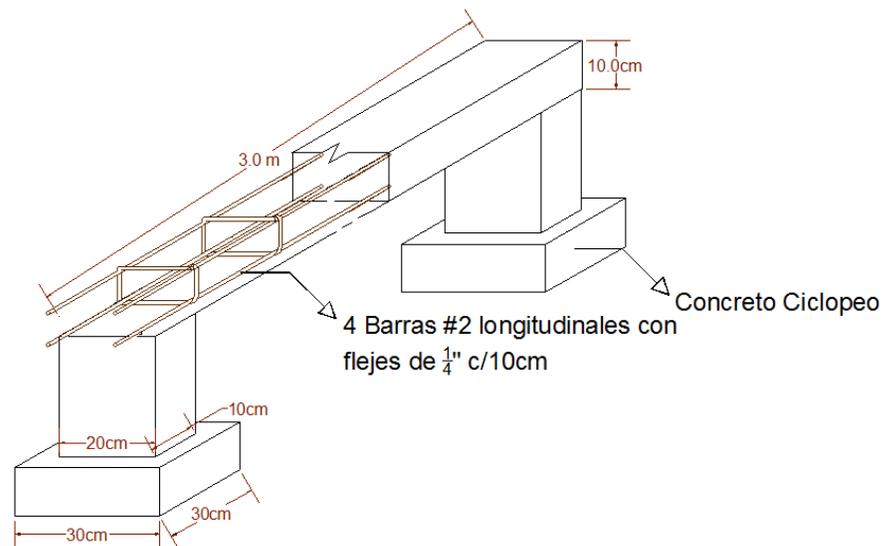
Según la tabla del anexo F, en un concreto de 2000 psi para  $K = 800 \text{ KN/m}^2$ , la cuantía es  $\rho = 0,0040$ . Sin embargo utilizamos valor de la cuantía mínima 0,005833.

$$A_s = b \times d \times \rho$$

$$A_s = 200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 0,005833$$

$$A_s = 116,66 \text{ mm}^2$$

Según el anexo G, para un  $A_s = 116 \text{ mm}^2$  el número de barras que se requieren son: 4#2. (Figura 15 y Plano 5).



**Figura 15.** Distribución de las varillas de viga de soporte del semiencofrado.

#### 4.5 Cárcamo

A ésta estructura llega no solo el agua proveniente del canal C4 sino también el agua proveniente de descoles de lotes circunvecinos por medio de un canal (ver foto 8, Anexo B), lo que produce el ingreso de sedimentos de tamaño considerable, además del material que puede llegar a caer al interior del cárcamo por los residuos que están alrededor. El cárcamo estructuralmente presenta buena apariencia. Para evitar el daño o taponamiento en la poma de la manguera succión de la bomba se ha instalado una malla metálica que detiene los sedimentos mencionados.

Después de realizar tres aforos en fechas diferentes por el método volumétrico " $Caudal = \Delta Volumen / tiempo (m^3/s)$ " para conocer la cantidad de agua que ingresa por tubería desde el canal C4 (ver anexo D), se determinó un caudal medio de aproximadamente de 26 l/s, es decir, la granja está recibiendo 4 l/s menos del líquido del que están costeando actualmente, o 10 l/s menos de las asignadas en el año 2008 por el Distrito de adecuación de tierras de mediana escala El Juncal (ver anexo A).

Se encontró que en ocasiones cantidad de agua que ingresa al cárcamo proveniente solo del canal C4 no puede abastecer las necesidades de las bombas, por lo que actualmente se requiere dejar que el agua de descoles ingrese al cárcamo y así compense la necesidad de caudal requerido por las bombas.

## **4.6 Sistema de conducción**

### **4.6.1 Caseta de bombeo**

La caseta de bombeo localizada en predios del señor José Yesid Gonzales tiene problema de acceso por falta de trayecto de la servidumbre pues se invade con cultivo presenta un funcionamiento aceptable, sin embargo se precisa de la implementación de un sistema perimetral de seguridad que impida el acceso a los alrededores del lugar en donde se encuentra el cárcamo. Es indispensable labores de mantenimiento periódico del sitio.

### **4.6.2 Tubería Conducción aérea o superficial**

La tubería de A.C en 6 pulgadas con longitud de 21,25 m que conduce el caudal de agua para el abastecimiento del riego por canales ya exhibe su años de vida útil, durante la inspección se encontraron dos fisuras que provocaban un pequeño escape del fluido (ver foto 9 Anexo B) que generan pérdidas de caudal bombeado hacia la cajilla disipadora de energía. En el trayecto de entre los 50 y 250 metros presenta un delicado problema debido a arboles (palmas de coco, mangos, anón) de mediano tamaño que inescrupulosamente sembraron sobre el suelo que cubre el conducto y que están en etapa de crecimiento por lo que sus raíces ya están creando rupturas en la tubería (ver foto 10 Anexo B)

Se relaciona en el presupuesto el costo del material requerido para el cambio de los 21 primeros metros desde la salida de la caseta. Las cuales son en H.F presentando grandes fugas.

## **4.7 Sistema de Distribución**

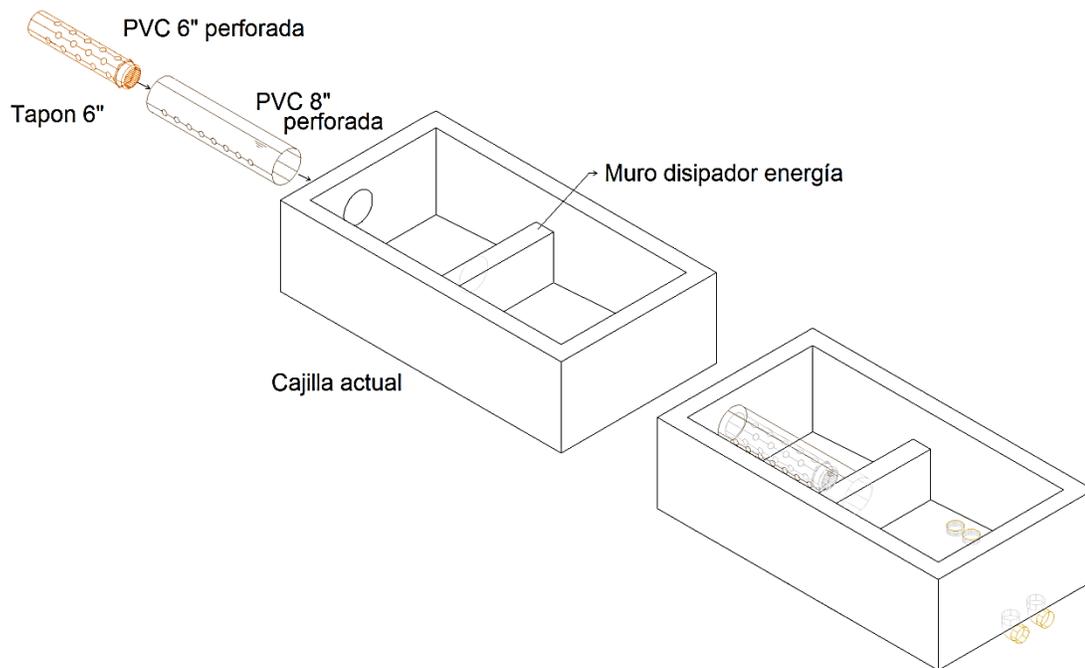
### **4.7.1 Caja disipadora de energía**

El punto de llegada de la tubería de aducción es la cajilla que funciona tanto como disipadora de energía como de distribución. Se encuentra en estado de deterioro presentado caída de algunos ladrillos en su muro posterior; una fisura sobre la solera a 0,6m de la salida de tubería al parecer generada por el golpe de caída del fluido. La distribución de caudales se realiza por una serie de codos de 4 pulgadas en el fondo, uno para cada salida de agua hacia los lagos que se encuentran contiguos a la cajilla, dos para la evacuación de agua hacia el canal oriental trazado sobre el terreno, y otro sobre uno de los muros para la salida de agua

hacia el lote el triángulo. El control de flujo de distribución se hace de manera artesanal por medio de colocación de tubos cuya longitud es mayor del nivel que puede llegar a tener el agua en la cajilla, se adjuntan sobre los codos del fondo y así impedir el ingreso de caudal hacia los codos de repartición.

#### 4.7.2 Diseño Caja disipadora de energía y distribución

Con el objetivo de rediseñar la cajilla disipadora que se encuentra actualmente se utiliza las características de diseño planteadas por Corcho, 2005, adaptando al máximo las longitudes de los elementos que el autor menciona (Figura 16) a las dimensiones de la estructura existente en la Granja.



**Figura 16.** Modelo de readequación cajilla disipadora.

#### 4.7.3 Canal oriental

De la cajilla disipadora de energía empieza el recorrido del agua por medio un canal trazado sobre el terreno sin revestimiento alguno. Éste se encarga de distribuir caudal a los canales que surten los lotes de la zona norte de la granja. Se encuentra en un deplorable estado ya que no tiene una sección transversal regular definida, tiende a ser de forma trapezoidal pero sus dimensiones varían

constantemente en su trayecto. Constantemente presenta falta de mantenimiento permitiendo la propagación de malezas en toda su superficie dejando como resultado la pérdida de energía de flujo del agua. Al estar construido directamente sobre el terreno se presentan pérdidas de caudal por infiltración en su recorrido.

#### 4.7.4 Determinación del caudal del Canal Oriental

Para realizar el aforo del caudal medio que llega a la cajilla disipadora de energía y sale por el canal oriental, se dispone un tramo de tres metros de canal sobre el terreno con una sección rectangular definida de 0,61 m de base que forma una altura de lamina de agua promedio de 0,15m. Se determina la velocidad aproximada con que se desplaza el fluido, y por medio de la ecuación de continuidad determinar el caudal.

**Tabla 7.** Altura de la lámina de agua y velocidades estimadas

Medición	Altura lamina (m)	Velocidad (m/s)
1	0,14	0,38
2	0,15	0,34
3	0,18	0,35
<b>Promedio</b>	<b>0,15</b>	<b>0,35</b>

El caudal aproximado que se transporta por el canal se define por:

$$Q = V \times A$$

$$Q = 0,35 \text{ m/s} \times 0,0915$$

$$Q = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con este aforo se obtiene un caudal  $32 \text{ l/s}$  que sirve como punto de referencia para el diseño. Sin embargo, con el propósito de diseñar una estructura que sea útil a largo plazo en caso de que en algún momento se requiera transportar mas agua, se toma como punto de partida para el diseño  $40 \text{ l/s}$ .

#### 4.7.5 Diseño del Canal Oriental

Continuo a la caja de distribución se plantea un canal de sección geométrica trapezoidal para los primeros 130 metros de longitud siguientes, con taludes laterales 1:1. Para minimizar perdidas de energía se diseña en concreto, sin algún acabado en especial. En el trayecto del canal se proyectan tres cajillas para la distribución y recibimiento de agua de los lagos que se encuentran paralelos al cauce; y un aforador tipo Parshall para facilitar la medición de caudal que circula. Para facilidad de construcción se perfila la proyección del canal con una pendiente única, por tanto las dimensiones de la sección del canal serán constantes durante todo el recorrido.

#### 4.7.6 Diseño de la sección del canal

La altura aproximada de la cota inicial del canal es 482,00 msnm hasta descender 130 metros después hasta la cota de 481,25 msnm, lo que genera una pendiente (S) de 0.0057 a través de todo el recorrido.

Suponiendo que el caudal y la profundidad son prácticamente constantes, lo que establece un flujo uniforme, se permite aplicar la ecuación de Robert Manning definiendo un coeficiente de  $n$  igual a 0,015 el cual pertenece a una superficie de contacto de concreto con terminado con llana de madera.

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Por ecuación de continuidad  $Q = V \times A$ , por tanto en términos de área y caudal:

$$Q = \frac{A}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$AR^{2/3} = \frac{Qn}{S^{1/2}}$$

Sustituyendo las variables conocidas,

$$AR^{2/3} = \frac{(0,04 \text{ m}^3/\text{s})(0,015 \text{ s}/\text{m}^3)}{(0,0057)^{1/2}}$$

$$AR^{2/3} = 0,0079$$

Designamos arbitrariamente los valores para el tirante normal (y) y la base del canal trapezoidal (b) y por medio de iteraciones sucesivas determinamos el área y el radio hidráulico hasta cumplir con el producto  $AR^{2/3} = 0,0079$ .

**Tabla 8.** Iteraciones de las dimensiones de la sección del canal

y (m)	b (m)	A(m)	P(m)	R(m)	T(m)	R <sup>2/3</sup>	AxR <sup>2/3</sup>
0,150	0,200	0,053	0,624	0,084	0,500	0,192	0,0101
0,150	0,150	0,045	0,574	0,078	0,450	0,183	0,0082
0,100	0,200	0,030	0,483	0,062	0,400	0,157	0,0047
0,129	0,210	0,044	0,575	0,076	0,468	0,180	0,0079

En la tabla 8 se observa con un tirante de 12,9 cm y una base de 21,0 cm cumple con las condiciones, sin embargo, para facilidad en su construcción se definen un tirante y una base de 0,13 y 0,20 metros respectivamente. A continuación se calcula teóricamente la velocidad que podría llevar el flujo de agua y determinar el tipo del mismo.

$$Q = VA$$

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

$$V = \frac{0,04 \text{ m}^3/\text{s}}{0,044 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,91 \text{ m/s}$$

Por medio del número de Froude determinamos el tipo de flujo.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \times \frac{A}{T}}}$$

$$F = \frac{0,91 \text{ m/s}}{\sqrt{(9,81 \text{ m/s}^2) \times \frac{0,044 \text{ m}^2}{0,468 \text{ m}}}}$$

$$F = 0,95$$

El número de froude 0,95 indica que el flujo es subcrítico.

Las paredes del canal se construirán en concreto de 2000psi con espesor de 3 cm. El fondo del canal será una placa reforzada será reforzado de 4cm de espesor y se utiliza una cuantía mínima para calcular el numero mínimo de varillas requeridas.

$$A_s = b \times d \times \rho$$

$$A_s = 20 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 0,005833$$

$$A_s = 0,04 \text{ cm}^2$$

**Tabla 9.** Características finales de diseño canal oriental. Centro Experimental de la Universidad Surcolombiana

	Trayecto 1	Trayecto 2	Trayecto 3
Cota inicio (msnm)	482,00	481,85	481,75
Cota final (msnm)	481,88	481,76	481,25
Trayecto (m)	0 > 0+20	0+28 > 0+40	0+43 > 0+130
Longitud (m)	20,0	12,0	87,0
Pendiente (m/m)	0,0057	0,0057	0,0057
Dimensionamiento del canal			
Área sección	trapezoidal		
Base (b)	0,20 m		
Profundidad Agua	0,13 m		
Borde Libre	0,12 m		
Profundidad total (h)	0,25 m		
Ancho Canal	0,70 m		
Área húmeda (A)	0,044 m <sup>2</sup>		
Perímetro húmedo (P)	0,57 m		
Radio hidráulico (R)	0,07 m		
Ancho superficial (T)	0,46 m		
Velocidad (V)	0,91 m/s		
Caudal (Q)	0,04 m <sup>3</sup> /s		
Nº Froude (f)	0,95		

Fuente. Cabrera, 2012.

Según el anexo F, para un  $A_s = 0,04 \text{ cm}^2$  solo se necesitaría una barra No3. Debido a que 1 hierro no facilita la geometría para su construcción, se opta por colocar longitudinalmente 2 varillas de 3/8" amarradas con barras cada 20 cm de 1/4". (Plano 7).

#### 4.7.7 Diseño de las semicajillas de recibimiento

En los trayectos 0+20m y 0+54m el canal es intersectado por el drenaje de los lagos 1 y 2 respectivamente, cuando en estos el nivel de agua sobrepasa su capacidad, es decir, en estos puntos se recibe el agua que sobra una vez se a completado el llenado de los lagos. Para recibir este caudal proveniente de los reservorios, se propone una semicajilla en cada punto para un control.

#### 4.7.8 Diseño de la curva simple

Entre el trayecto 0+20m y 0+28m el canal presenta un cambio de dirección, por lo que se diseña una curva simple, como punto de inflexión en 0+24m. Debido a que no hay ecuaciones estandarizadas para el cálculo del valor límite de curvatura, se toma en cuenta al autor Hernán Materón quien recomienda para un caudal hasta de 0,5 m<sup>3</sup>/s un radio mínimo de 5 metros.

Para este caso, las condiciones topográficas recolectadas en campo definen un ángulo de deflexión en el punto vértice de la dirección del canal de 17,6° y una distancia tangencial desde el mismo punto hasta el inicio y final de la curvatura de 4,0 metros. Con esta información calculamos el radio de curvatura que se presenta.

$$R = \frac{T}{\tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)}$$

$$R = \frac{4 \text{ m}}{\tan\left(\frac{17,6}{2}\right)} = 26.0 \text{ m}$$

Como se observa, el radio que se presenta en el terreno es mucho mayor que el mínimo recomendado, lo que muestra una curva mas suavizada y por tanto no hay inconveniente para el transporte del caudal (Ver plano 8).

Por medio de las ecuaciones de las propiedades de un arco calculamos la longitud total de la curva simple.

C= 3,0 (Cuerda unitaria)

T= 4.00

$\Delta=17,6^\circ$

$$\text{Sen } G/2 = \frac{C}{2R}$$

$$\text{Sen } \frac{G}{2} = \frac{3.00}{2(26)}$$

$$\frac{G}{2} = 3^\circ 18' 26,5''$$

$$G = 6^\circ 36' 53''$$

$$L = \frac{C * \Delta}{G}$$

$$L = \frac{3.00 * 17,6^\circ}{6^\circ 36' 53''}$$

$$L = 7,76 \text{ m}$$

#### 4.7.9 Diseño de la cajilla de distribución:

En el punto 0+26m del trayecto del canal oriental se diseña una cajilla para controlar el abastecimiento desde este punto de caudal al segundo lago. El dimensionamiento de las cajillas esta dado por las mínimas recomendables que son 0,5x0, 5 y tendrá la profundidad del canal de 0,25m.

Para regular tanto la cantidad de agua que entra al reservorio como el caudal que continúa transitando por el canal, se propone un control manual por medio de una lámina o tablero de madera corrediza que permita el ingreso o no del agua al lago.

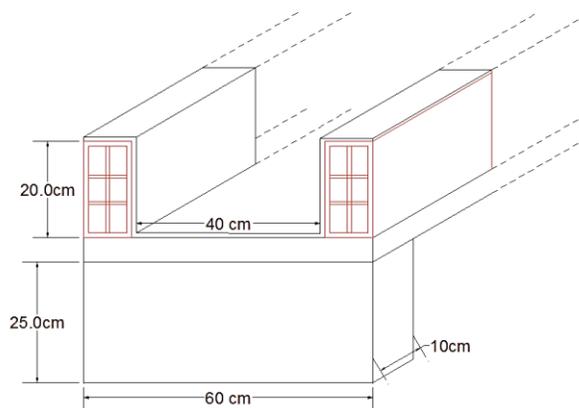
#### 4.7.10 Aforador Parshall No2

Para la medición del caudal que sale de la cajilla disipadora hacia los canales de distribución del agua en los lotes se propone un aforador Parshall en el trayecto

0+40m, de igual ancho de garganta y dimensiones iguales al anterior diseñado (ver pág. 35).

#### 4.8 Diseño de revestimiento de la sección del canal Occidental

El canal occidental forma parte del sistema de conducción, y necesidades de asignación de presupuesto de la granja de la Universidad, se plantea el diseño del revestimiento de un sector ubicado paralelo a la vía de acceso de llegada a la granja, Construido solo un dique en tierra el cual presenta grandes filtraciones.



**Figura 17.** Propuesta para diseño viaducto canal oriental.

Las dimensiones del canal son 0,4 m de base y una altura total de 0,2 m. Debido a que el canal esta construido sobre un terreno inestable al ser prácticamente un relleno, se propone como fondo del canal una placa de 5 cm de espesor, sobrepuesta sobre soportes de sección 0,1 de espesor por 0,2 de alto y 0,6m de ancho colocados cada 2 metros (Figura 16). Los muros se forman de ladrillo No4, anclados por las barras transversales que sobresalen de la placa del fondo.

La placa del fondo llevara longitudinalmente 5 varillas de 3/8" amarradas transversalmente con barras cada 15 cm de 1/4" (Plano 7).

## 5. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Con el objetivo de estimar el presupuesto para la construcción de obras propuestas, se determinan los APU para cada estructura.

**Tabla 10.** Costos de mano de obra por cuadrillas.

MANO DE OBRA DIA	COSTO
OFICIAL = 2,3 mínimos x 178%*	\$ 77.335
AYUDANTE = 1,5 mínimos x 178%*	\$ 43.711
CUADRILLAS	COSTO
<b>CUADRILLA A</b>	
1 OFICIAL + 1 AYUDANTE	\$121.046
<b>CUADRILLA B</b>	
1 OFICIAL + 2 AYUDANTES	\$164.757
<b>CUADRILLA C</b>	
2 OFICIAL + 2 AYUDANTES	\$242.092
<b>CUADRILLA D</b>	
2 OFICIAL + 3 AYUDANTES	\$285.803

\*Fuente. Construdata, 2011.

### 5.1 Concretos

El concreto ciclópeo esta formado por una mezcla cuyos pétreos se componen hasta en un 60% por fragmentos de rocas embebidos en concreto simple.

**Tabla 11.** Análisis de precios para 1m<sup>3</sup> de concreto ciclópeo

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 138.872</b>
Grava gruesa	m3	0,60	\$ 33.500	\$ 20.100
Concreto simple	m3	0,40	\$ 296.929	\$ 118.772
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>	<b>\$ 96.836</b>	
Cuadrilla C	Día	0,4	\$ 242.092	\$ 96.836
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 25.000</b>
Mezcladora	Día	0,4	\$ 60.000	\$ 24.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 260.708</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

Para el concreto simple de 2500 PSI (180 kg/cm) se maneja una relación de cemento: arena: grava de 1:2:3.

**Tabla 12.** Análisis de precios para 1m<sup>3</sup> de concreto simple de 2500 PSI

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 162.988</b>
Arena gruesa de rio	m3	0,475	\$ 23.600	\$ 11.210
Gravilla	m3	0,950	\$ 23.800	\$ 22.610
Cemento gris	kg	300,000	\$ 431	\$ 129.168
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>	<b>\$ 108.941</b>	
Cuadrilla C	Día	0,45	\$ 242.092	\$ 108.941
<b>Equipos Herramientas</b>		<b>Rendimiento</b>	<b>\$ 25.000</b>	
Mezcladora	Día	0,4	\$ 60.000	\$ 24.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
COSTO DIRECTO =				<b>\$ 296.929</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

## 5.2 Morteros

A continuación se presenta el APU para un metro cubico de mortero 1:3:

**Tabla 13.** Análisis de precios para 1m<sup>3</sup> de Mortero 1:3

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 221.198</b>
Arena gruesa de rio	m3	1,090	\$ 23.600	\$ 25.724
Cemento gris	kg	454,000	\$ 431	\$ 195.474
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>	<b>\$ 32.951,40</b>	
Cuadrilla B	Día	0,2	\$ 164.757	\$ 32.951,40
<b>Equipos Herramientas</b>		<b>Rendimiento</b>	<b>\$ 31.000,00</b>	
Mezcladora	Día	0,5	\$ 60.000	\$ 30.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
COSTO DIRECTO =				<b>\$ 285.150</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

### 5.3 Estructuras

A continuación se presentan los APU de cada una de las estructuras que se encuentran en el sistema de aducción y requieren de una reparación y/o rediseño.

**Tabla 14.** Análisis de precios de un Aforador Parshall

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 204.441</b>
Concreto	m3	0,06	\$ 296.929	\$ 17.816
Mortero 1:3 (e=1cm)	m3	0,08	\$ 285.150	\$ 22.812
Hierro 1/4"	kg	7,0	\$ 1.840	\$ 12.880
Alambre Negro 17	kg	2,00	\$ 2.335	\$ 4.670
Ladrillo Bloque N°4	unid	45,0	\$ 750	\$ 33.750
1/2 Ladrillo Bloque N°4	unid	32,0	\$ 375	\$ 12.000
Regla lamina graduada en cm	unid	2,0	\$ 50.000	\$ 100.000
Tuberia sanitaria pvc 1"	ml	0,2	\$ 2.568	\$ 514
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 292.042</b>
Cuadrilla C	Día	1	\$ 292.042	\$ 292.042
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 81.000</b>
Formaleta en madera	Un	1	\$ 80.000	\$ 80.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 577.483</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

**Tabla 15.** Análisis de precios de una tapa de las cajillas

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 92.638</b>
Mortero 1:3	m3	0,08	\$ 285.150	\$ 22.812
Hierro 1/4"	kg	3,0	\$ 1.840	\$ 5.520
Hierro 3/8"	kg	1,68	\$ 1.868	\$ 3.138
Alambre Negro 17	kg	0,50	\$ 2.335	\$ 1.168
Candado de seguridad	unid	1,0	\$ 60.000	\$ 60.000
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 65.503</b>
Cuadrilla B	Día	0,4	\$ 163.757	\$ 65.503
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 51.000</b>
Formaleta en madera	Un	1	\$ 50.000	\$ 50.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 209.141</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

**Tabla 16.** Análisis de precios del encofrado de la tubería por cada 3ml

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 35.971</b>
Concreto	m3	0,03	\$ 296.929	\$ 8.611
Concreto cilopeo	m3	0,09	\$ 260.708	\$ 23.464
Hierro 1/4"	kg	1,30	\$ 1.840	\$ 2.392
Hierro 3/8"	kg	5,04	\$ 1.868	\$ 9.415
Alambre Negro 17	kg	0,30	\$ 2.335	\$ 701
			\$ -	\$ -
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 233.634</b>
Cuadrilla C	Día	0,8	\$ 292.042	\$ 233.634
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 61.000</b>
Formaleta en madera	Un	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 330.605</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

**Tabla 17.** Análisis de precios reparación de la tubería de Conducción.

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 2.304.760</b>
Cuelo Cisne 6"	Un	1,00	\$ 835.000	\$ 835.000
Unión Draser 6"	Un	2,00	\$ 228.280	\$ 456.560
Tubería PVC RDE 41 6"	Un	4,00	\$ 205.800	\$ 823.200
Flandcher 6"	Un	2,00	\$ 95.000	\$ 190.000
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 292.042</b>
Cuadrilla C	Día	1	\$ 292.042	\$ 292.042
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 1.000</b>
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 2.597.802</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

**Tabla 18.** Análisis de precios del rediseño cajilla disipadora de energía.

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 497.554</b>
Concreto	m3	0,03	\$ 296.929	\$ 8.611
Mortero 1:3	m3	1,45	\$ 285.550	\$ 414.048
Tubo UP PAVCO RDE 21 6"	Un	0,17	\$ 219.052	\$ 37.239
Tubo UP PAVCO RDE 21 8"	Un	0,17	\$ 245.690	\$ 41.767
Ladrillo Bloque N°4	Un	6,0	\$ 750	\$ 4.500
			\$ -	\$ -
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 146.021</b>
Cuadrilla C	Día	0,5	\$ 292.042	\$ 146.021
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 1.000</b>
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 644.575</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

**Tabla 19.** Análisis de precios de una cajilla de recibimiento y/o distribución.

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 8.106</b>
Concreto	m3	0,01	\$ 296.929	\$ 2.969
Mortero 1:3	m3	0,01	\$ 285.550	\$ 2.856
Ladrillo Bloque N°4	Un	7,0	\$ 750	\$ 5.250
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 81.879</b>
Cuadrilla B	Día	0,5	\$ 163.757	\$ 81.879
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 1.000</b>
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ - \$ 100.000	\$ - \$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 90.984</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

## 5.4 Canales

Las tablas a continuación presentan el costo por un metro lineal de construcción de cada uno de los canales.

Tabla 20. Análisis de precios por metro lineal de canal oriental

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 13.738</b>
Concreto	m3	0,03	\$ 296.929	\$ 9.799
Hierro 1/4"	kg	0,75	\$ 1.840	\$ 1.380
Hierro 3/8"	kg	1,12	\$ 1.868	\$ 2.092
Alambre Negro 17	kg	0,20	\$ 2.335	\$ 467
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 73.011</b>
Cuadrilla C	Día	0,25	\$ 292.042	\$ 58.408
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 61.000</b>
Formaleta en madera	Un	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 133.146</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

Tabla 21. Análisis de precios por metro lineal de canal occidental

Descripción	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<b>Materiales</b>				<b>\$ 30.192</b>
Concreto	m3	0,05	\$ 296.929	\$ 13.629
Mortero 1:3	m3	0,01	\$ 285.550	\$ 2.856
Hierro 1/4"	kg	1,50	\$ 1.840	\$ 2.760
Hierro 3/8"	kg	2,80	\$ 1.868	\$ 5.230
Alambre Negro 17	kg	0,20	\$ 2.335	\$ 467
Ladrillo Bloque N°4	Un	7,0	\$ 750	\$ 5.250
<b>Mano de Obra</b>		<b>Rendimiento</b>		<b>\$ 58.408</b>
Cuadrilla C	Día	0,2	\$ 292.042	\$ 58.408
<b>Equipos Herramientas</b>				<b>\$ 61.000</b>
Formaleta en madera	Un	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Herramienta Menor	Día	0,01	\$ 100.000	\$ 1.000
<b>COSTO DIRECTO =</b>				<b>\$ 149.600</b>

Fuente. Cabrera, 2012.

## 6. PRESUPUESTO

**Tabla 22.** Presupuesto requerido para la construcción del proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1.	Aforador Parshall	Un	2	\$ 577.483	\$ 1.154.966
2.	Tapa de las cajillas	Un	14,0	\$ 209.141	\$ 2.927.974
3.	Encofrado tubería	3 ml	42,3	\$ 330.065	\$ 13.972.751
4.	Reparación tubería de aducción	Un	1,0	\$ 2.597.802	\$ 2.597.802
5.	Rediseño Cajilla disipadora energía	Un	1,0	\$ 644.575	\$ 644.575
6.	Cajilla de recibimiento y/o distribución.	Un	3,0	\$ 90.498	\$ 271.494
7.	Canal Oriental	ml	130	\$ 133.146	\$ 17.308.980
8.	Canal Occidental	ml	80	\$ 149.600	\$ 11.968.000
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>\$ 50.846.542</b>
	<b>ADMINISTRACION</b>	<b>%</b>	<b>15</b>		<b>\$ 7.626.981</b>
	<b>IMPREVISTOS</b>	<b>%</b>	<b>5</b>		<b>\$ 2.542.327</b>
	<b>UTILIDADES</b>	<b>%</b>	<b>5</b>		<b>\$ 2.542.327</b>
	<b>IVA SOBRE 5 % DE UTILIDADES</b>	<b>%</b>	<b>16</b>		<b>\$ 406.772</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>\$ 63.964.949</b>

## 7. CONCLUSIONES

Quedan una vez más probadas las deficiencias de operación del sistema de aducción para el regadío de los lotes de la Granja de la Universidad, en la mayor parte por la cercanía a la caducidad del tiempo de vida útil de los materiales, así como mínimamente daños causados por acciones del hombre. En conjunto estas fallas impiden que se aplique el concepto de un “Uso racional del agua” conllevando a que se genere un alto costo de producción por hectárea y además se desperdicie el recurso natural.

La falta de estructuras de aforo para los caudales entrantes a la Granja indican que la administración de la Universidad puede estar costeando económicamente más volúmenes de agua de los que realmente han ingresado, ya que los aforos realizados indican unos caudales entrantes promedios de 23 y 27 l/s, cantidades menores a los 30 l/s por los cuales se está pagando.

Además de no saber la cantidad de agua que entra a los predios de la Granja, hay constantes fugas a través de los conductos de la aducción, una falta de mantenimiento y control de malezas en alrededores y en el interior de cajillas. Así mismo, las tuberías está siendo afectadas por las raíces de los arboles que están provocando un desvío de dirección de la misma.

La ejecución de las obras planteadas en este proyecto tienen un costo de 63´964.949 millones y tiene como objetivo contrarrestar las falencias que posee el sistema de aducción de una manera precisa en los puntos donde se presentan los problemas más impactantes, de tal forma que puedan pretenderse dentro presupuesto de la Granja para el próximo año.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se recomienda un urgente estudio de factibilidad para una rápida ejecución de las obras propuestas en este trabajo para mitigar las pérdidas que suceden por el deterioro y las fallas de operación, así mismo el estudio para la posible ejecución de propuestas alternativas planteadas en otros trabajo de grado recientes elaborados sobre la misma temática.

Se recomienda la tala urgente de los arboles que afectan con sus raíces a la tubería de aducción, antes de que causen una mayor presión u provoquen la ruptura de la tubería.

Se recomienda realizar una investigación del sistema de aducción de la Granja de la Universidad desde el punto de vista hidráulico para determinar las presiones en los puntos de llegada y determinar la necesidad de estructuras adicionales a las aquí planteadas.

Es indispensable realizar labores de mantenimiento de una forma más continua para evitar el deterioro de las estructuras que contribuye al bajo rendimiento del sistema y aumentan los costos de producción.

## BIBLIOGRAFIA

BELLO, Marco y PINO, María. Medición de presión y caudal. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2000. 21 p.

CÁRDENAS GRISALES, James. Diseño Geométrico de Carreteras. Ecoe ediciones. Bogotá. 2002. --- p.

CONSTRUDATA, Informe especial mano de obra. Bogotá. 2011. 326 p.

CORCHO ROMERO, Fredy Hernán y DUQUE SERNA, José Ignacio. Acueductos teoría y diseño. Medellín: Universidad de Medellín, 2005. 639 p.

MATERÓN, Hernán. Obras hidráulicas rurales. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 1997. 323 p.

MENESES CAMPOS, José Víctor. Diseño estructural III. México. Universidad del golfo de México, 2010. 146 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía ambiental para sistemas de acueductos. República de Colombia, 2002. 233 p.

Disponible en:

<http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/sistemasacueducto/Sistemas%20acueducto%202.pdf>

MUJICA RODRÍGUEZ, Edinson y PERDOMO MEDINA, Damaris. Diseño de una alternativa de abastecimiento, canales abiertos y estructuras hidráulicas del riego por superficie en La Granja Experimental de la Universidad Surcolombiana. Neiva: Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Agrícola, 2009. 140 p.

N.W. Hudson. Silsoe Associates. Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía. (Boletín de suelos de la FAO - 68). Reino Unido: Amptill, Bedford. 1997. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>

OLAYA AMAYA, Diego Fernando. Variabilidad espacial para la adecuación de tierras con riego superficial en la granja La Universidad Distrito Juncal- municipio de Palermo. Neiva: Universidad Surcolombiana, Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Agrícola, 2007. 110p.

PEDROZA GONZALEZ, Edmundo. Canal Parshall. México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2001. 36 p.

SEGURA FRANCO, Jorge. Estructuras de concreto I. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1999. 455p.

TAFUR CERQUERA, Carlos Alberto y TOVAR MEDINA, Ruby Mireya. Suministro y Manejo del Recurso Hídrico en el Centro Piloto de Riego a Presión (Ceprap) de la Granja de la Universidad Surcolombiana Municipio de Palermo Dpto Huila. Neiva: Universidad Surcolombiana. Facultad de Ingeniería. Programa Ingeniería Agrícola, 2008. 175 p.

VEN TE CHOW. Hidráulica de canales Abiertos. Mc Graw Hill.1995.

**ANEXO A. Constancia del caudal asignado a la granja experimenta de la  
Universidad Surcolombiana.**

DISTRITO DE ADECUACION DE TIERRAS DE MEDIANA ESCALA EL  
JUNCAL  
NIT.900.062.076-1

**EL GERENTE**

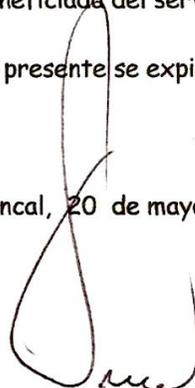
**HACE CONSTAR:**

Que en nuestros registros prediales se encuentra inscrito bajo el código 1E260 el predio denominado Universidad Surcolombiana, con un área beneficiada de 12 hectáreas.

Que el Distrito de Riego suministra 3 litros /segundo por cada hectárea beneficiada del servicio de riego.

La presente se expide a solicitud del interesado para los fines pertinentes.

Juncal, 20 de mayo de 2008



**JULIO CESAR VILLANUEVA R.**  
Gerente

Fuente. Tafur y Tovar. 2008.

## ANEXO B. Registro fotográfico salida de campo.



**Fotografía 1.** Compuerta de control salida caudal del canal C4 hacia la granja.



**Fotografía 2.** Tubería de aducción expuesta a la intemperie.



**Fotografía 3.** Escape de caudal por una fisura en la tubería de aducción.



**Fotografía 4.** Semicorreas de amarre de la tubería a los soportes.



**Fotografía 5.** Cajilla 2 destruida.



**Fotografía 6.** Cajilla 2 reparada.

**ANEXO B. Registro fotográfico salida de campo. (Continuación)**



**Fotografía 7.** Cajilla 7 anteriormente obstruida.



**Fotografía 8.** Llegada de la Tubería de aducción al carcamo



**Fotografía 9.** Escape de caudal por una fisura en la tubería.



**Fotografía 10.** Arboles sembrados en la trayectoria de la tubería.

**ANEXO C. Datos levantamiento topográfico del perfil de la tubería de aducción.**

<b>PUNTO</b>	<b>ABSISA (m)</b>	<b>COTA (m)</b>
1*	0,000	450,000
2*	10,531	449,987
3*	12,690	448,781
4*	13,593	448,766
5*	15,688	449,907
6*	22,076	449,981
7*	22,764	448,672
8*	24,145	448,754
9*	25,029	448,739
10*	27,217	449,886
11*	32,235	449,966
12	39,431	449,980
13	48,319	449,929
14	68,377	449,949
15	79,844	449,913
16	178,209	449,084
17	178,577	448,197
18	303,316	447,999
19	303,407	447,295
20	400,127	447,176
21	400,255	446,534
22	553,085	446,094
23	553,313	445,253
24	616,174	445,571
25	616,245	444,835
26	616,661	444,965
27	648,842	445,302
28	650,904	444,482
29	664,200	444,837
30	707,240	444,898
31	707,367	444,150
32	727,928	444,790
33	728,180	444,029
34	761,165	443,789

Fuente: Cabrera, 2012

**ANEXO C. Datos levantamiento topográfico del perfil de la tubería de aducción (continuación)**

35	773,096	443,712
36	783,784	443,626
37	784,524	444,589
38	785,486	443,579
39	801,936	443,169
40	809,235	443,159
41	814,671	444,463
42	884,429	444,490
43	1021,396	443,133
44	1076,784	442,956
45	1194,987	442,032
46	1259,706	441,665
47	1260,095	441,942
48	1291,524	441,044
49	1295,830	441,021
50	1301,240	441,309
51	1327,839	441,420
52	1333,222	441,992

Fuente: Cabrera, 2012

\* Datos no son incluidos en el perfil del plano 2, ya a que pertenecen a puntos sobre el Canal C4 del distrito de riego y no de la aducción.

## ANEXO D. Datos aforo caudal entrante al cárcamo

### Aforo 1.

profundidad (m)	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
tiempo (s)	0,00	45,14	89,72	134,72	179,80	225,03
$\Delta$ profundidad (m)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
$\Delta$ tiempo (s)	0,00	45,14	44,58	45	45,08	45,23
Q (m <sup>3</sup> /s)	-	0,0266	0,0269	0,0267	0,0266	0,0265
Promedio Q (m <sup>3</sup> /s) <b>0,027</b>						

Fuente: Cabrera, 2012

### Aforo 2.

profundidad (m)	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30
tiempo (s)	0,00	49,00	100,82	152,43	204,48	256,51	309,31
$\Delta$ profundidad (m)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
$\Delta$ tiempo (s)	0,00	49,00	51,82	51,61	52,05	52,03	52,8
Q (m <sup>3</sup> /s)	-	0,0245	0,0232	0,0233	0,0231	0,0231	0,0227
Promedio Q (m <sup>3</sup> /s) <b>0,023</b>							

Fuente: Cabrera, 2012

### Aforo 2.

profundidad (m)	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	
tiempo (s)	0,00	45,14	89,72	134,72	179,80	225,03	
$\Delta$ profundidad (m)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
$\Delta$ tiempo (s)	0,00	45,14	44,58	45	45,08	45,23	
Q (m <sup>3</sup> /s)	-	0,0266	0,0269	0,0267	0,0266	0,0265	
Promedio Q (m <sup>3</sup> /s) <b>0,027</b>							

Fuente: Cabrera, 2012

## ANEXO E. Cuantías requeridas para el diseño de estructuras de concreto.

$f_c = 14.1 \text{ MPa}$		Cuantía mínima = 0.005833			
$f_y = 240 \text{ MPa}$		Cuantía máxima de diseño = 0.022739			
$\rho$	$a/d$	$j$	$K \text{ (kN/m}^2\text{)}$	$\Delta K$	$k_2$
0.0010	0.0200	0.9900	213.8		0.0684
0.0020	0.0401	0.9800	423.3	209.5	0.0486
0.0025	0.0501	0.9750	526.4	103.1	0.0436
0.0030	0.0601	0.9700	628.5	102.1	0.0399
0.0040	0.0801	0.9600	829.3	200.8	0.0347
0.0050	0.1001	0.9500	1025.8	196.5	0.0312
0.005833	0.1168	0.9416	1186.1	160.3	0.0290
0.0060	0.1202	0.9399	1217.9	31.8	0.0287
0.0070	0.1402	0.9299	1405.7	187.8	0.0267
0.0080	0.1602	0.9199	1589.2	183.5	0.0251
0.0090	0.1802	0.9099	1768.3	179.1	0.0238
0.0100	0.2003	0.8999	1943.1	174.8	0.0227
0.0110	0.2203	0.8899	2113.5	170.4	0.0218
0.0120	0.2403	0.8799	2279.6	166.1	0.0209
0.0130	0.2603	0.8699	2441.4	161.8	0.0202
0.0140	0.2804	0.8598	2598.8	157.4	0.0196
0.0150	0.3004	0.8498	2751.9	153.1	0.0191
0.0160	0.3204	0.8398	2900.7	148.8	0.0186
0.0170	0.3404	0.8298	3045.1	144.4	0.0181
0.0180	0.3605	0.8198	3185.2	140.1	0.0177
0.0190	0.3805	0.8098	3320.9	135.7	0.0174
0.0200	0.4005	0.7998	3452.3	131.4	0.0170
0.0210	0.4205	0.7898	3579.4	127.1	0.0167
0.0220	0.4406	0.7797	3702.1	122.7	0.0164
0.022739	0.4553	0.7724	3790.0	87.9	0.0162

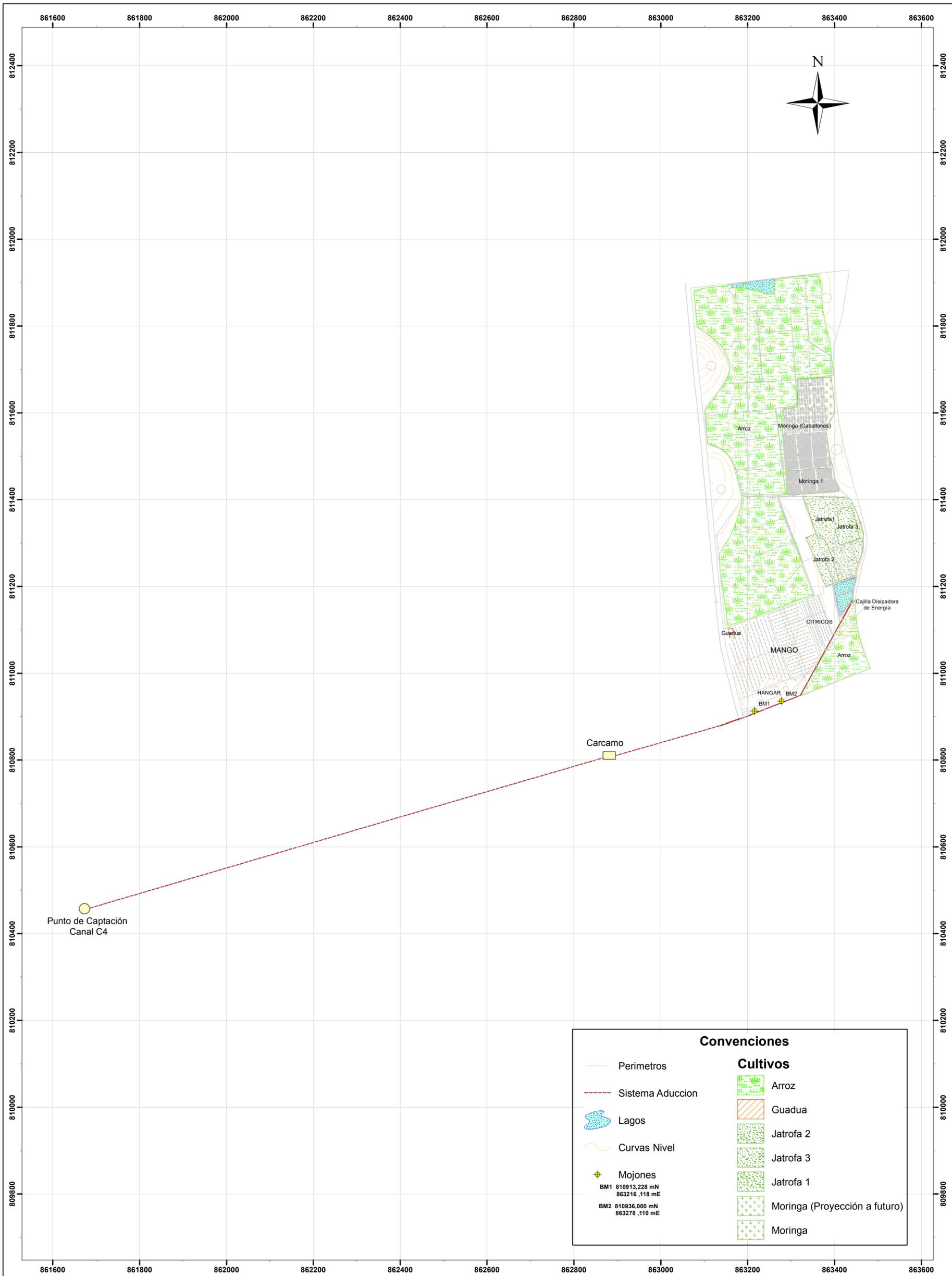
Fuente. Segura, 1999

**ANEXO F. Número de varillas y cantidad requerida según As.**

		AREAS PARA VARIAS COMBINACIONES DE BARRAS (mm <sup>2</sup> )											
		DIAMETRO EN OCTAVOS DE PULGADA											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	14	18
CANTIDAD DE BARRAS	1	32	71	129	200	284	387	510	645	819	1006	1452	2581
	2	64	142	258	400	568	774	1020	1290	1638	2012	2904	5162
	3	96	213	387	600	852	1161	1530	1935	2457	3018	4356	7743
	4	128	284	516	800	1136	1548	2040	2580	3276	4024	5808	10324
	5	160	355	645	1000	1420	1935	2550	3225	4095	5030	7260	12905
	6	192	426	774	1200	1704	2322	3060	3870	4914	6036	8712	15486
	7	224	497	903	1400	1988	2709	3570	4515	5733	7042	10164	18067
	8	256	568	1032	1600	2272	3096	4080	5160	6552	8048	11616	20648
	9	288	639	1161	1800	2556	3483	4590	5805	7371	9054	13068	23229
	10	320	710	1290	2000	2840	3870	5100	6450	8190	10060	14520	25810

Fuente. Meneses, 2010.

## **ANEXO G. PLANOS**



Convenciones	
	Perímetros
	Sistema Aducción
	Lagos
	Curvas Nivel
	Mojones
BM1 810913,228 mN 863216,118 mE	
BM2 810936,000 mN 863278,110 mE	
Cultivos	
	Arroz
	Guadua
	Jatrofa 2
	Jatrofa 3
	Jatrofa 1
	Moringa (Proyección a futuro)
	Moringa



PROYECTO  
**Estudio de Prefactibilidad del sistema de aducción  
 de la Granja de la Universidad Surcolombiana**

CONTIENE  
**MAPA GENERAL DE  
 LA GRANJA**

AUTOR:  
**DIANA MARCELA CABRERA**  
 03 DE OCTUBRE DEL 2012

ESCALA 1:6.000

Proyección Transversa de Mercator, Esferoide Internacional 1909  
 Datum Horizontal: Observatorio Astronómico de Bogotá  
 Falso Este (metros): 1,000,000  
 Falso Norte (metros): 1,000,000  
 Meridiano Central: -74,077508  
 Factor de Escala: 1,000000  
 Latitud de origen: 4,596200



**PLANO  
 1/8**