

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño de un Sistema de Riego para Cultivo de Caña en  
Tulipe**

**Lenin Joshua Villacis Jaramillo**  
**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Civil

Quito, 11 de mayo de 2020

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Diseño de Riego para el Cultivo de Caña en Tulipe**

**Lenin Joshua Villacis Jaramillo**

Nombre del profesor, Título académico

Sixto Duran-Ballén Ochoa, PhD.

Quito, 26 de abril de 2020

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Lenin Joshua Villacis Jaramillo

Código: 00132103

Cédula de identidad: 1718269184

Lugar y fecha: Quito, abril de 2020

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Este documento presenta el diseño de un sistema de riego que abastecerá una plantación de 4,3 hectáreas de caña de azúcar. Se muestran las demandas hídricas para dicho sembrío particular de caña de azúcar de variedad Ragnar así como la oferta que dicho sector presenta. Tomando en cuenta el río que atraviesa la propiedad de la plantación y mediante registros de precipitaciones que tendrían efecto directo sobre el caudal del río mencionado se determina la oferta hídrica del sector. Considerando que en ciertos meses del año la demanda hídrica supera la oferta del sector, se procedió a dimensionar y diseñar un sistema de riego con captación, almacenamiento y distribución.

Se definen las estructuras de captación y almacenamiento considerando el material, las dimensiones, geometría y tipo de captación y almacenamiento. Además, se describen de manera detallada las dimensiones y los diseños de las estructuras necesarias para el sistema de riego considerando las solicitaciones que afectarán a dichas estructuras. Para todos los diseños se utilizó el programa computacional SAP2000® y las normas de diseño NEC-15, ACI318-14 y ACI 350-06. También se definieron la potencia y el tipo de bomba para el diseño considerando los caudales de diseño máximo horario y máximo diario. Los diámetros de la tubería responden a las cantidades de agua necesarias para el diseño.

Se determinaron la cantidad de materiales y costos del proyecto con el fin de sumar los precios de producción de caña y compararlos con ganancias aproximadas de la venta de panela. Se determinó la factibilidad económica del proyecto juntamente con la tasa interna de retorno del proyecto.

Palabras clave: Diseño, Sistema de Riego, Demanda Hídrica, Oferta Hídrica, Captación, Almacenamiento, Distribución, Costos, Factibilidad Económica del Proyecto, Tasa Interna de Retorno.

## ABSTRACT

This document presents the design of an irrigation system that will supply a plantation of 4.3 hectares of sugar cane. The water demands for this particular planting of Ragnar variety sugar cane are shown, as well as the offer that said sector presents. Taking into account the river that runs through the plantation property and through rainfall records that have a direct effect on the flow of the mentioned river, the water supply of the sector is determined. Considering that in certain months of the year the water demand exceeds the supply of the sector, we proceeded to size and design an irrigation system with collection, storage and distribution.

Collection and storage structures are defined considering the material, dimensions, geometry and type of collection and storage. In addition, the dimensions and designs of the structures necessary for the irrigation system are described in detail, considering the stresses that will affect said structures. The computer program SAP2000® and the design standards NEC-15, ACI318-14 and ACI 350-06 were used for all the designs. The power and type of pump for the design were also defined considering the maximum hourly and maximum daily design flow rates. The pipe diameters respond to the amounts of water necessary for the design.

The quantity of materials and costs of the project were determined in order to add up the cane production prices and compare them with approximate profits from the sale of panela. The economic feasibility of the project was determined together with the internal rate of return of the project.

Key words: Design, Irrigation System, Water Demand, Water Supply, Collection, Storage, Distribution, Costs, Economic Feasibility of the Project, Internal Rate of Return.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
DESARROLLO DEL TEMA.....	12
CONCLUSIONES.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXO A: Muro Embalse.....	40
ANEXO B: Canal Vertedero .....	44
ANEXO C: Desarenador y Cámara de Bombeo .....	46
ANEXO D: Reservorio.....	54
ANEXO E: Ficha Técnica Bomba.....	61
ANEXO F: Tuberías y Canalización .....	62
ANEXO G: Rubros y Presupuesto.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Demanda de Agua Animales. ....	13
Tabla 2. Requerimientos Hídricos del Proyecto. ....	14
Tabla 3. Fuentes Hídricas. ....	14
Tabla 4. Precipitación Mínima Mensual. ....	18
Tabla 5. Precipitación Máxima Mensual. ....	18
Tabla 6. Datos del Terreno de la Cuenca. ....	18
Tabla 7. Caudales Mínimos Mensuales. ....	19
Tabla 8. Caudales Máximos Mensuales. ....	19
Tabla 9. Precipitaciones 1 - 6 de Febrero. ....	20
Tabla 10. Profundidad Mínima Río. ....	22
Tabla 11. Profundidad Máxima Río. ....	22
Tabla 12. Refuerzo Estructural Captación [cm <sup>2</sup> /m]. ....	25
Tabla 13. Refuerzo Mínimo Captación [cm <sup>2</sup> /m]. ....	26
Tabla 14. Refuerzo Estructural Captación [varillas]. ....	26
Tabla 15. Oferta Hídrica Mínima - Demanda Hídrica. ....	27
Tabla 16. Requerimientos Diarios por Hectárea. ....	27
Tabla 17. Oferta Captación en 20 Horas. ....	27
Tabla 18. Oferta Captación - Requerimientos. ....	28
Tabla 19. Ofertas Captación - Requerimientos Totales. ....	28
Tabla 20. Refuerzo Estructural Reservorio. ....	29
Tabla 21. Datos Tubería Aducción. ....	30
Tabla 22. Área Parcelas de Plantación. ....	34
Tabla 23. Caudales por Parcelas de Plantación. ....	34
Tabla 24. Datos de Tubería. ....	34
Tabla 25. Elevaciones Puntos Claves. ....	34
Tabla 26. Tubería Principal. ....	35
Tabla 27. Tubería Parcela 1. ....	35
Tabla 28. Tubería Parcela 2. ....	36
Tabla 29. Gastos y Ganancias. ....	36
Tabla 30. Flujo de Caja. ....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Ubicación del Proyecto Google Earth®. ....	10
Ilustración 2. Valores de Consumo Residencial (López, 2004). ....	13
Ilustración 3. Coeficientes de Mayoración Caudal Máximo Horario (López, 2004). ....	14
Ilustración 4. Ubicación Captación y Almacenamiento Google Earth®. ....	15
Ilustración 5. Cuenca Hidrológica Proyecto Google Earth®. ....	15
Ilustración 6. Cuenca Hidrológica Proyecto Global Mapper®. ....	16
Ilustración 7. Área Cuenca Hidrológica Global Mapper®. ....	16
Ilustración 8. Coeficientes de Cobertura Vegetal (Board, 2020) ....	17
Ilustración 9. Estación M0339 INAMHI. ....	17
Ilustración 10. Precipitación Mínima Mensual Nanegalito. ....	18
Ilustración 11. Precipitación Máxima Mensual Nanegalito. ....	18
Ilustración 12. Caudal Mínimo Mensual Captación. ....	19
Ilustración 13. Caudal Máximo Mensual Captación. ....	20
Ilustración 14. Sección Transversal Canal Río. ....	21
Ilustración 15. Dimensiones de un Vertedero (Gribbin, 2007). ....	22
Ilustración 16. Parcelas de Plantación Google Earth®. ....	33
Ilustración 17. Coeficientes de Rugosidad Típicos (López, 2004). ....	35

# INTRODUCCIÓN

## Descripción

El proyecto contempla un caso de estudio en el diseño de un sistema de riego para el cultivo de caña en una plantación de 4,3 hectáreas y agua para consumo doméstico. El diseño incluye la captación, conducción, almacenamiento y distribución del agua. La caña se utilizará para la producción de panela para exportación. Se determinará el beneficio de la venta de panela de caña versus los costos aproximados de implementación de un sistema de riego.

El agua es un recurso natural administrado, regulado, controlado y gestionado por el Estado. Debido a que este proyecto se beneficia directamente del agua, es necesario conocer las leyes y ordenanzas que rigen la utilización de este recurso natural. El proyecto detallará dichas leyes y ordenanzas así como el procedimiento que se debe seguir para obtener los permisos necesarios para la utilización y aprovechamiento del agua.

Dentro del caso de estudio del diseño del sistema de riego se determinará el tipo de captación, conducción y distribución que mejor se adapte a la situación de manera que maximice la efectividad del diseño y a la par se minimicen los costos y el impacto ambiental. También se determinarán las dimensiones de los componentes del sistema de riego desde que empieza el proceso en la captación hasta la terminación del mismo en la distribución.

## Ubicación

El proyecto se ubica dentro de la parroquia rural de Nanegalito, en el pueblo de Tulipe. La ubicación exacta utilizando el programa Google Earth Pro ® es la siguiente: 0° 04' 09" N 78° 45' 17"W. La altitud a la cual se encuentra la finca según Google Earth Pro ® es de 1723 m s.n.m.

El pueblo de Tulipe, ubicado al Noroccidente de Quito, tiene un clima subtropical. Las lluvias se presentan durante todo el año, sin embargo durante los meses de verano escasea la lluvia. Tiene un paisaje selvático con una topografía bastante irregular y la mayoría de las tierras están ocupadas con pastizales debido a la abundante ganadería dentro de la zona. En la *Figura 1* se muestra la ubicación del proyecto.



Ilustración 1. Ubicación del Proyecto Google Earth®.

Donde se ubica el proyecto podemos encontrar una sola fuente de agua de tamaño pequeño. Durante los meses de invierno esta pequeña fuente crece y disminuye durante los meses de verano. El proyecto pretende aprovechar el agua captándola y almacenándola durante los meses de invierno para utilizarla durante los meses de verano cuando escasea la lluvia.

### **Diagnostico**

La ubicación de la propiedad donde se planifica implementar el proyecto es ideal para el cultivo de caña. Esto se debe a la composición del suelo, a la altura de la propiedad sobre el nivel del mar y a la temperatura del ambiente. Sin embargo, este cultivo requiere de agua durante todos los meses del año. El problema surge cuando en esta zona los meses de verano presentan sequías. El agua que hay en abundancia durante los meses de invierno no se almacenan adecuadamente para el tiempo de la sequía y es así que surge la necesidad de construir un sistema de captación, conducción, almacenamiento y distribución de agua.

### **Objetivos**

Objetivo General:

- Diseñar un sistema de riego completo, desde la captación hasta la distribución, para una plantación de 4,3 hectáreas de caña.

Objetivos Específicos:

- Investigar respecto a la normativa vigente para la autorización de usos y aprovechamiento del agua.
- Investigar respecto al estado actual de las concesiones de uso de agua en la ubicación del proyecto.
- Determinar la demanda hídrica del cultivo de Caña para cuantificar el caudal requerido a capta.
- Definir una proyección planificada del incremento de las áreas de cultivo; y definir los diversos usos y demandas de agua actuales y futuras en la ubicación del proyecto.
- Realizar un estudio hidrológico para determinar la disponibilidad hídrica del sector.
- Determinar la fuente hídrica de donde se pueda captar el caudal requerido para el cultivo de caña.
- Diseño del sistema de riego: incluyendo la captación, conducción, almacenamiento y distribución.
- Diseñar la preparación y tratamiento del agua con los insumos y aditivos necesarios para cultivo.
- Realizar un análisis de costo-beneficio para la implementación y sostenibilidad del proyecto.

## **DESARROLLO DEL TEMA**

### **MARCO LEGAL**

De acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador, en el artículo 313, el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar el agua. El Estado lleva a cabo esta responsabilidad a través de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). Dentro de las responsabilidades de esta entidad están las emisiones de resoluciones administrativas del recurso hídrico para uso y aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas.

Todos los permisos de aprovechamiento de agua se rigen bajo lo estipulado en el MANUAL DE PROCEDIMIENTO AUTORIZACION USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. Este manual hace referencia al Acuerdo Ministerial 1307 y al Registro Oficial 775 de 14-jun.-2016. Estos procedimientos y requisitos únicamente aclaran las leyes referentes al agua determinadas en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

El Registro Oficial 775 de 14-jun.-2016 se encuentra disponible para el público en el siguiente enlace:

<https://www.registroficial.gob.ec/index.php/registro-oficial-web/publicaciones/registro-oficial/item/8065-registro-oficial-no-775>.

Es necesario tener conocimiento de concesiones previas otorgadas de la misma fuente de la cual se espera obtener el recurso natural. Esto se hace con el propósito de saber si la fuente ha alcanzado su límite de aprovechamiento. Para esto es necesario presentar un oficio en las oficinas generales de la SENAGUA. El requisito para obtener los datos de las concesiones previas y existentes es ser dueño del terreno en donde se quiere aprovechar del agua. En el caso de este proyecto no fue posible obtener estos datos pero se ha observado que hay dos tuberías existentes río arriba que no pertenecen a los dueños de la propiedad. Estas tuberías podrían ser parte de concesiones previas o existentes entre vecinos y la SENAGUA.

Para obtener el permiso de aprovechamiento de un recurso hídrico de parte de la Secretaría Nacional del Agua se debe aclarar el uso que se le va a dar al agua, presentar documentos que habiliten la aplicación para el aprovechamiento, entre otros requisitos. Para este caso el agua utilizada es parte de un proyecto agrícola. Los requisitos y el procedimiento para obtener el permiso están detallados en el Registro Oficial 775 de 14 de Junio de 2016, página 21. En este documento se detallan los procesos y requisitos que se deben llevar a cabo para obtener una autorización de parte del SENAGUA.

### **MARCO TEÓRICO**

La Caña es una planta cultivada en muchos países tropicales. Es cultivada debido al fruto que produce. Su tallo acumula un jugo rico en sacarosa que es utilizado para producir mieles, azúcar, panela y biocombustibles. Cada hectárea plantada de caña produce alrededor de 120 toneladas métricas de caña. La altitud a la cual se ubica la plantación determina el producto que se obtiene de la caña. La producción de mieles se consigue en una altitud de entre los 0 y 800 m.s.n.m. Para la producción de azúcar las altitudes de la plantación deberían estar entre los 800 y 1200 m.s.n.m. y finalmente para panela las altitudes deberían encontrarse entre 1200 y 1800 m.s.n.m. En este proyecto se considera una plantación ubicada en una altitud promedio de 1700 m.s.n.m.

El proyecto contempla principalmente el riego de una plantación de 4,3 hectáreas de caña de azúcar de la variedad POJ2878. Las demandas hídricas de la caña son de entre 5000 a 9000 m<sup>3</sup>/ha al año dependiendo de las condiciones del suelo y el clima. Este valor puede reducirse si se

implementa un riego por tubería a  $3600 \text{ m}^3/\text{ha}$  al año (Armas, Tec. Industrial Orellana Barba, & Ing. Velazco, 2020). Para el caso específico del proyecto se necesitan  $15,480 \text{ m}^3$  de agua al año para las 4, hectáreas de plantación. Por día se necesitan  $42,41 \text{ m}^3$  de agua y por segundo se necesitan  $0,0005 \text{ m}^3$  de agua.

## DEMANDA HÍDRICA

El proyecto en su totalidad comprende el abastecimiento de agua para una plantación de 4,3 hectáreas de caña de azúcar, agua para cuidado de ganado, jardines y cuidados generales de una finca con cuatro casas. Estas necesidades hídricas son las necesidades proyectadas para un futuro. Para la plantación de caña de azúcar el requerimiento hídrico es de  $0,0005 \text{ m}^3$  de agua por segundo o  $1,8 \text{ m}^3$  de agua por hora (Armas, Tec. Industrial Orellana Barba, & Ing. Velazco, 2020). Estos datos están basados en las secciones anteriores.

Para el cuidado doméstico y de jardines el requerimiento hídrico fue aproximado según la tabla 4,2 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* de **Ricardo Alfredo López Cualla**. En la *Figura 2* se puede observar valores de consumo residencial en función al número de habitantes de la parroquia en donde se encuentra la finca considerada. De acuerdo con el censo en el 2010, la parroquia de Nanegalito poseía 3.026 habitantes con una tasa de crecimiento del 10% (GAD PARROQUIAL NANEGALITO, 2020). Con esta información se determina con ayuda de la tabla 4,2 de la *Figura 2* que la cantidad de agua necesaria para uso residencial en la finca es de 180 L/hab-día. Se tiene estimado que en esta finca van a vivir al menos 12 personas por lo cual el caudal necesario para uso residencial es de 2.160 L/día o de  $2,16 \text{ m}^3/\text{día}$  o  $0,09 \text{ m}^3$  de agua por hora.

**Tabla 4.2**  
Rangos de valores de consumo residencial (norma RAS, Colombia, 2000)

Población	Consumo mínimo (L/hab.-d)	Consumo máximo (L/hab.-d)
< 2.500 habitantes	100	150
2.500 – 12.500 habitantes	120	180
12.500 – 60.000 habitantes	130	-
> 60.000 habitantes	150	-

*Ilustración 2. Valores de Consumo Residencial (López, 2004).*

Para el cuidado de ganado es necesario saber cuántos animales se van a mantener y el consumo de agua que cada uno de ellos requiere. Está proyectado mantener alrededor de 60 vacas, 20 toros y 10 caballos. La cantidad de agua necesaria para cada animal fue aproximada utilizando un Plan Agropecuario descrito por el Ingeniero Agrónomo Emilio Duarte. En este plan se indican valores de demanda hídrica dependiendo del tipo de animal que se mantiene como se muestra en la *Tabla 1*. Se calcula que en la ubicación del proyecto, para uso de animales, se va a necesitar  $6.100 \text{ L/día}$  de agua o  $6,1 \text{ m}^3/\text{día}$  de agua o  $0,25 \text{ m}^3$  de agua por hora.

Categoría	Nº	l/animal/día	Total [l/día]
Vacas	60	70	4200
Toros	20	70	1400
Caballos	10	50	500
<b>Total</b>	<b>90</b>	<b>190</b>	<b>6100</b>

*Tabla 1. Demanda de Agua Animales.*

El consumo de agua proyectado para el diseño de captación, almacenamiento y distribución es la suma de las tres demandas previamente detalladas. El caudal promedio  $Q_{\text{prom}}$  es de  $2,14 \text{ m}^3$  de agua por hora que pueden ser redondeados a  $2,2 \text{ m}^3$  de agua por hora. A partir de este valor, se

puede tomar en cuenta las pérdidas que según López (López, 2004) las pérdidas óptimas son entre el 15% y el 10%. Para el caso de este proyecto se va a tomar en cuenta el 12,5%. Luego, para calcular el Caudal máximo diario se utiliza la siguiente ecuación  $Q_{\max \text{ diario}} = k_1 \times Q_{\text{prom}}$  en donde  $k_1$  es igual a 1,3 según López (López, 2004) para poblaciones con menos de 12.500 habitantes. Finalmente para calcular el caudal máximo horario se utiliza la siguiente ecuación  $Q_{\max \text{ horario}} = k_2 \times Q_{\max \text{ diario}}$  en donde  $k_2$  es igual a 1,6 según el criterio mostrado en la *Figura 3* del libro de López.

**Tabla 4.5**  
Coeficiente de mayoración del caudal máximo horario en relación con el máximo diario para redes de distribución (norma RAS, Colombia, 2000)

Población	Red menor (menor de 4")	Red secundaria (entre 4" y 12")	Red matriz (mayor de 12")
< 2.500 habitantes	1,6	-	-
2.500 – 12.500 habitantes	1,6	1,5	-
12.500 – 60.000 habitantes	1,5	1,45	1,4
> 60.000 habitantes	1,5	1,45	1,4

*Ilustración 3. Coeficientes de Mayoración Caudal Máximo Horario (López, 2004).*

Finalmente los requerimientos hídricos del proyecto son los siguientes mostrados en la *Tabla 2*:

$Q_{\text{prom}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\max \text{ diario}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{\max \text{ horario}}$ [m <sup>3</sup> /s]
0,001	0,0011	0,0015

*Tabla 2. Requerimientos Hídricos del Proyecto.*

## OFERTA HÍDRICA

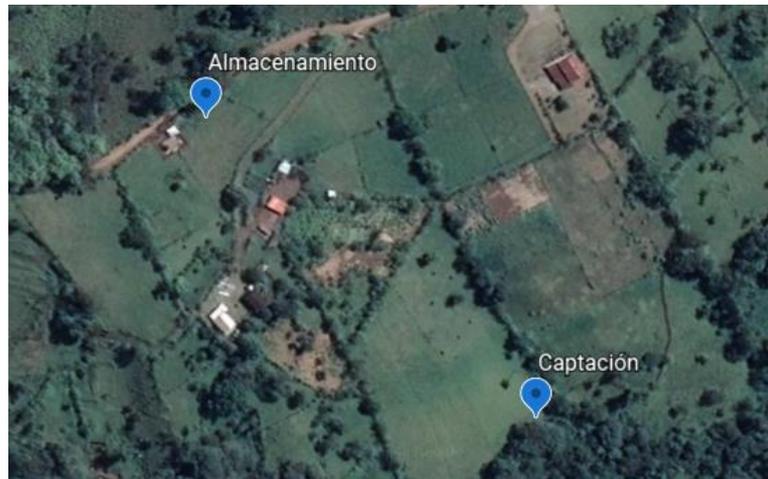
Dado que se conoce los requerimientos hídricos del proyecto es necesario determinar si el sector en donde se ubica el proyecto dispone de los recursos hídricos suficientes para satisfacer los requerimientos. Para determinar el recurso hídrico del sitio en donde se ubica el proyecto se utiliza el método racional para el cálculo de escorrentía propuesto en el libro *Introduction to Hydraulics and Hydrology with Applications for Stormwater* de **John E. Gribbin**. En este método se utiliza la ecuación  $Q = ciA$  en donde  $A$  es el área de la cuenca hidrológica o el área de drenaje,  $c$  es un factor de cobertura vegetal,  $i$  es la intensidad de la lluvia, y  $Q$  es el caudal esperado en el punto de captación.

Primero se determina la fuente hídrica y el punto de captación. Para esto es necesario visitar el lugar del proyecto, en donde se examinaron dos posibles fuentes hídricas. Se las nombra fuentes A y B. Las ubicaciones, imagen, distancia al punto de almacenamiento en línea recta, caudal y tipo de fuente se encuentran en la *Tabla 3*.

Fuente	Ubicación	Distancia a Almacenamiento [m]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Tipo de Fuente	Tratamiento
A	0°04'05" N 78°45'15" W	310	0,054	Canal Abierto	Ninguno
B	0°03'40" N 78°45'32" W	850	N/A	Tubería Existente	Ninguno

*Tabla 3. Fuentes Hídricas.*

La fuente A es la fuente más cercana, de simple tratamiento y con un caudal suficiente para abastecer las necesidades del proyecto. Las ubicaciones de la captación, del almacenamiento y de la finca se pueden observar en la *Figura 5* que es una imagen obtenida de Google Earth®.



*Ilustración 4. Ubicación Captación y Almacenamiento Google Earth®.*

A continuación se determina la cuenca hidrológica a la cual pertenece la ubicación del proyecto. En este procedimiento se utiliza un mapa topográfico para delimitar, con ayuda de las curvas de nivel del terreno, el área de la cuenca hidrológica a la cual pertenece una ubicación específica y un punto de partida en donde se ubica la captación.

A partir de la captación se empieza a trazar la cuenca hidrológica que influye sobre la captación. Utilizando la herramienta Google Earth ® se traza un polígono que contenga la cuenca hidrológica de interés como se observa en la *Figura 5*.



*Ilustración 5. Cuenca Hidrológica Proyecto Google Earth®.*

Luego, utilizando la herramienta Global Mapper ® se obtienen las curvas de nivel del polígono dibujado en Google Earth ® y con esto se trazó la cuenca hidrológica mostrada en la *Figura 6* con sus respectivos valores de área y perímetro en la *Figura 7*.

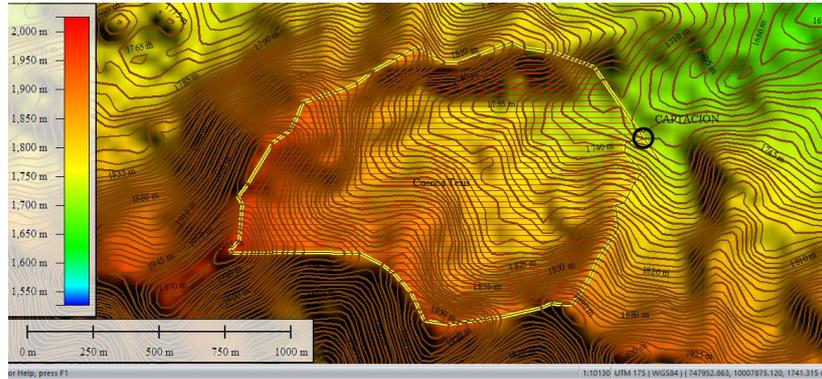


Ilustración 6. Cuenca Hidrológica Proyecto Global Mapper®.

**Modify Feature Info**

Name:

Feature Type:

Feature Layer (Right Click for More Options):

Feature Description:  Use Custom Description:

Feature Style:  Use Default Style for Selected Feature Type  Specify Style to Use When Rendering Feature

Feature Attributes

Attribute Name	Attribute Value
PERIMETER	4.668 km
ENCLOSED_AREA	1.134 sq km

Altitude Mode:  Extrusion Mode:

Automatically apply these settings to new features of the same type

Ilustración 7. Área Cuenca Hidrológica Global Mapper®.

A continuación se define el valor del factor que representa la cobertura vegetal de la cuenca hidrológica del proyecto. Se utiliza la Tabla de la *Figura 8* obtenida en la página de internet de California State Water Resources Control Board en donde se detallan valores del factor de escorrentía según la cobertura vegetal.

### Values of Runoff Coefficient (C) for Rational Formula

Land Use	C	Land Use	C
<b>Business:</b> Downtown areas Neighborhood areas	0.70 - 0.95 0.50 - 0.70	<b>Lawns:</b>	
		Sandy soil, flat, 2%	0.05 - 0.10
		Sandy soil, avg., 2-7%	0.10 - 0.15
		Sandy soil, steep, 7%	0.15 - 0.20
<b>Residential:</b> Single-family areas Multi units, detached Multi units, attached Suburban	0.30 - 0.50 0.40 - 0.60 0.60 - 0.75 0.25 - 0.40	Heavy soil, flat, 2%	0.13 - 0.17
		Heavy soil, avg., 2-7%	0.18 - 0.22
		Heavy soil, steep, 7%	0.25 - 0.35
		<b>Agricultural land:</b>	
		<i>Bare packed soil</i>	
		*Smooth	0.30 - 0.60
		*Rough	0.20 - 0.50
		<i>Cultivated rows</i>	
		*Heavy soil, no crop	0.30 - 0.60
		*Heavy soil, with crop	0.20 - 0.50
*Sandy soil, no crop	0.20 - 0.40		
*Sandy soil, with crop	0.10 - 0.25		
<i>Pasture</i>			
*Heavy soil	0.15 - 0.45		
*Sandy soil	0.05 - 0.25		
Woodlands	0.05 - 0.25		
<b>Industrial:</b> Light areas Heavy areas	0.50 - 0.80 0.60 - 0.90	<b>Streets:</b>	
		Asphaltic	0.70 - 0.95
		Concrete	0.80 - 0.95
		Brick	0.70 - 0.85
Parks, cemeteries	0.10 - 0.25	Unimproved areas	0.10 - 0.30
Playgrounds	0.20 - 0.35	Drives and walks	0.75 - 0.85
Railroad yard areas	0.20 - 0.40	Roofs	0.75 - 0.95

Ilustración 8. Coeficientes de Cobertura Vegetal (Board, 2020)

De acuerdo a las observaciones realizadas se determinó que el valor del coeficiente de escorrentía es el correspondiente a “\*Heavy Soil, no crop” con un valor de 0,45.

Para conocer la intensidad de la lluvia en la región son necesarios registros de la intensidad de lluvia de años pasados. Esto se obtiene del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Los registros necesarios fueron obtenidos de la estación M0339 ubicada en Nanegalito a 8,17 km de distancia de la ubicación del proyecto, como se muestra en la *Figura 9*.

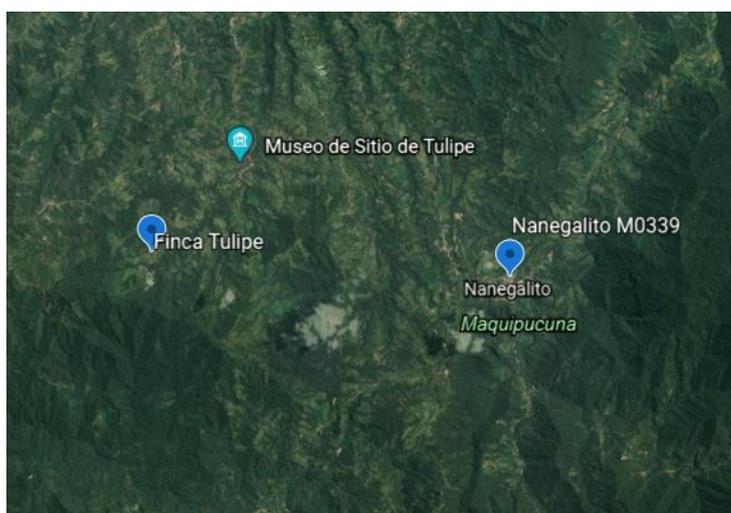


Ilustración 9. Estación M0339 INAMHI.

Por motivos de interés del proyecto se tomaron en cuenta los valores mínimos y máximos mensuales que se muestran en la *Tabla 4 y 5* y en la *Figura 10 y 11*. El valor tomado en cuenta para el diseño es el mínimo con el propósito de prever una sequía. Para comparar el caudal medido in situ es necesario tomar en cuenta el valor máximo de intensidad de lluvia.

PRECIPITACIÓN MÍNIMA MENSUAL												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación [mm]	96,1	160,9	148,6	129	123,3	18,5	12,2	0,3	2,4	11,2	7,4	50

Tabla 4. Precipitación Mínima Mensual.

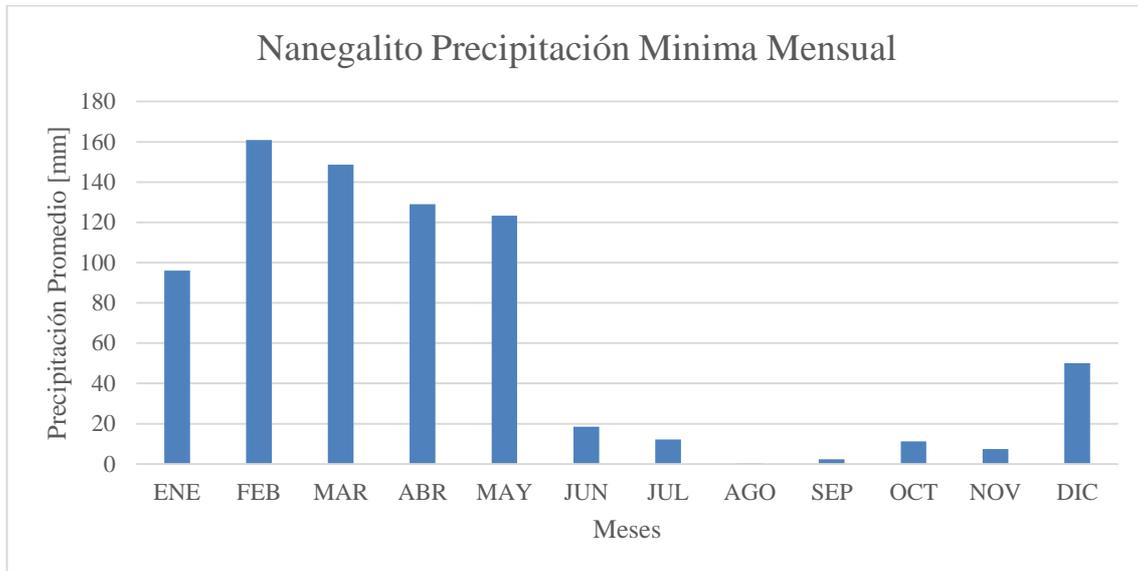


Ilustración 10. Precipitación Mínima Mensual Nanegalito.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA MENSUAL												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación [mm]	581,7	651,1	457,2	498,4	387,9	187,5	201,1	91,2	161,8	201,4	285,9	415,9

Tabla 5. Precipitación Máxima Mensual.

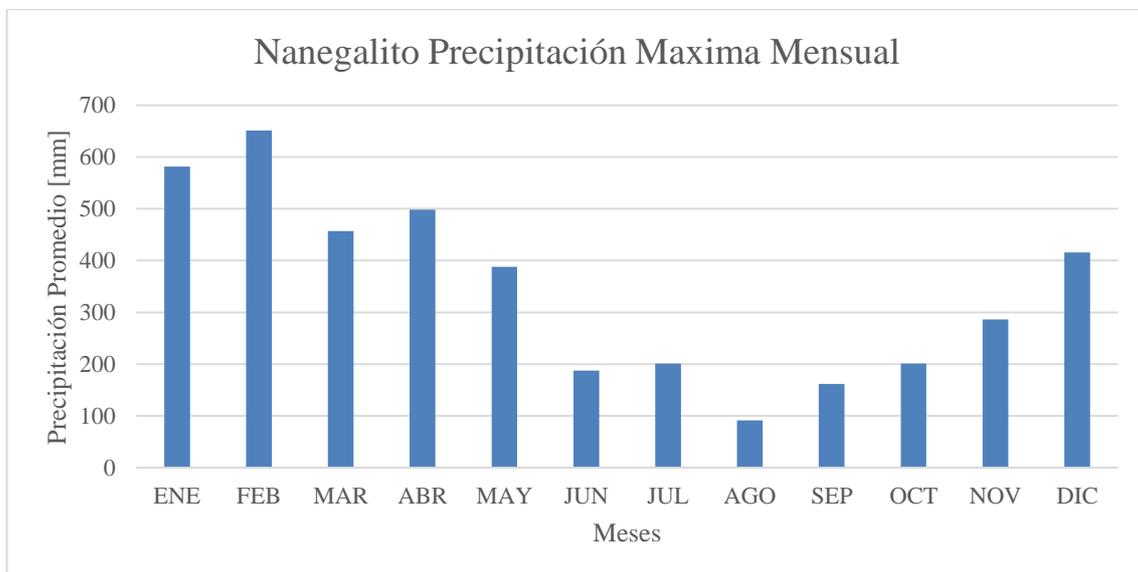


Ilustración 11. Precipitación Máxima Mensual Nanegalito.

Habiendo obtenido los datos de intensidad se puede calcular el caudal en el punto de captación con la ecuación del método racional  $Q = ciA$ . Los datos obtenidos anteriormente son los mostrados en la *Tabla 6*.

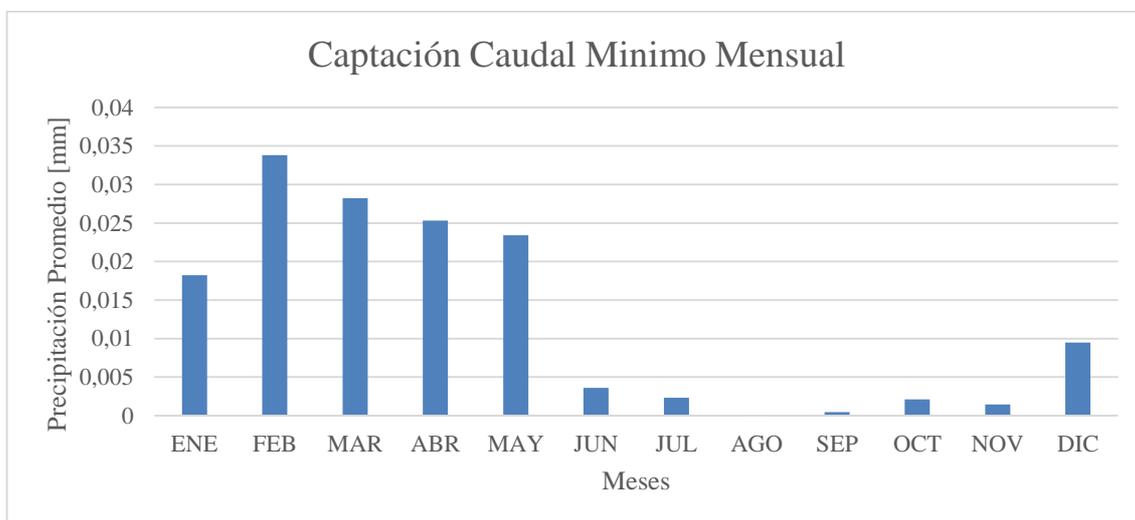
A [m <sup>2</sup> ]	c
1.130.000	0,45

Tabla 6. Datos del Terreno de la Cuenca.

Ocupando la ecuación del método racional se obtienen los siguientes datos mostrados en las *Tablas 7 y 8 y Figuras 12 y 13*.

CAUDALES MÍNIMOS MENSUALES	Mes	Precipitación [mm]	Caudales Captación [m <sup>3</sup> /s]
	ENE	96,1	0,018
	FEB	160,9	0,034
	MAR	148,6	0,028
	ABR	129	0,025
	MAY	123,3	0,023
	JUN	18,5	0,004
	JUL	12,2	0,002
	AGO	0,3	5,69556E-05
	SEP	2,4	0,0005
	OCT	11,2	0,002
	NOV	7,4	0,001
	DIC	50	0,009

*Tabla 7. Caudales Mínimos Mensuales.*



*Ilustración 12. Caudal Mínimo Mensual Captación.*

CAUDALES MÁXIMOS MENSUALES	Mes	Precipitación [mm]	Caudales Captación [m <sup>3</sup> /s]
	ENE	581,7	0,110
	FEB	651,1	0,137
	MAR	457,2	0,087
	ABR	498,4	0,098
	MAY	387,9	0,074
	JUN	187,5	0,037
	JUL	201,1	0,038
	AGO	91,2	0,017
	SEP	161,8	0,032
	OCT	201,4	0,038
	NOV	285,9	0,056
	DIC	415,9	0,079

*Tabla 8. Caudales Máximos Mensuales.*

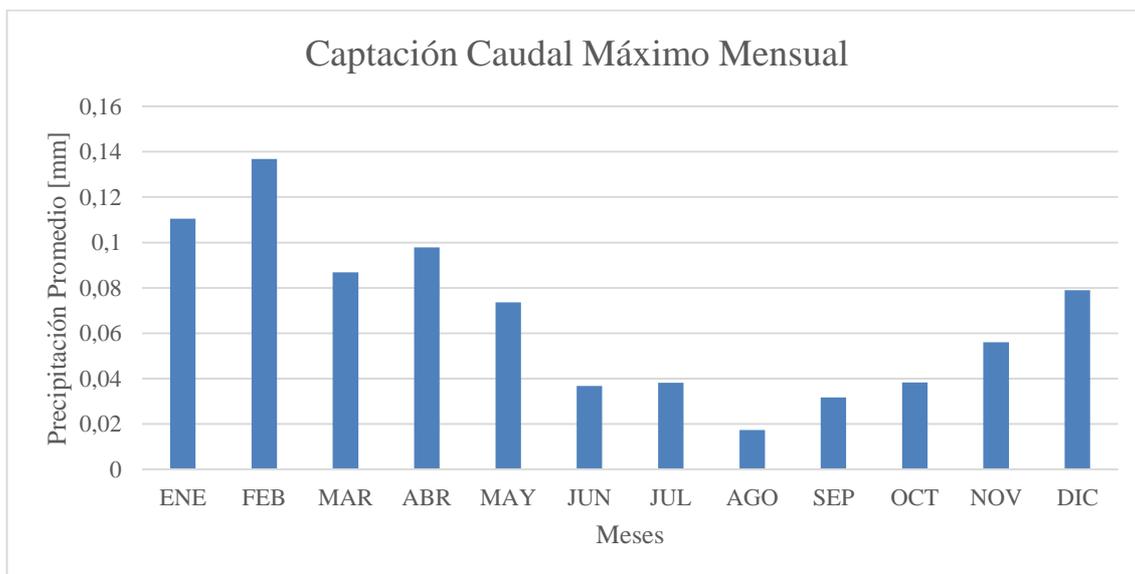


Ilustración 13. Caudal Máximo Mensual Captación.

El día 6 de Febrero del 2020 se midió el caudal real en el punto de captación. Se midió el área de la sección del canal natural y la velocidad del agua en ese punto. Con estos datos se obtuvo el caudal real. El valor del caudal medido fue de  $0,054 \text{ m}^3$  por segundo. Este valor está dentro del rango esperado ya que el mayor al caudal mínimo esperado y menor al caudal máximo esperado. Además se comparó este caudal real obtenido con un caudal teórico obtenido de los datos de precipitaciones diarias de los días 1-6 de Febrero del año 2000 al año 2018. Los datos de las precipitaciones diarias del interés del proyecto están detalladas a continuación en la *Tabla 9*.

Precipitaciones 1-6 de Febrero		
Año	Precipitación Total [mm]	Precipitación Promedio Anual [mm]
2000	43,8	7,3
2001	51,1	8,517
2002	60,2	10,033
2003	38,9	6,483
2004	9	1,5
2005	55	9,167
2006	149,5	24,917
2007	15,6	2,6
2008	51,2	8,533
2009	47,1	7,85
2010	59,3	9,883
2011	50,4	8,4
2012	100,1	16,683
2013	94,3	15,717
2014	37,9	6,317
2015	29,4	4,9
2016	46,9	7,817
2017	22	3,667
2018	87,8	14,633
	TOTAL [mm]	174,917
	Promedio [mm]	9,206

Tabla 9. Precipitaciones 1 - 6 de Febrero.

Utilizando el dato de intensidad promedio aplicado en la ecuación del método racional se obtiene el caudal teórico con un valor de  $0,0542 \text{ m}^3/\text{s}$  que es el mismo valor que se obtuvo de la medición. Con estos datos podemos asegurar que el caudal del punto de captación es suficiente para abastecer los requerimientos hídricos del proyecto.

Sin embargo, debido a que en ciertos meses el caudal mínimo esperado es menor al caudal requerido, es necesaria una estructura de almacenamiento que pueda abastecer los requerimientos hídricos durante los meses de sequía.

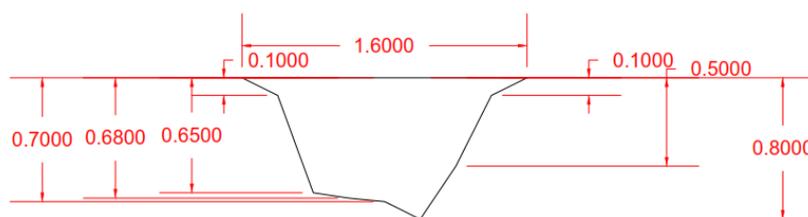
## DISEÑO SISTEMA DE RIEGO

Para implementar este proyecto se necesita infraestructura de captación, conducción, almacenamiento y distribución. Para cada una de estas infraestructuras se debe determinar la ubicación, el tipo de estructura y el material a utilizar. Cada una de estas estructuras sirve un propósito específico dentro del proyecto.

Las estructuras de captación pueden ser divididas entre captaciones superficiales y subterráneas. Las captaciones superficiales, que son de interés para este proyecto, son utilizadas para “derivar el caudal de diseño” (López, 2004) de un cuerpo de agua. Existen varios tipos de captaciones o bocatomas. Existen bocatomas laterales, de fondo, por gravedad, por bombeo y mediante estabilización de lecho. Cada uno de estos tipos de captación sirve mejor para diferentes tipos de fuentes de agua.

Para el caso de estudio el tipo de captación a utilizar es una captación por gravedad lateral. En donde mediante un vertedero se capta el caudal de diseño dirigido a cámaras de desarenado y posteriormente a una cámara en donde se ubica una bomba sumergible mediante la cual se lleva el agua a un reservorio, el exceso es conducido a través de un canal de desfogue nuevamente a la fuente de agua. Para el proyecto se dimensionan y diseñan cada uno de estos elementos que forman parte de la estructura de captación. Los esquemas del diseño se pueden observar en los *Anexo A, B y C*.

El primer paso para el dimensionamiento y diseño de la estructura de captación es determinar la ubicación exacta de la captación. Esta ubicación de acuerdo a Google Earth ® es  $0^\circ 04' 02,02'' \text{ N}$ ,  $78^\circ 45' 14,5'' \text{ W}$  a una elevación de 1695 m. En esta ubicación la sección transversal del canal del río es la mostrada en la *Figura 14* a continuación.



*Ilustración 14. Sección Transversal Canal Río.*

Luego, se determinó los meses en donde el caudal sería máximo y mínimo correspondientemente. Estos son los meses de Febrero para el caudal máximo y Agosto para el caudal mínimo. Para ambos meses se consideró el caudal mínimo y máximo en el mes de Febrero y el caudal mínimo y máximo en el mes de Agosto. Utilizando estos caudales se determinó la profundidad del agua para estos casos, utilizando la ecuación de continuidad de los fluidos  $Q = A \cdot v$ . En donde  $Q$  es el caudal  $A$  es el área transversal del río y  $v$  es la velocidad del fluido. Para la velocidad del fluido se asumió un valor de  $0,49 \text{ m/s}$ , que es el valor real medido en el río para el mes de Febrero.

Se despejó para el área transversal utilizando los valores de caudales esperados en cada mes y se determinó una altura correspondiente al área encontrada. A continuación en las *Tablas 10 y 11* se muestran los datos de profundidad de agua para estos meses con el máximo y el mínimo caudal esperado.

PROFUNDIDADES MINIMAS												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación [mm]	96,1	160,9	148,6	129	123,3	18,5	12,2	0,3	2,4	11,2	7,4	50
Caudales Captación [m3/s]	0,016	0,030	0,025	0,022	0,021	0,003	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,008
Area Transversal Rio [m2]	0,033	0,061	0,051	0,046	0,042	0,007	0,004	0,000	0,001	0,004	0,003	0,017
Altura Agua [m]	-	0,2	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-

Tabla 10. Profundidad Mínima Río.

PROFUNDIDADES MAXIMAS												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación [mm]	581,7	651,1	457,2	498,4	387,9	187,5	201,1	91,2	161,8	201,4	285,9	415,9
Caudales Captación [m3/s]	0,098	0,122	0,077	0,087	0,065	0,033	0,034	0,015	0,028	0,034	0,05	0,07
Area Transversal Rio [m2]	0,2	0,248	0,157	0,177	0,134	0,067	0,069	0,031	0,058	0,069	0,102	0,143
Altura Agua [m]	-	0,43	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-	-

Tabla 11. Profundidad Máxima Río.

Con estos valores de profundidad del agua en el río se puede definir la altura del muro de embalse en el río. El muro de hormigón armado tendrá una altura total de 100 cm de los cuales 50 cm son enterrados y un ancho de 20 cm en la parte superior y 40 cm en la base. El detalle del armado del muro es el mostrado en el *Anexo A*.

Después se dimensiona y se diseña un vertedero por el cual se captará del río a las cámaras de desarenado y posteriormente a la cámara de bombeo. Se empieza tomando en cuenta el caudal que se requiere del río para el proyecto de  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se utiliza la ecuación correspondiente a vertederos  $Q_v = 1,83LH^{\frac{3}{2}}$  (Gribbin, 2007) en donde las constantes son correspondientes a la *Figura 15*.

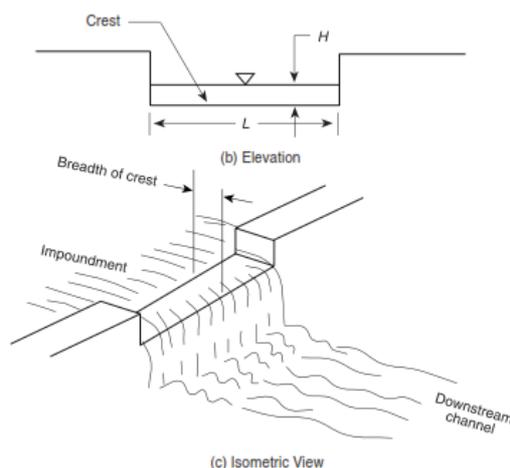


Ilustración 15. Dimensiones de un Vertedero (Gribbin, 2007).

Donde  $Q_v$  es el caudal que se obtiene a través del vertedero,  $H$  es la profundidad del agua sobre la cresta del vertedero y  $L$  es la longitud del ancho del vertedero. De esta ecuación se despeja el valor de longitud mientras se fija la altura del agua sobre el vertedero obteniendo la siguiente ecuación  $L = \frac{Q_v}{1,83H^2}$ . Se fijó el valor de la profundidad sobre el vertedero como 10 cm de la siguiente manera.

$$L = \frac{0,01 \frac{m^3}{s}}{1,83 \cdot 0,1m^2}$$

$$L = 0,18cm$$

Se puede redondear en ancho del canal a 20 cm para facilitar la construcción.

El armado del canal y sus especificaciones se pueden observar en el *Anexo B*.

A partir del vertedero se dimensiona y se diseña la estructura de las cámaras de desarenado y la cámara de bombeo. Para el diseño de las cámaras de desarenado se calcula la velocidad de sedimentación de las partículas que se desean remover utilizando la siguiente ecuación desarrollada mediante la teoría de sedimentación de Hazen y Stokes  $v_s = \frac{g(\rho_s - \rho)}{18\mu}d^2$ .

En donde:

$v_s$ : Velocidad de sedimentación [m/s].

$g$ : Gravedad [m/s<sup>2</sup>].

$\rho_s$ : Peso específico de la partícula.

$\rho$ : Peso específico del fluido (agua).

$\mu$ : Viscosidad cinemática del fluido [cm<sup>2</sup>/s].

$d$ : Diámetro de las partículas [mm].

Las partículas que se desean retirar son las mismas de las cuales el suelo está compuesto en esta área. Se sabe que utilizando el sistema de clasificación SUCS el suelo en el área del proyecto corresponde a un Limo-arenoso (SM). Valores referenciales de este tipo de suelo indican un peso específico de la partícula de 2,03 g/cm<sup>3</sup> (Duque Escobar & Escobar P., 2020) y un diámetro nominal de 0,005 mm (López, 2004). En cuanto a los valores de peso específico y viscosidad cinemática del agua sus valores son de 1 g/cm<sup>3</sup> para el peso específico del agua y 0,01059 cm<sup>2</sup>/s para la viscosidad cinemática del agua (López, 2004). Se reemplazan estos valores y el valor correspondiente de gravedad en la ecuación:

$$v_s = \frac{981 \frac{cm}{s^2} (2,03 \frac{g}{cm^3} - 1 \frac{g}{cm^3})}{18 \cdot 0,01059 \frac{cm^2}{s}} (0,005mm)^2$$

$$v_s = 0,09 \frac{cm}{s}$$

El tanque de desarenado estará compuesto de 3 cámaras conectadas por vertederos de 20 cm de profundidad desde la parte superior del tanque por 20 cm de ancho. Con estas dimensiones se puede determinar el tiempo de que se demoran las partículas en bajar 20 cm y quedar atrapadas en las cámaras de desarenado utilizando la ecuación  $t = \frac{H}{v_s}$  (López, 2004).

En donde:

$t$ : Tiempo que tardaría la partícula de 0,005 mm de diámetro en bajar 20 cm [s].

$H$ : Profundidad del vertedero [cm].

$v_s$ : Velocidad de sedimentación de la partícula de 0,005 mm de diámetro [cm/s].

Reemplazando los valores:

$$t = \frac{20\text{cm}}{0,09 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}$$

$$t = 222,22\text{s}$$

Por lo tanto los 3 tanques deben tener un tiempo de detención mínimo de 222,22 segundos. Con este criterio se puede determinar que cada tanque debe tener al menos un tiempo de detención mínimo de 74 segundo. Se escoge un tiempo de detención  $t_d$  de 75 segundos como parámetro de diseño para las cámaras de desarenado. Para asegurar este tiempo de detención en cada uno de los tanques se deben proporcionar las dimensiones adecuadas de cada uno de los tanques. Para esto se utiliza la siguiente ecuación  $V = Q_v * t_d$ .

En donde:

$V$ : Volumen del tanque [ $\text{m}^3$ ].

$Q_v$ : Caudal saliente del vertedero de ingreso [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].

$t_d$ : Tiempo de detención [s].

Reemplazando los valores en la ecuación se obtiene:

$$V = 0,01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 75\text{s}$$

$$V = 0,75\text{m}^3$$

Con este volumen requerido podemos dimensionar el tanque de desarenado con los siguientes valores de largo, ancho y profundidad.

Largo: 1,5m.

Ancho: 1,0m.

Profundidad: 1,5m.

Las dimensiones del tanque son mayores a las mínimas para cumplir requerimientos de diseño del tanque de almacenamiento y caudales utilizados por la bomba.

En cuanto a la cámara de bombeo, en donde se ubicará la bomba sumergible, esta tendrá las siguientes dimensiones:

Largo: 1,5m.

Ancho: 2,0m.

Profundidad: 1,5m.

Las dimensiones del tanque de bombeo responden al diseño del almacenamiento y son las mínimas necesarias para cumplir con los requerimientos del caudal de diseño y almacenamiento del proyecto.

Con estas dimensiones el volumen total de nuestro tanque de desarenado sería de  $2,25 \text{ m}^3$ , el cual es mayor al mínimo necesario de  $1,725 \text{ m}^3$ . En total el volumen de los tanques de desarenado es

de 6,75 m<sup>3</sup> y el volumen de la cámara de bombeo es de 4,5 m<sup>3</sup>. Hay que recalcar que son necesarios 3 tanques de desarenado y un tanque de bombeo unidos mediante vertederos de 20 cm de profundidad desde la parte superior por 20 cm de ancho en las paredes de los tanques como se muestra en el *Anexo C* junto con el detalle del armado del tanque de desarenado y bombeo.

El diseño estructural de la captación se lo hizo con la ayuda del programa SAP2000®. En este los las cantidades de área de acero fueron las siguientes mostradas en la *Tabla 12*:

<b>Refuerzo Estructural Captación</b>		
<b>Muros 1,5X1,5X0,2</b>		
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	1,22
	Ast2 [cm2/m]	1,7
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	0,7
	Ast2 [cm2/m]	0,6
<b>Muros 6X1,5X0,2</b>		
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	1,22
	Ast2 [cm2/m]	1,7
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	0,65
	Ast2 [cm2/m]	0,65
<b>Losa 6X1,5X0,25</b>		
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	mín
	Ast2 [cm2/m]	mín
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	mín
	Ast2 [cm2/m]	mín
<b>Losa 2X1,5X0,2</b>		
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	mín
	Ast2 [cm2/m]	mín
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	mín
	Ast2 [cm2/m]	mín

Tabla 12. Refuerzo Estructural Captación [cm2/m].

El acero necesario por cuantía mínima se calcula con la siguiente ecuación según la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC – 15:

$$A_{smin} \geq \max \left[ \frac{1,4}{f_y} b_w d; \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d \right]$$

Donde:

$A_{smin}$ : Cantidad de acero mínimo

$f_y$ : Resistencia del acero de refuerzo.

$f'_c$ : Resistencia a compresión del hormigón.

$b_w$ : Ancho.

$d$ : Peralte efectivo.

Se reemplazan los valores en la ecuación:

$$A_{smin} = \frac{1,4}{420} (1 \times 0,15) = \frac{0,0005m^2}{m} = \frac{5,0cm^2}{m}$$

Reemplazando estos valores para los elementos de ancho de 20 cm y de 25 cm se tienen los siguientes valores en la *Tabla 13*:

<b>Refuerzo Acero Mínimo Captación</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Área de Acero [cm<sup>2</sup>/m]</b>
Muros 1,5X1,5X0,2	5,0
Muros 6X1,5X0,2	5,0
Losa 6X1,5X0,25	6,7
Losa 2X1,5X0,2	5,0

*Tabla 13. Refuerzo Mínimo Captación [cm<sup>2</sup>/m].*

Los valores de acero a utilizar y el número de varillas se encuentran la siguiente *Tabla 14*:

<b>Refuerzo Estructural Captación</b>			
<b>Muros 1,5X1,5X0,2</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
<b>Muros 6X1,5X0,2</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
<b>Losa 6X1,5X0,25</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	6,7	1Φ12mm@20cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	6,7	1Φ12mm@20cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	6,7	1Φ12mm@20cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	6,7	1Φ12mm@20cm
<b>Losa 2X1,5X0,2</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm
	Ast2 [cm <sup>2</sup> /m]	5,0	1Φ12mm@25cm

*Tabla 14. Refuerzo Estructural Captación [varillas].*

Para dimensionar y diseñar el almacenamiento es necesario primero conocer la ubicación del reservorio. Este se ubica, según Google Earth®, en las siguientes coordenadas 0° 04' 06,76'' N, 78° 45' 24,01'' W a una elevación de 1757 m. Luego es necesario conocer el déficit mensual hídrico. Para conocer el déficit hídrico se debe restar de la cantidad de m<sup>3</sup> que llueve por hectárea cada mes el requerimiento hídrico, con esto se puede saber durante qué meses el agua de la lluvia cumple con los requerimientos hídricos de la caña. Esto se puede ver a continuación en la *Tabla 15*.

OFERTA MINIMA - DEMANDA												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Precipitación [mm]	96,1	160,9	148,6	129	123,3	18,5	12,2	0,3	2,4	11,2	7,4	50
Cantidad de Agua/ha [m3]	961	1609	1486	1290	1233	185	122	3	24	112	74	500
Déficit Real/ha [m3]	661	1309	1186	990	933	-115	-178	-297	-276	-188	-226	200

Tabla 15. Oferta Hídrica Mínima - Demanda Hídrica.

Con esto se puede observar que es únicamente durante 6 meses al año, desde Junio hasta Noviembre, que es necesario un sistema de riego aparte de la lluvia. Con esto debemos comparar si la cantidad faltante de agua requerida se la puede conseguir en la captación con el caudal que se tiene en el río. Para esto transformamos el déficit real [m<sup>3</sup>/mes] calculado previamente en un caudal diario [m<sup>3</sup>/día] mostrado en la *Tabla 16* y lo comparamos a la cantidad de agua que puede ser recaudada en la captación durante 20 horas mostrada en la *Tabla 17*, dejando 4 horas al día para regar los sembríos. Se puede observar este cálculo y el déficit final después de recaudar agua de la captación a continuación en la *Tabla 18*.

REQUERIMIENTOS DIARIOS POR HECTÁREA												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Deficit Real [m3]	661	1309	1186	990	933	-115	-178	-297	-276	-188	-226	200
Deficit Real [m3/día]	14,87	39,61	31,81	26,33	23,65	-3,83	-5,74	-9,58	-9,2	-6,06	-7,53	6,45

Tabla 16. Requerimientos Diarios por Hectárea.

OFERTA CAPTACIÓN 20 HORAS												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Disponibilidad en Captación [m3/s]	0,016	0,030	0,025	0,022	0,021	3,23E-03	2,06E-03	5,06E-05	4,19E-04	1,89E-03	1,29E-03	0,008
Cantidad Recaudada en 20h [m3]	1168	2164	1806	1620	1498	232,278	148,237	3,64516	30,1333	136,086	92,9111	607,5

Tabla 17. Oferta Captación en 20 Horas.

OFERTA CAPTACIÓN - REQUERIMIENTOS												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Deficit Real/ha [m3/día]</b>	14,871	39,607	31,806	26,333	23,645	-3,8333	-5,7419	-9,5806	-9,2	-6,0645	-7,5333	6,45
<b>Deficit Real Total [m3/día]</b>	63,945	170,31	136,77	113,23	101,67	-16,483	-24,69	-41,197	-39,56	-26,077	-32,393	27,735
<b>Cantidad Recaudada en 20h [m3]</b>	1167,7	2164,5	1805,6	1619,7	1498,2	232,28	148,24	3,6452	30,133	136,09	92,911	607,53
<b>Deficit Final [m3/día]</b>	1231,6	2334,8	1942,3	1732,9	1599,8	215,79	123,55	-37,552	-9,4267	110,01	60,518	635,26

Tabla 18. Oferta Captación - Requerimientos.

Con esto se puede observar que únicamente durante el mes de Agosto y Septiembre el caudal del río no es suficiente para abastecer los requerimientos hídricos de las 4,3 hectáreas de plantación del proyecto. Estos valores indican que durante los meses de Agosto y Septiembre debe existir un reservorio que proporcione durante Agosto 37,55 m<sup>3</sup> diarios y durante Septiembre 9,43 m<sup>3</sup> diarios. Para que esto sea posible son necesarios 1446,91 m<sup>3</sup> de agua almacenada. Sin embargo las dimensiones para un reservorio de tal magnitud son demasiado grandes. Por esta razón se decidió durante el mes de Agosto acortar el uso de agua a una quinta parte de lo que normalmente se utiliza y durante el mes de Septiembre a la mitad de lo que normalmente se utiliza. Haciendo esto los nuevos valores de déficit final son los mostrados en la *Tabla 19* a continuación.

OFERTA CAPTACIÓN - REQUERIMIENTOS												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Deficit Real/ha [m3/día]</b>	14,871	39,607	31,806	26,333	23,645	-3,8333	-5,7419	-1,9161	-4,6	-6,0645	-7,5333	6,45
<b>Deficit Real Total [m3/día]</b>	63,945	170,31	136,77	113,23	101,67	-16,483	-24,69	-8,2394	-19,78	-26,077	-32,393	27,735
<b>Cantidad Recaudada en 20h [m3]</b>	1167,7	2164,5	1805,6	1619,7	1498,2	232,28	148,24	3,6452	30,133	136,09	92,911	607,53
<b>Deficit Final [m3/día]</b>	1231,6	2334,8	1942,3	1732,9	1599,8	215,79	123,55	-4,5942	10,353	110,01	60,518	635,26

Tabla 19. Ofertas Captación - Requerimientos Totales.

El déficit hídrico que se presentará puede ser controlado utilizando productos agrícolas super absorbentes compuestos de poliácido de potasio (PLUSAGRO, 2020). Estos productos pueden reducir el consumo de agua de una plantación hasta en un 85% (PLUSAGRO, 2020). Con este ajuste ahora únicamente durante el mes de Agosto es necesario un reservorio de alrededor de 142 m<sup>3</sup>. Con este valor se dimensionó y diseñó un reservorio enterrado de ancho, largo y alto siguientes:

Ancho: 6m.

Largo: 10m.

Alto: 3m.

El armado y el material a utilizar para el reservorio están detallado y se puede observar en el *Anexo C*. Para el cálculo estructural se determinaron las cargas actuantes sobre el reservorio que son: carga presión lateral y vertical hidráulica, presión lateral suelo, carga muerta y carga viva.

Se determinaron los momentos y cortantes actuantes sobre la estructura y al área de acero necesaria utilizando el programa SAP2000®. Con este programa se obtuvieron los siguientes datos de la *Tabla 20* en los cálculos de área de acero tomando en cuenta las cuantías de acero mínimo requeridas según la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC – 15:

<b>Refuerzo Estructural Reservorio</b>			
<b>Muros 10X3X0,3</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	10,48	1Φ16mm@15cm
	Ast2 [cm2/m]	7,5	1Φ16mm@20cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	10,48	1Φ16mm@15cm
	Ast2 [cm2/m]	7,5	1Φ16mm@20cm
<b>Muros 6X3X0,3</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	24,42	1Φ20mm@10cm
	Ast2 [cm2/m]	7,5	1Φ16mm@20cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	24,42	1Φ20mm@10cm
	Ast2 [cm2/m]	7,5	1Φ16mm@20cm
<b>Losa 10X6X0,3</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	24,42	1Φ20mm@10cm
	Ast2 [cm2/m]	10,48	1Φ16mm@15cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	24,42	1Φ20mm@10cm
	Ast2 [cm2/m]	10,48	1Φ16mm@15cm
<b>Losa 10X6X0,25</b>			
<b>Top</b>	Ast1 [cm2/m]	6,93	1Φ16mm@25cm
	Ast2 [cm2/m]	6,93	1Φ16mm@25cm
<b>Bottom</b>	Ast1 [cm2/m]	6,93	1Φ16mm@25cm
	Ast2 [cm2/m]	6,93	1Φ16mm@25cm

*Tabla 20. Refuerzo Estructural Reservorio.*

A continuación se dimensionará la bomba y la tubería de aducción entre la captación y el almacenamiento. Para esto es necesario conocer la distancia que hay entre la captación y el almacenamiento así como la diferencia de elevación que hay entre estas dos estructuras. Primero para dimensionar la bomba que se necesita para el proyecto se utiliza la ecuación de conservación de energía de Bernoulli.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

En donde:

$z_1$ : Elevación del fluido en el punto 1.

$z_2$ : Elevación del fluido en el punto 2.

$P_1$ : Presión sobre el fluido en el punto 1.

$P_2$ : Presión sobre el fluido en el punto 2.

$\gamma$ : Peso específico del fluido.

$v_1$ : Velocidad del fluido en el punto 1.

$v_2$ : Velocidad del fluido en el punto 2.

$g$ : Gravedad.

$h_A$ : Energía agregada mediante bomba.

$h_L$ : Energía disipada o perdida por efectos de rugosidad o mediante un dispositivo mecánico.

El punto 1 es considerado como el punto de partida del fluido, donde se encuentra la bomba. El punto 2 es considerado como el punto de llegada del fluido en el almacenamiento. Tomando esto en cuenta los valores de las variables o los datos para la ecuación son los siguientes mostrados en la *Tabla 21*.

DATOS		
Variable	Unidad	Valor
z1	[m]	1693,5
z2	[m]	1757
P1	[kN/m2]	14,715
P2	[pa]	0
v1	[m/s]	N/A
v2	[m/s]	0
$\gamma$	[knN/m3]	9,81
g	[m/s2]	9,81

Tabla 21. Datos Tubería Aducción.

Con estos datos se puede llenar la ecuación.

$$1693,5 + \frac{14,715}{9,81} + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = 1757 + 0 + 0$$

$$\frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L = 62$$

No conocemos exactamente el valor de velocidad pero empezamos iterando con el valor de velocidad obtenido mediante la ecuación de continuidad. Donde utilizamos el caudal que ofrece la bomba y el área de la sección de la tubería de 1 ¼ de pulgadas que se va a utilizar.

$$Q = v * A$$

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

$$v = \frac{0,002}{0,00079} = 2,53 \frac{m}{s}$$

Con este valor se reemplaza en la ecuación.

$$\frac{2,53^2}{19,62} + h_A - h_L = 62m$$

$$h_A - h_L = 61,67m$$

Para encontrar el valor correspondiente a las pérdidas de energía es necesario primero determinar el número de Reynolds del fluido con la ecuación del número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

En donde:

$\rho$ : Densidad del fluido.

$v$ : Velocidad del fluido.

$D$ : Diámetro de la tubería.

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido.

Se reemplazan los valores en la ecuación.

$$Re = \frac{998 \frac{kg}{m^3} \cdot 2,53 \frac{m}{s} \cdot 0,0254m}{0,001005pa \cdot s}$$

$$Re = 79645,43$$

Debido a que el valor del número de Reynolds es mayor a 4000, se considera el flujo a través de la tubería como turbulento.

Luego se calcula el valor de la constante  $f$  de fricción para determinar las pérdidas de energía.

$$f = \frac{1,325}{-\ln\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)}$$

Donde:

$\varepsilon$ : Rugosidad absoluta.

$D$ : Diámetro tubería.

Para la rugosidad absoluta se obtuvieron valores referenciales para tubería de plástico equivalentes a 0,0015 mm (Universidad de Castilla - La Mancha, 2020). Con estos valores se reemplazan en la ecuación para obtener lo siguiente.

$$f = \frac{1,325}{-\ln\left(\frac{0,0000015m}{3,7 \cdot 0,03175m} + \frac{5,74}{79645,43^{0,9}}\right)}$$

$$f = 0,019$$

Para determinar las pérdidas de energía se utiliza la siguiente ecuación.

$$hf = \frac{v^2}{2g} \left( f \frac{L}{D} + \sum K_{C_{90}} + \sum K_{C_{45}} \right)$$

Donde:

$L$ : Longitud de tubería.

$K_{C_{90}}$ : Sumatoria de coeficientes de pérdida de energía por codos de 90.

$K_{C_{45}}$ : Sumatoria de coeficientes de pérdida de energía por codos de 45.

La longitud de la tubería para el proyecto es de 287,41m y los coeficientes de pérdida de energía por codos de 90 y de 45 es de 0,9 y 0,4 respectivamente (Universidad de Castilla - La Mancha, 2020). En la trayectoria se encuentran 2 codos de 90 y 4 codos de 45.

$$Kc_{90} = 2 \cdot 0,9 = 1,8$$

$$Kc_{45} = 15 \cdot 0,4 = 6$$

Se reemplazan dichos valores en la ecuación.

$$h_L = \frac{2,53^2}{19,62} \left( 0,019 \frac{480,94}{0,03175} + 1,8 + 6 \right)$$

$$h_L = 96,08m$$

Finalmente despejando la ecuación de la conservación de la energía de Bernoulli podemos encontrar la energía agregada que requerimos de la bomba.

$$h_A = 62 + h_L$$

$$h_A = 158,41m$$

Sin embargo, la velocidad utilizada no es la real, para determinar la velocidad exacta hay que iterar el proceso utilizando la siguiente ecuación.

$$v = \sqrt{\frac{2g(z_2 - z_1)}{\left( \left( f \cdot \frac{L}{D} \right) + \sum Kc_{90} + \sum Kc_{45} + 1 \right)}}$$

Reemplazando los valores en esta ecuación se obtiene un valor para velocidad.

$$v = 2,03 \frac{m}{s}$$

Se itera el proceso desde el comienzo utilizando este valor de velocidad, y se continúa iterando hasta que el valor de velocidad deje de variar. El valor final de velocidad para el proyecto es de:

$$v = 1,98 \frac{m}{s}$$

Con esta velocidad los valores de pérdidas de energía y de energía necesaria de la bomba son los siguientes:

$$h_L = 61,8m$$

$$h_A = 124,0m$$

Finalmente para determinar la potencia necesaria de la bomba se utiliza la siguiente ecuación.

$$P_b = \frac{Q\rho gh_A}{746e}$$

Donde:

$Q$ : Caudal requerido.

$e$ : Eficiencia de la bomba.

Se reemplazan los valores en la ecuación.

$$P_b = \frac{0,002 \cdot 9,81 \cdot 124,0}{746 \cdot 0,75}$$

$$P_b = 4,34HP$$

Es necesaria una bomba de 4,34 HP que bombee  $0,002 \text{ m}^3$  por segundo una altura de 124 m.

La ficha técnica de la bomba a utilizar se encuentra en el *Anexo E*.

Para el diseño de la tubería de aducción es necesario escoger el diámetro y el material de la tubería y determinar la trayectoria de la misma. Debido a que para el diseño de la bomba se utilizó un diámetro de tubería de  $1 \frac{1}{4}$  pulgadas se mantiene el mismo diámetro de tubería. En cuanto al material de la tubería se utilizará tubería PVC ya que su colocación es mucho más sencilla. Esta será enterrada 80 cm con 10 cm de cama de arena y relleno compactado. Finalmente para el trazado de la trayectoria de la tubería, se evitaron construcciones existentes manteniendo líneas rectas. En total se utilizarán 480,94 m de tubería y canalización. En el *Anexo F* se puede observar el trazado de la tubería en vista planimétrica y de perfil junto con la sección típica de la zanja en donde se coloca la tubería.

Finalmente para la tubería de distribución es necesario determinar el diámetro, el material y el trazado de la trayectoria de la tubería de distribución. Para determinar el diámetro de la tubería a utilizar se debe considerar el caudal que se desea distribuir, la diferencia de elevación entre el reservorio y los puntos de distribución, el material de la tubería y la longitud de la tubería. Para determinar esto se dividieron las 4,3 ha de plantación en tres sectores y se marcaron sus puntos más altos como se muestra en la *Figura 16*.



Ilustración 16. Parcelas de Plantación Google Earth®.

El área de cada una de las parcelas fue medida utilizando la herramienta Google Earth ® y sus áreas respectivas se muestran en la *Tabla 22*.

ÁREA PARCELAS PLANTACIÓN	
Parcela 1 [ha]	0,87
Parcela 2 [ha]	0,98
Parcela 3 [ha]	2,41

Tabla 22. Área Parcelas de Plantación.

De esta manera se pueden obtener los caudales requeridos para cada una de las parcelas de plantación, multiplicando la fracción de área que representa cada parcela por el consumo promedio hídrico del proyecto. Estos caudales se pueden observar en la *Tabla 23* a continuación.

CAUDALES PARCELAS PLANTACIÓN	
Parcela 1 [m <sup>3</sup> /s]	0,00020
Parcela 2 [m <sup>3</sup> /s]	0,00023
Parcela 3 [m <sup>3</sup> /s]	0,00057

Tabla 23. Caudales por Parcelas de Plantación.

Luego, para determinar la longitud de las tuberías y las elevaciones de los puntos de distribución se trazaron las trayectorias de la tubería de distribución. En el *Anexo F* se puede observar el trazado planimétrico y en perfil de las tuberías de distribución. Por motivos de facilidad de construcción se utilizaron las mismas zanjas de la tubería de aducción para el trazado de la tubería principal de distribución. A partir de la tubería principal de distribución, que llega hasta el punto de distribución de la parcela 3, se ramifican las tuberías de distribución hacia los puntos de distribución de las parcelas 1 y 2. Sin embargo, para definir el diámetro de la tubería se considera la tubería principal y las elevaciones del reservorio y del punto de distribución de la parcela 3 junto con el caudal total. En la *Tabla 24* y en la *Tabla 25* se pueden observar los datos de caudal, material, longitud y de elevación de los puntos de inicio y fin de la tubería principal.

TUBERÍA		
Material	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Longitud [m]
PVC	0,006	349,74

Tabla 24. Datos de Tubería.

ELEVACIONES [m]	
Reservorio	1757
Distribución 3	1708

Tabla 25. Elevaciones Puntos Claves.

Con estos datos se puede determinar finalmente el diámetro de la tubería que se va a utilizar con la ecuación de Hazen-Williams (López, 2004).

$$D = \left( \frac{Q}{0,2785CJ^{0,54}} \right)^{1/2,63}$$

Donde:

$D$ : Diámetro interno de la tubería [m].

$Q$ : Caudal [m<sup>3</sup>/s].

$C$ : Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams.

$J$ : Pérdida de carga unitaria o pendiente de la línea de energía [m/m de tubería].

Para la pendiente de carga unitaria se divide el valor de altura para la longitud de la tubería como se muestra en la ecuación.

$$J = \frac{H}{L}$$

Donde:

$H$ : Diferencia de altura tubería.

$L$ : Longitud de tubería.

De manera que la ecuación se puede escribir de esta forma.

$$D = \left( \frac{Q}{0,2785C \left( \frac{H}{L} \right)^{0,54}} \right)^{1/2,63}$$

El coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams es un valor que depende del material de la tubería de acuerdo a la *Figura 17* el valor del coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams para las tuberías del proyecto es igual a 150 para tubería PVC.

**Tabla 10.7**  
Coeficientes de rugosidad típicos

Material de la tubería		C
Acero remachado	(nuevo)	110
Acero remachado	(usado)	85
Acero soldado	(nuevo)	130
Acero soldado	(usado)	90
Hierro fundido	(nuevo)	130
Hierro fundido	(15-20 años)	100
Hierro fundido	(> 20 años)	90
Concreto	(buena terminación)	130
Concreto	(terminación común)	120
Asbesto-cemento		140
Plástico (PVC)		150

*Ilustración 17. Coeficientes de Rugosidad Típicos (López, 2004).*

Se reemplazan los valores en la ecuación y los resultados se muestran en las *Tablas 26, 27 y 28*:

<b>Principal</b>	<b>Q [m3/s]</b>	0,006
	<b>H [m]</b>	49
	<b>L [m]</b>	349,74
	<b>J [m/m]</b>	0,14010408
	<b>C</b>	150
	<b>D [in]</b>	2,03841347

*Tabla 26. Tubería Principal*

<b>Rama 1</b>	<b>Q [m3/s]</b>	0,001224
	<b>H [m]</b>	3
	<b>L [m]</b>	20,65
	<b>J [m/m]</b>	0,14527845
	<b>C</b>	150
	<b>D [in]</b>	1,105504

*Tabla 27. Tubería Parcela 1*

<b>Rama 2</b>	<b>Q [m<sup>3</sup>/s]</b>	0,00138
	<b>H [m]</b>	37
	<b>L [m]</b>	104,34
	<b>J [m/m]</b>	0,35460993
	<b>C</b>	150
	<b>D [in]</b>	0,96337723

Tabla 28. Tubería Parcela 2

Se utiliza tubería PVC de diámetro de 2 pulgadas para la tubería principal y de 1 ¼” de pulgada para las ramificaciones hacia los puntos de distribución de las parcelas 1 y 2.

## ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Se determinará el costo del proyecto del sistema de riego. Para esto los costos fueron analizados mediante precios unitarios. Los precios unitarios son valores referenciales de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito en el 2016 (EPMAPS, 2016). Se detallaron los rubros en 3 actividades principales captación, reservorio y tubería y canalización. La primera actividad comprende: la estructura de captación, el muro de embalsamiento y los canales de vertederos para ingreso y desfogue del agua en los tanques de captación. La segunda actividad comprende: la estructura del reservorio. Finalmente la tercera actividad comprende la tubería y canalización para la aducción y distribución del agua. En el *Anexo G* se pueden observar, las diferentes actividades con sus respectivos rubros y precios unitarios actualizados para el año 2020, juntamente con el precio final de la obra. El precio final de la obra es de \$92.418,11.

A fin de comparar el precio de construcción y procesamiento de panela con las ganancias de producción de panela. Se obtuvieron datos de producción de toneladas de caña por hectárea al año. Cada hectárea de caña de variedad Ragnar produce 90,5 toneladas de caña al año (CINCAE, 2020). Por lo que 4,3 hectáreas de caña producen 389,15 toneladas de caña. El precio de producción anual de una hectárea de caña es de \$2.175,42 (Largo, 2020). Para las 4,3 hectáreas de caña a producir el costo de producción anual es de \$9.354,31. Se producen 220 panelas de 1kg por cada tonelada de caña producida (Largo, 2020). Cada hectárea que produce 90.5 toneladas de caña al año produce 85613 panelas al año. El precio de producción de panela es de \$181.943,96 (Largo, 2020). Un precio para la venta de panela de 1kg es de \$2,50. A partir de estos valores se determina que se obtiene una ganancia bruta anual de \$214.032,50 y una ganancia anual total de \$22.734,24. Se debe considerar el gasto inicial de la construcción del sistema de riego para determinar qué tan beneficioso es este proyecto. En la *Tabla 29 y 30* se muestran los gastos y ganancias de la producción de panela y el flujo de caja de este proyecto.

<b>Gastos y Ganancias</b>	
Sistema de Riego	\$ 92.418,11
Toneladas de Caña al Año	389,15
Costo producción caña	\$ 9.354,31
Costo producción panela	\$181.943,96
Panelas 1kg/T	220
Panelas Total	85613
Precio Panela	\$ 2,50
Ganancia Bruta	\$214.032,50
Ganancia Total	\$ 22.734,24

Tabla 29. Gastos y Ganancias

<b>Año</b>	<b>Gastos</b>	<b>Ingresos</b>	<b>Total Anual</b>	<b>Total</b>
0	\$ 92.418,11	\$ -	\$ -92.418,11	\$ -92.418,11
1	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ -69.683,87
2	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ -46.949,64
3	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ -24.215,40
4	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ -1.481,17
5	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 21.253,07
6	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 43.987,30
7	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 66.721,54
8	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 89.455,78
9	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 112.190,01
10	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 134.924,25
11	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 157.658,48
12	\$ 191.298,26	\$ 214.032,50	\$ 22.734,24	\$ 180.392,72

*Tabla 30. Flujo de Caja.*

La tasa interna de retorno a 10 años para este proyecto es del 5% la cual no es muy atractiva.

## CONCLUSIONES

Este proyecto muestra la utilidad de los conocimientos adquiridos en la facultad de ingeniería junto con el desarrollo del pensamiento ingenieril para la solución de problemas tangibles y actuales. Estos problemas tienen gran impacto sobre la economía del país. En el caso de este proyecto específicamente sobre uno de los sectores más influyentes, la agricultura. Los conocimientos adquiridos además muestran versatilidad a la hora de resolver problemas fuera de lo que comúnmente se considera en la ingeniería civil.

Por otro lado, la investigación demostró que la zona donde se planea ubicar la plantación presenta déficit hídricos bastante altos durante los meses de agosto y septiembre. Esto combinado con la demanda hídrica que tiene la caña presenta un desafío para inversionistas que decidan involucrarse en el mercado de productos como la caña de azúcar Ragnar. Por esta razón es indispensable en este caso un sistema de riego con un reservorio para estas actividades.

Es recomendable que durante el diseño de la captación se defina su ubicación. A partir de esta decisión se determina la distancia hasta el reservorio, la sección del río de la cual se va a tomar el agua y las dimensiones del embalse y de las estructuras de desarenado y de la cámara de bombeo. En ríos no muy profundos los métodos de captación son limitados y a pesar de que hay soluciones más rústicas y convencionales un diseño bien estructurado como el de este proyecto permite controlar los caudales que ingresan al sistema.

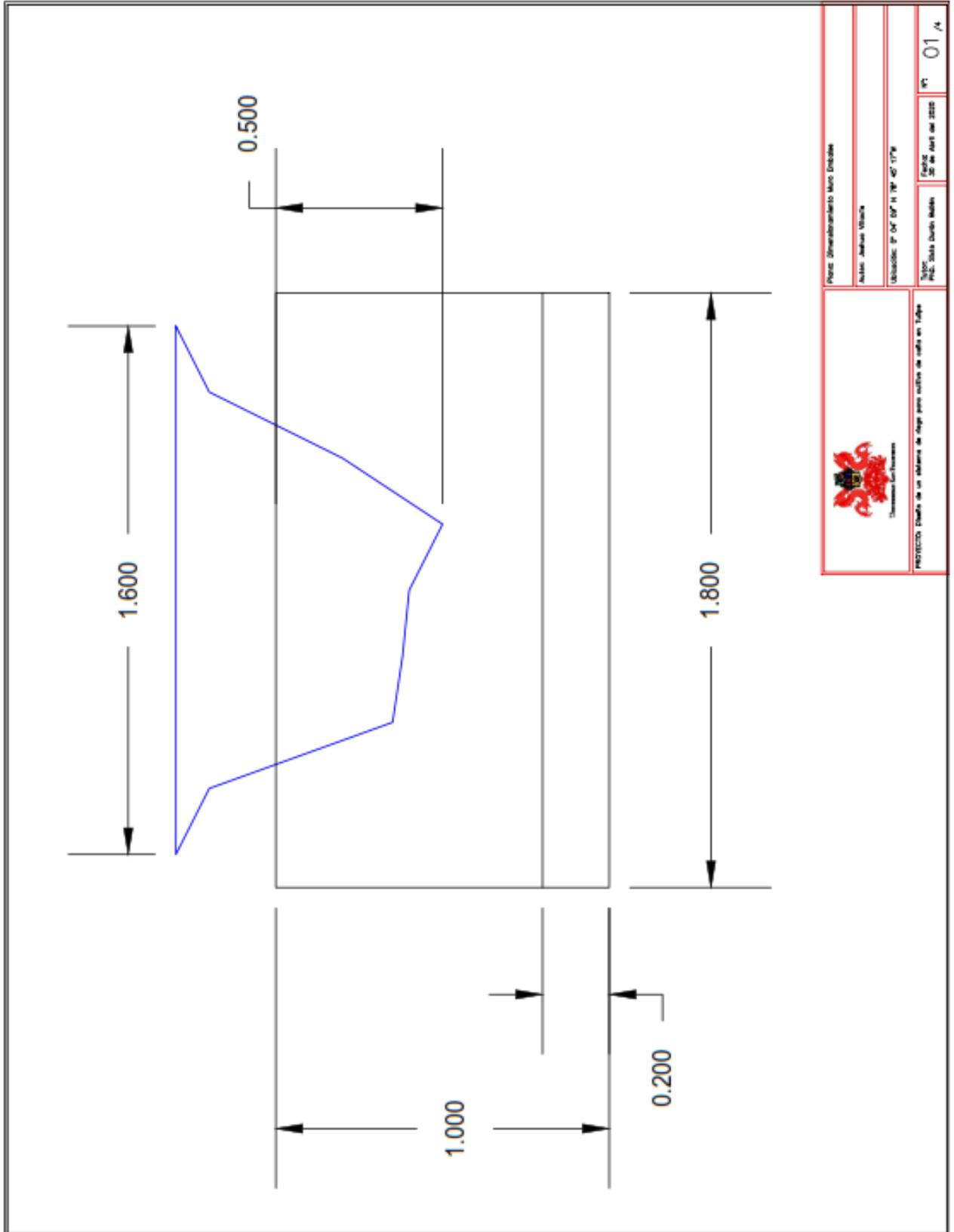
Durante los meses de agosto y septiembre los caudales en el río de captación son extremadamente bajos por lo tanto era imposible satisfacer las necesidades de riego de la plantación sin un reservorio. En esta estructura se almacena el agua recogida durante los meses de mayor oferta hídrica en un almacenamiento de  $180 \text{ m}^3$ . El agua almacenada, además del caudal del río, logran satisfacer una quinta parte de las demandas hídricas de la plantación. Sin embargo, esta situación no es tan alarmante debido a que esta sequía tiene un periodo de retorno mínimo de 18 años. Además, para solventar este problema se puede implementar el uso de polímeros súper absorbentes que reducen la demanda hídrica de la plantación.

Finalmente, suponiendo una producción y una ganancia óptima de panela la inversión de un sistema de riego más los costos de producción de la panela tienen una tasa interna de retorno del 5 % la cual es baja.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero Comercial Ecuatoriano S.A. (22 de Abril de 2020). *ST 4" – BOMBA MYERS SUMERGIBLE*. Obtenido de <https://www.acerocomercial.com/productos/marcas/myers/bombas-centrifugas-sumergibles-myers/pozo-profundo-agua-limpia/bomba-myers-sumergible-4-st/>
- Armas, M. I., Tec. Industrial Orellana Barba, L. A., & Ing. Velazco, A. (22 de Abril de 2020). *Centro de investigacion de la caña de azucar de Colombia*. Obtenido de Comportamiento de la germinación de variedades comerciales de caña de azúcar en extensión, cenicaña, B 7274 y Ragnar en la provincia de Morono Santiago, cantón Morona, parroquia Rio Blanco, comunidad San Miguel de Arapicos, Ecuador a 1000 m.s.n.m.: <https://es.slideshare.net/INGPAKOWPN/comportamiento-de-la-germinacin-de-variedades-comerciales-de-caa-de-azcar-en-extensin-cenicaa-b-7274-y-ragnar-en-la-provincia-de-morona-santiago-cantn-morona-parroquia-rio-blanco-comunidad-san-miguel-de-arapicos-ecuado>
- Board, S. W. (21 de Marzo de 2020). *Runoff Coefficient (C) Fact Sheet*. Obtenido de [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/513.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/513.pdf)
- CINCAE. (22 de Abril de 2020). *Informe Anual 2016*. Obtenido de <https://cincae.org/wp-content/uploads/2013/04/Informe-Anual-2016.pdf>
- Duarte, I. A. (19 de Marzo de 2020). *Uso del Agua en establecimientos agropecuarios*. Obtenido de [https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R\\_139\\_52.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R_139_52.pdf)
- Duque Escobar, G., & Escobar P., C. E. (13 de Abril de 2020). *RELACIONES GRAVIMÉTRICAS Y VOLUMÉTRICAS DEL SUELO*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://bdigital.unal.edu.co/53252/11/relacionesgravimetricasyvolumetricasdelsuelo.pdf>
- EPMAPS. (2016). *Precios Referenciales 2016*.
- GAD PARROQUIAL NANEGALITO. (19 de Marzo de 2020). Obtenido de <http://www.nanegalito.gob.ec/nanegalito/>
- Gribbin, J. E. (2007). *Introduction to Hydraulics and Hydrology with Applications for Stormwater Management*. New York: Thomson Delmar Learning.
- Largo, M. F. (22 de Abril de 2020). *TRABAJO DE TITULACIÓN*. Obtenido de MEJORAMIENTO DE LA RENTABILIDAD CON DIVERSIFICACIÓN DE SUB-PRODUCTOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR, EN CHAGUARPAMBA. LOJA.: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1983/1/CD769\\_TESIS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1983/1/CD769_TESIS.pdf)
- López, R. A. (2004). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- PLUSAGRO. (22 de Abril de 2020). *¿Qué es Polímero Super Absorbente?* Obtenido de <https://www.plusagro.cl/index.html#portafolio>
- Universidad de Castilla - La Mancha. (13 de Abril de 2020). *Pérdidas de carga localizadas o accidentales*. Obtenido de [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Trans\\_hidr/Tema8.PDF](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF)
- Universidad de Castilla - La Mancha. (13 de Abril de 2020). *Rugosidad Absoluta de Materiales*. Obtenido de [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/TablaRugosidadAbsolutaMateriales.pdf)

# ANEXO A: Muro Embalse



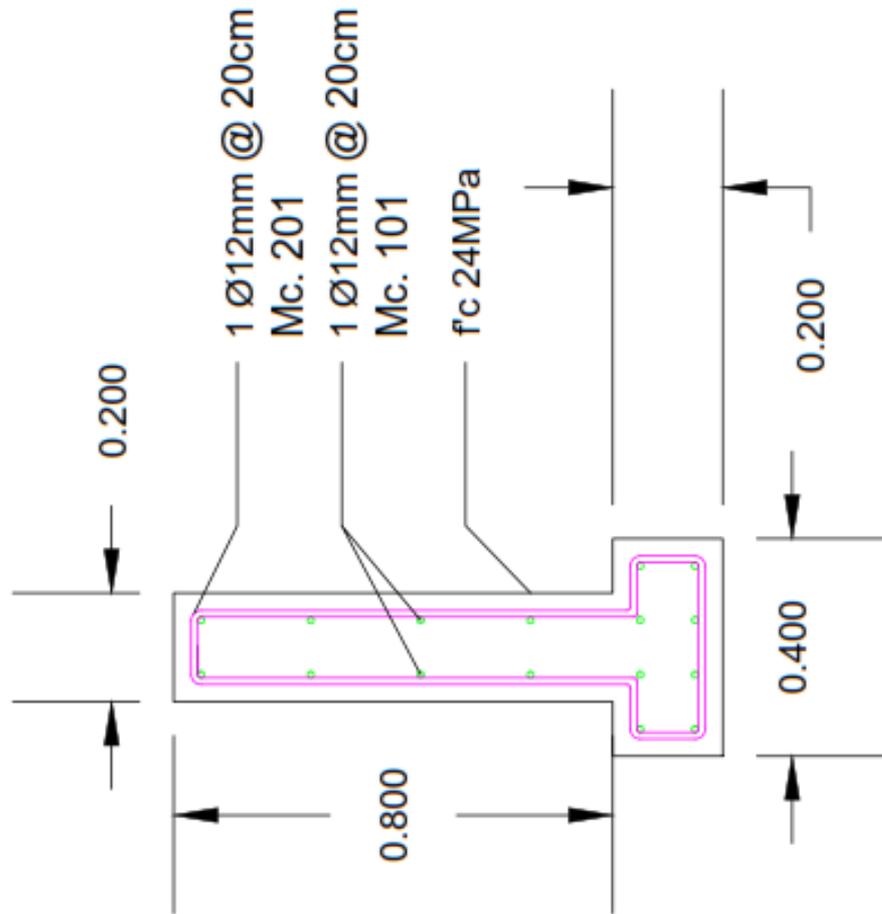
Mc. 101



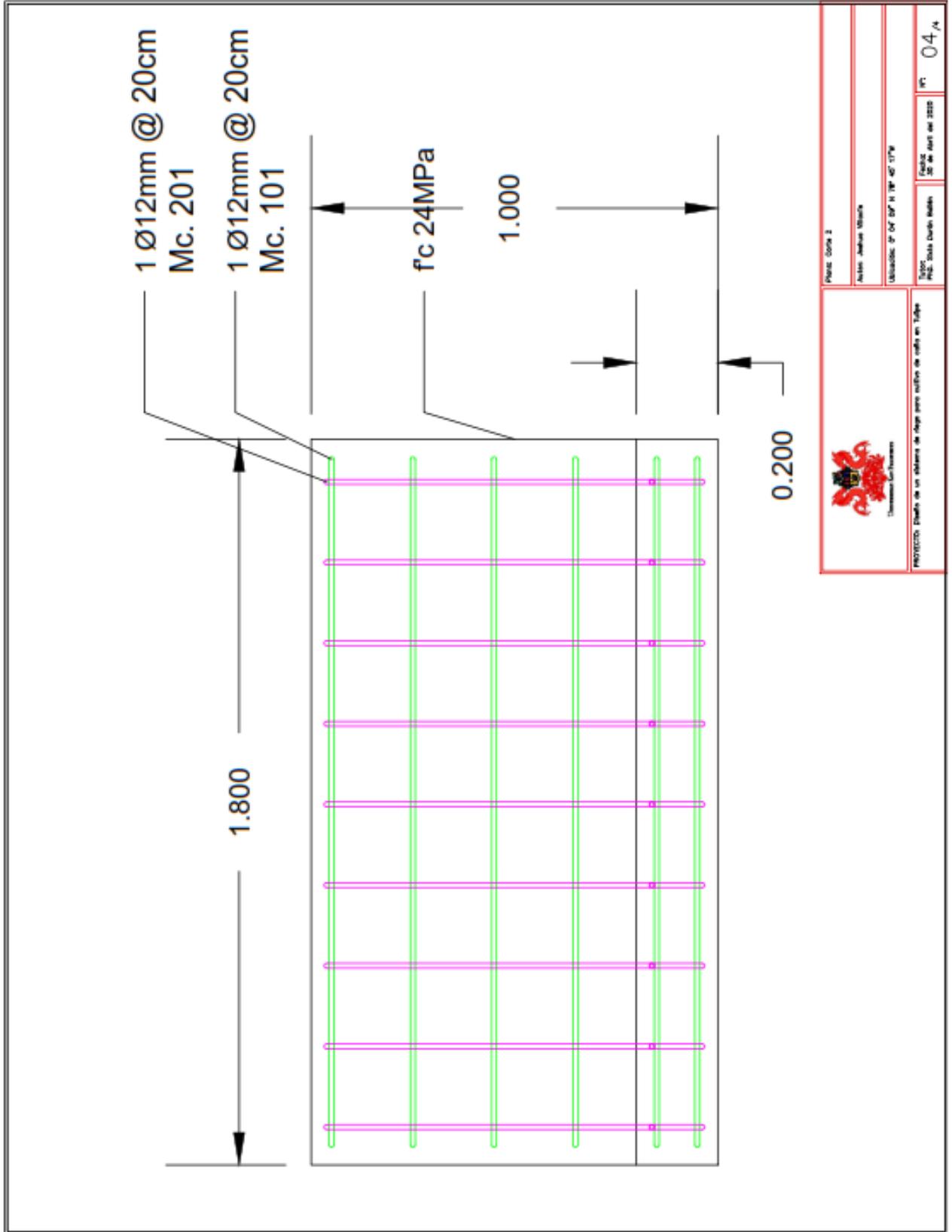
Mc. 201



 ESTADO DE CHIAPAS GOBIERNO DEL ESTADO	PROYECTO: Estado de Chiapas para mejorar de vida en Tuxtla	
	PROYECTO: Estado de Chiapas para mejorar de vida en Tuxtla	
Nombre del Proyecto: Estado de Chiapas para mejorar de vida en Tuxtla		
Fecha de Emisión: 20 de mayo del 2020		
Página: 02 de 02		

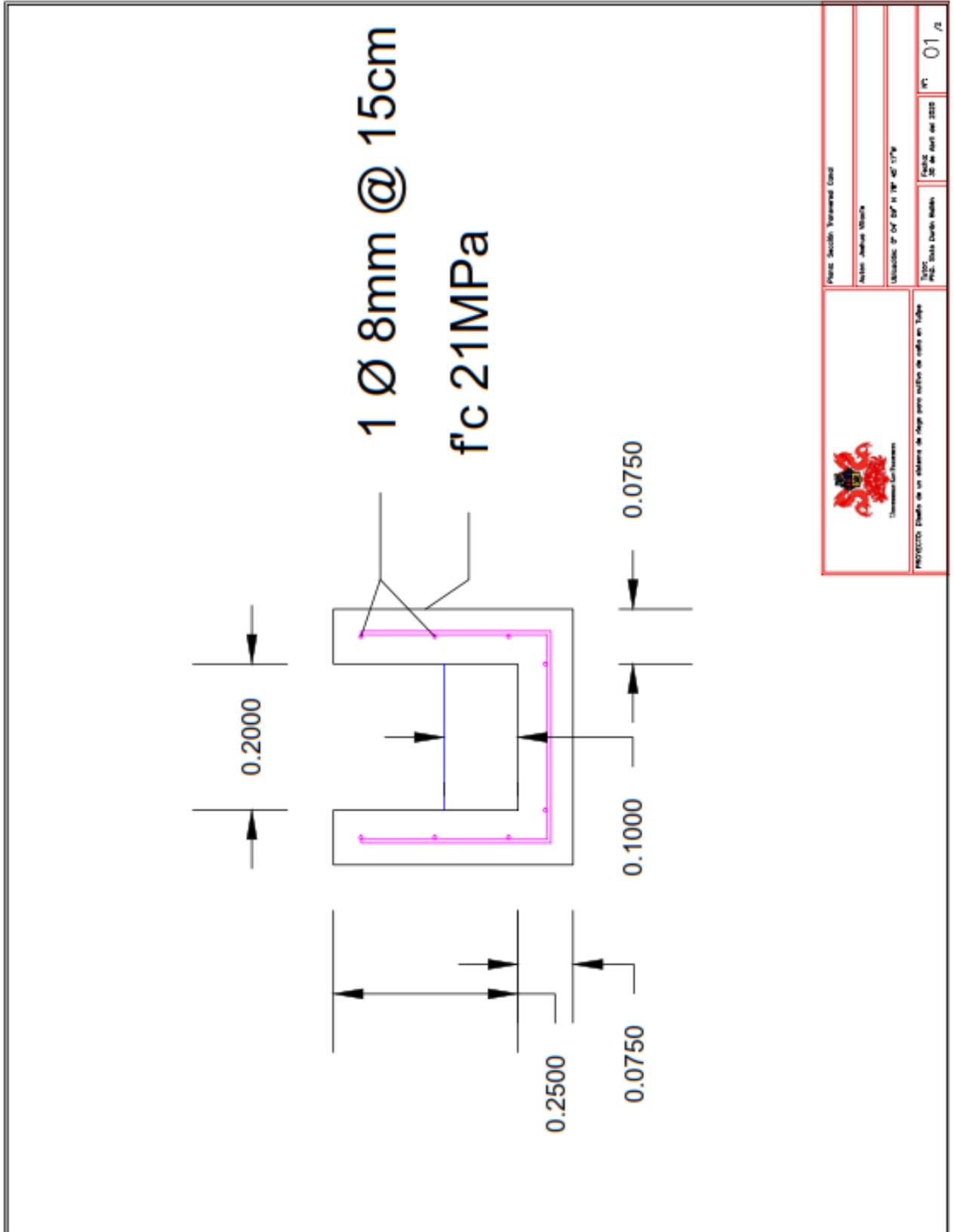


 <p>UNIVERSIDAD DE LA PAZ</p>		PLAN: 03/A 03/A	
		Autor: Juan Carlos Villalón Fecha: 20 de mayo del 2020	
PROYECTO: Estado de un sistema de apoyo para edificio de ocho en Toluca			

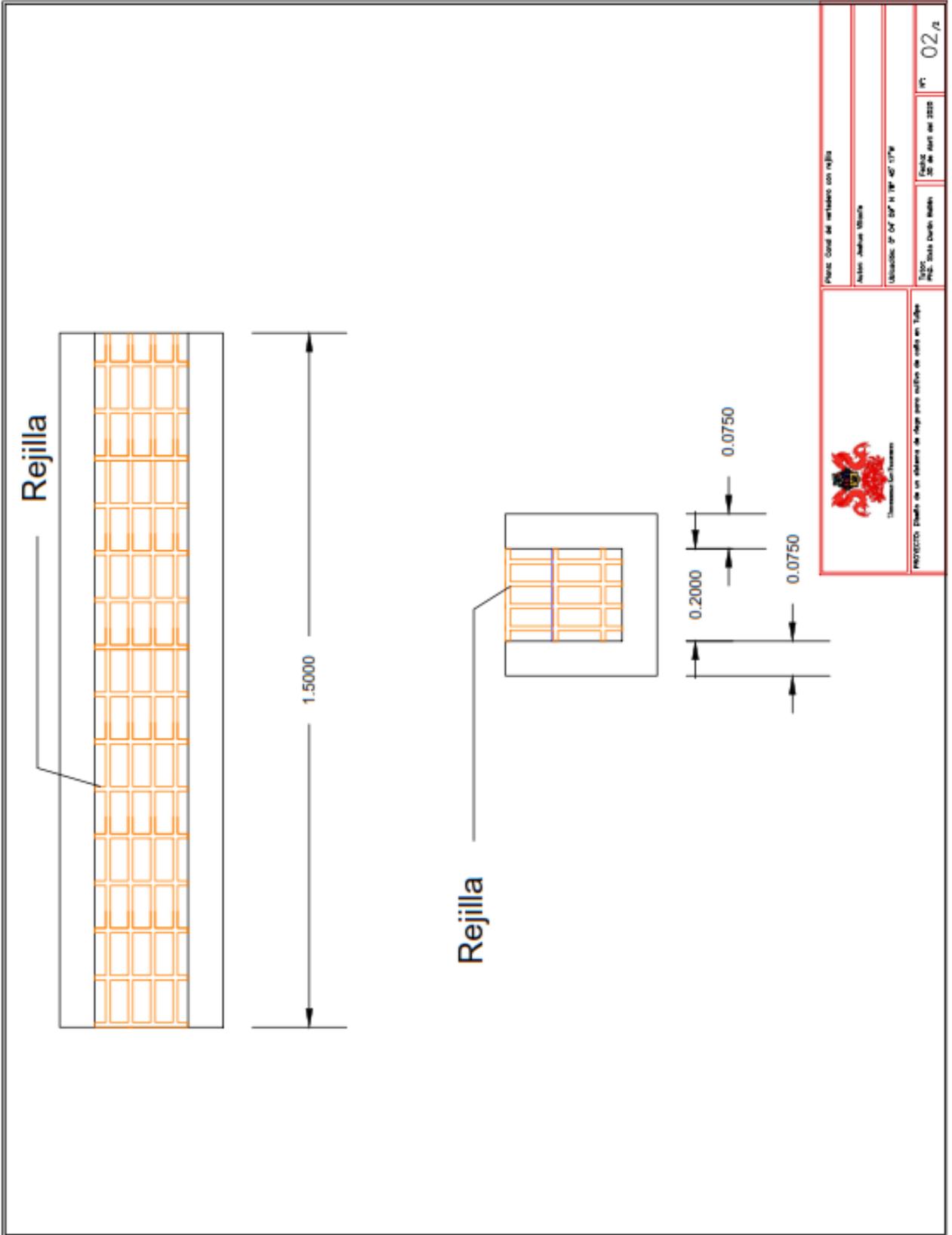


 <p>GOBIERNO DE ASTURIAS</p>		PLAN: C04.2	
		Autor: Javier Vázquez	
PROYECTO: Estudio de un sistema de apoyo para cultivo de soja en Tujes		Utilización: D. O. U. N. 10. 40. 11. P.	
Escala:		Fecha:	
P.O.:		20 de mayo del 2020	
P.O.:		04/A	

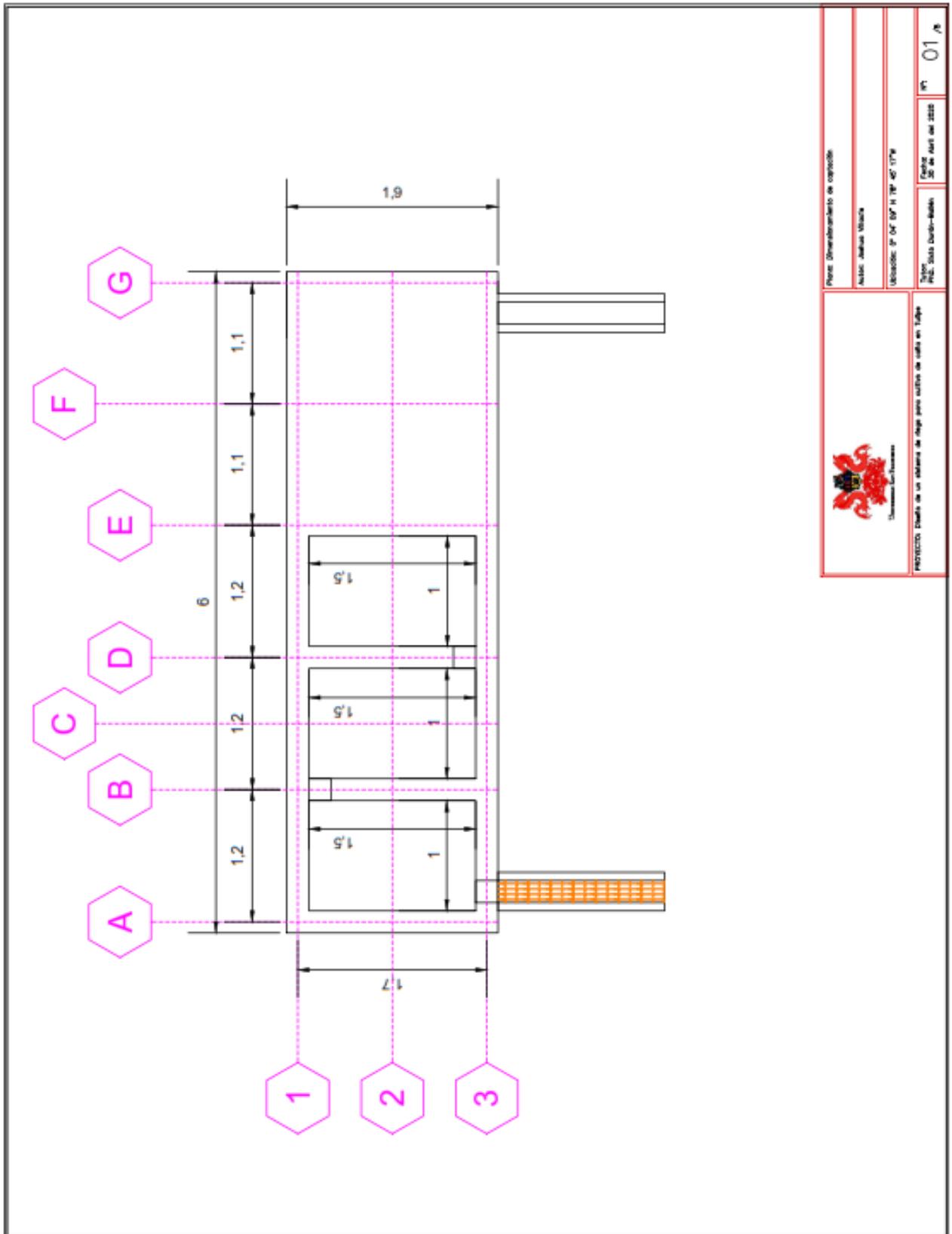
ANEXO B: Canal Vertedero



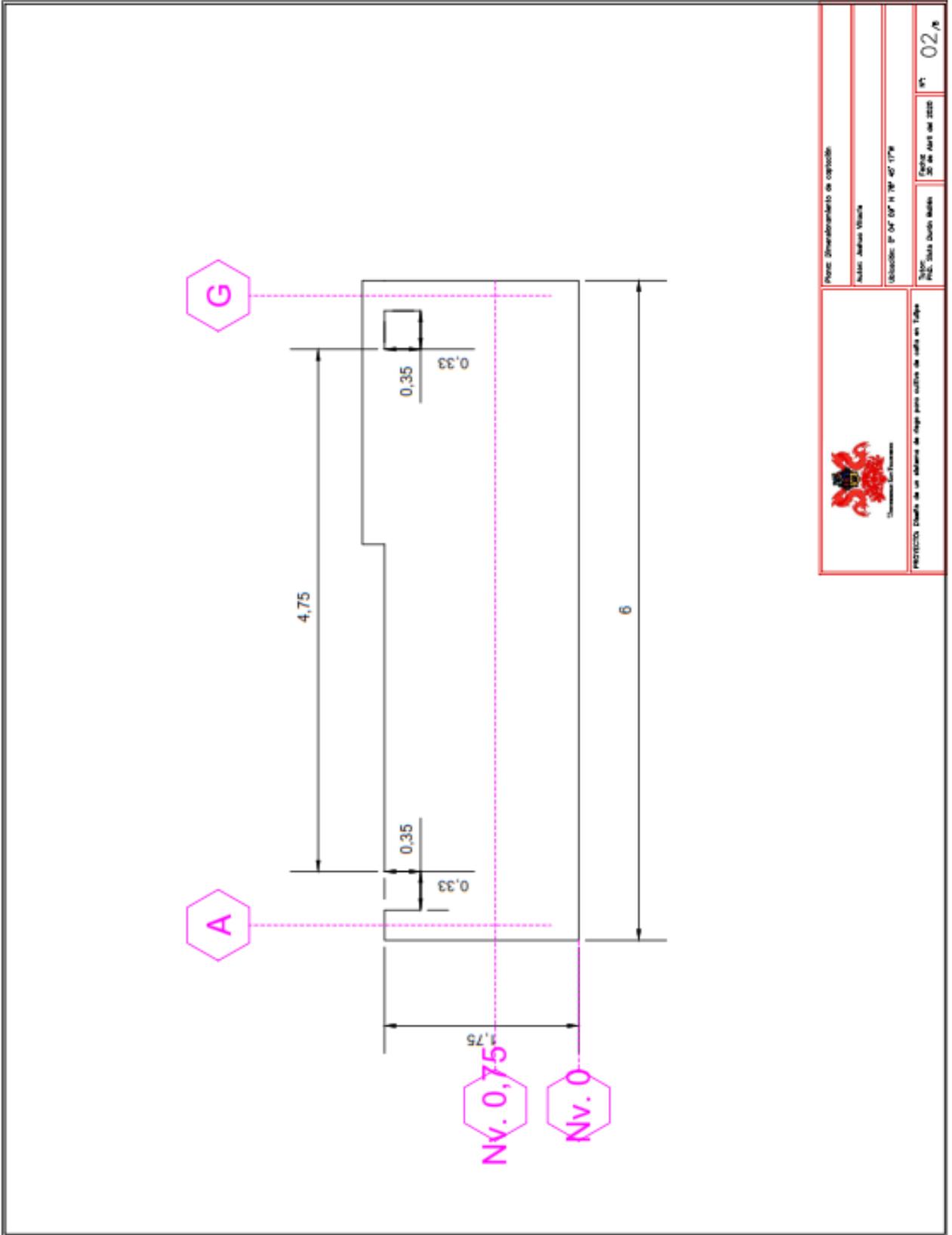
 <p style="text-align: center;">Universidad de Cuenca</p>		Plan: Sección Transversal Canal Autor: Julian Urbina Ubicación: ODF 007 N 100 m2 177a	
PROYECTO: Diseño de un sistema de riego para cultivo de cañote en Toluca		TITULO: FIC: Datos Cuentas Mañá	PLANOS: DE: Abril del 2022
			Nº: 01 / 2



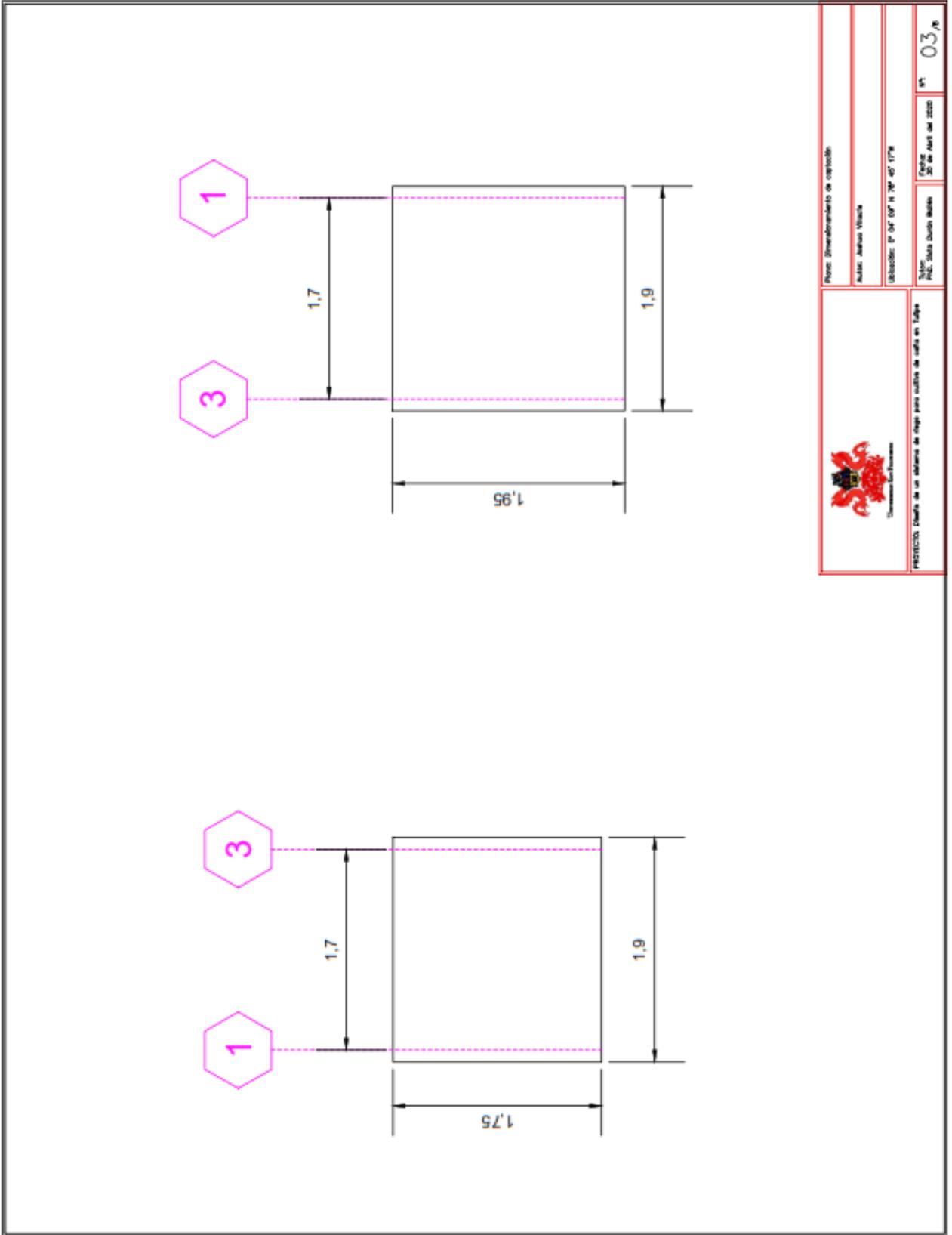
# ANEXO C: Desarenador y Cámara de Bombeo



 <p>PROYECTO: Diseño de un sistema de depuración de aguas residuales en Toluca</p>	Plano Dimensionamiento de capacidad Autor: Julian Urbina Ubicación: P. OF. 807 H. TSP 407 179	
	Inform. PNL: Datos Diseño-Modelo	Fecha: 26 de Abril del 2023 No: 01 / 01



 Universidad La Paz	Proyecto: Mejoramiento de coproble	
	Autor: Andres Vique	
PROYECTO: Diseño de un sistema de agua para cultivo de soja en Toluca	Ubicación: P. O. Box 1700 H. 700 40° 17' W	
	Escala: 1:1	
	Fecha: 20 de mayo del 2020	Nº: 02,76



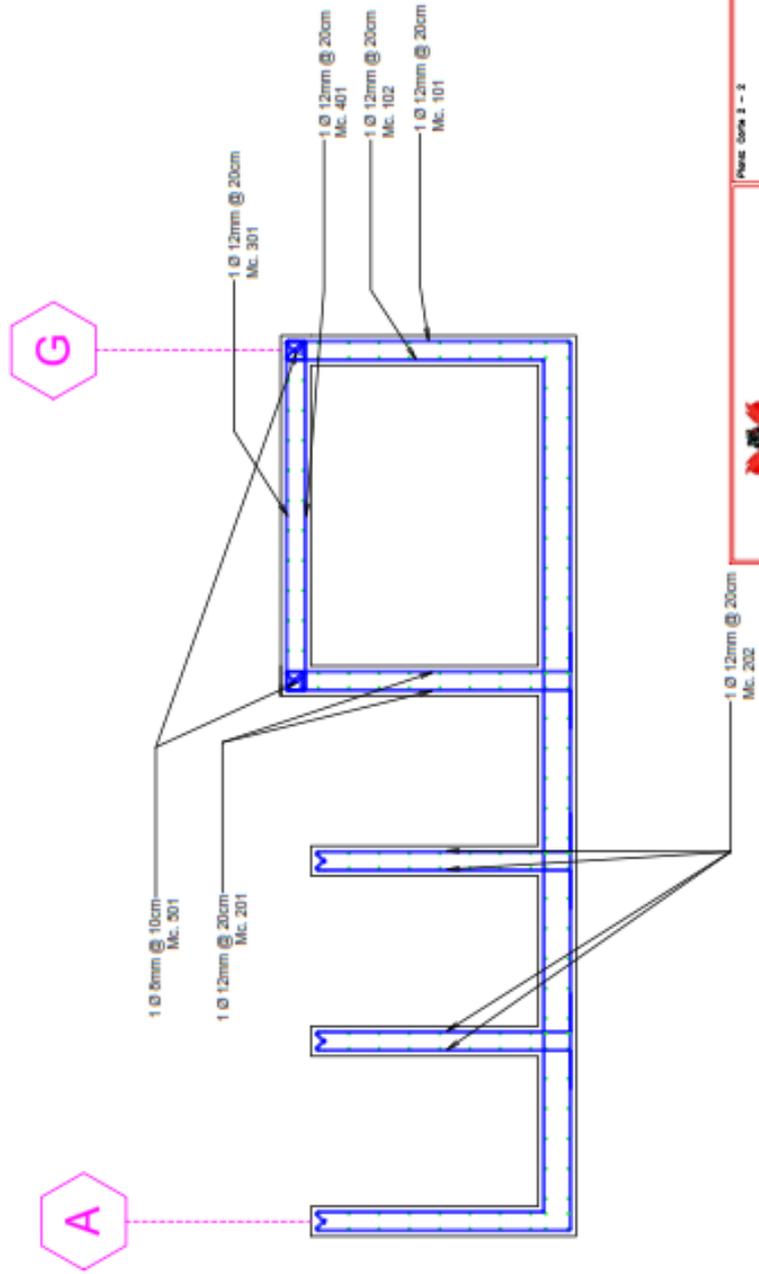
		Proyecto: Mejoramiento de coprolite	
		Autor: Andres Viqueo	
		Escala: 1: 0,5" = 1" 0,5" = 1" 0,5" = 1"	
INSTITUTO ESPAÑOL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DEL SISTEMA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DE ESPAÑA		FECHA: 20 de mayo del 2020	
		PÁG: 03,76	

**Marcas Acero Captación**

Mc. 101	Mc. 105	Mc. 301	Mc. 403
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	
Mc. 102	Mc. 106	Mc. 302	Mc. 501
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	.
Mc. 103	Mc. 201	Mc. 401	Mc. 601
<input type="checkbox"/>		—	<input type="checkbox"/>
Mc. 104	Mc. 202	Mc. 402	Mc. 602
<input type="checkbox"/>		—	<input type="checkbox"/>

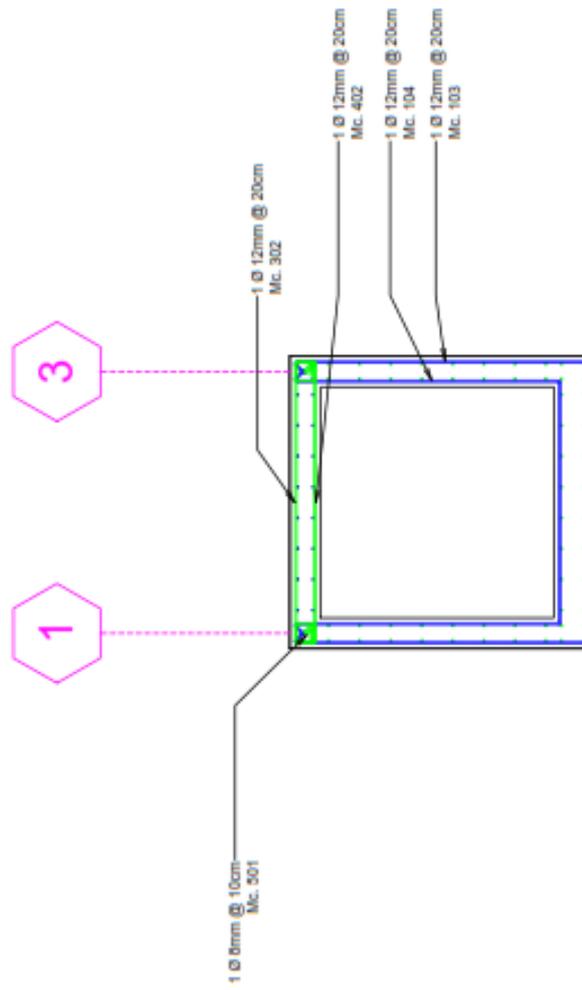
	MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA Y PESQUERA	No. 04 / 78
	PRESENCIA DE UN SISTEMA DE MARCA PARA SUFICIENTE DE ACERO EN TUBOS	No. 04 / 78

# Corte 2 - 2



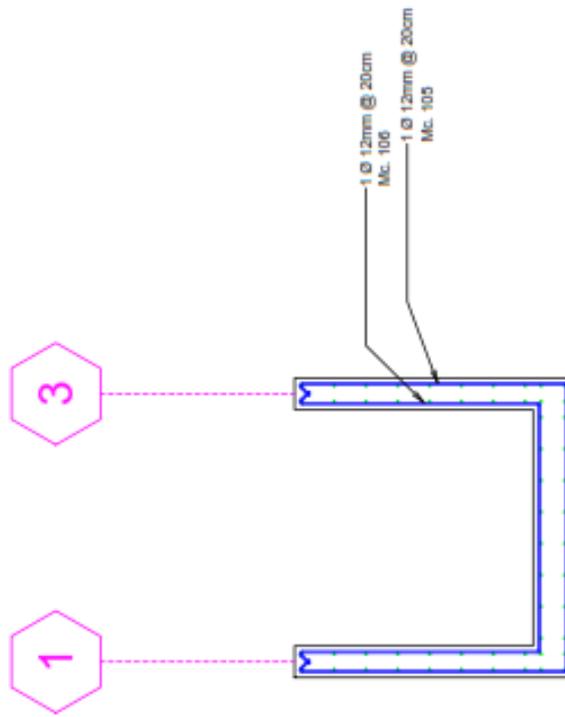
 GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE CUBA		Planos Serie 2 - 2	
		Autor: Javier Viera	
PROYECTO: Estado de un sistema de agua para cultivo de café en Talpa		Ubicación: P. O. F. 207 H. 100 40 170	
Escala: 1:50		Fecha: 20 de abril del 2020	
P.O. 2020.0000.0000.0000.0000		Nº: 05/18	

# Corte F - F



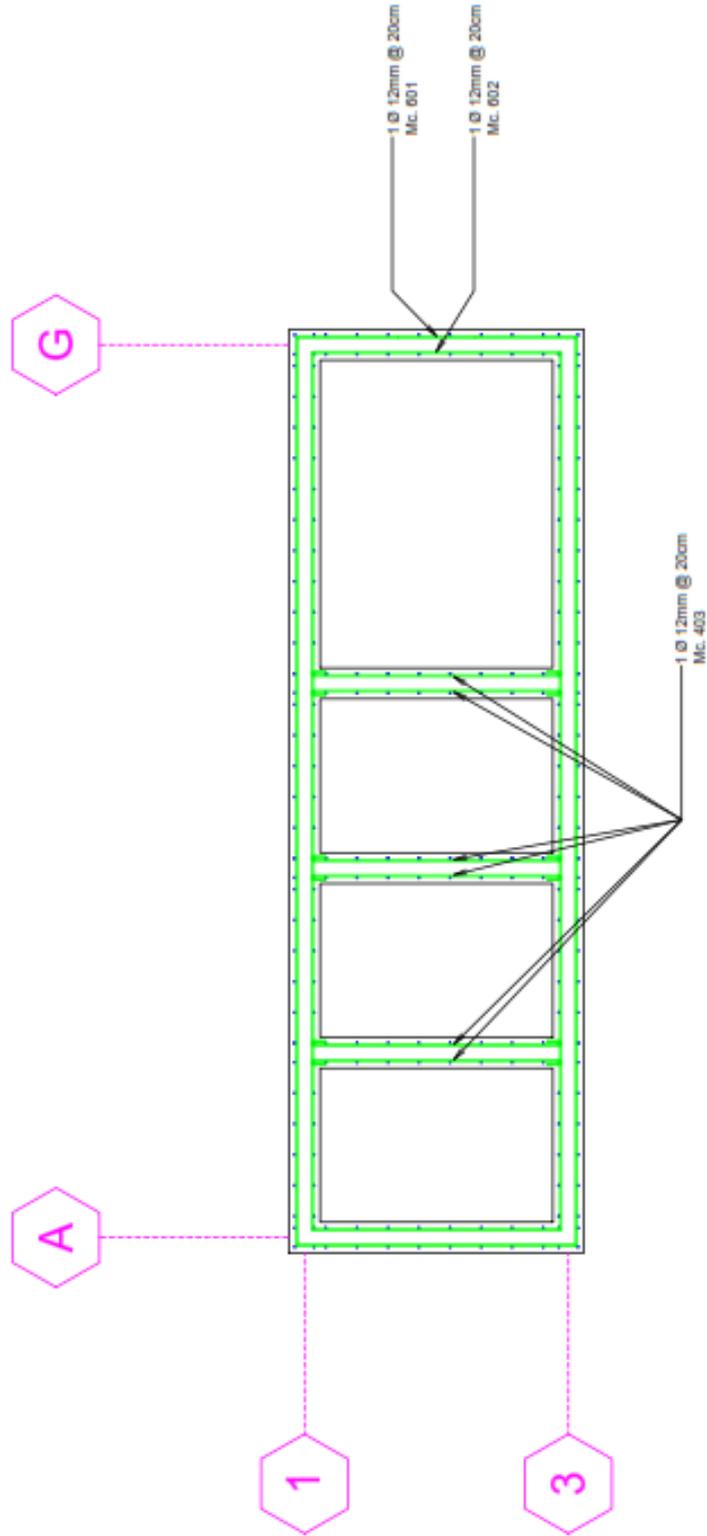
 GOBIERNO DEL ESTADO DE QUERÉTARO	Plan: Corte F - F	
	Autor: Javier Vázquez	
PROYECTO: Estudio de un sistema de agua para cultivo de café en Talpa	Ubicación: P. del 20º N. 18º 40' 17" W	
	Escala: 1:100	
	FECHA: 20 de mayo del 2020	Nº: 06 / 8

# Corte C - C



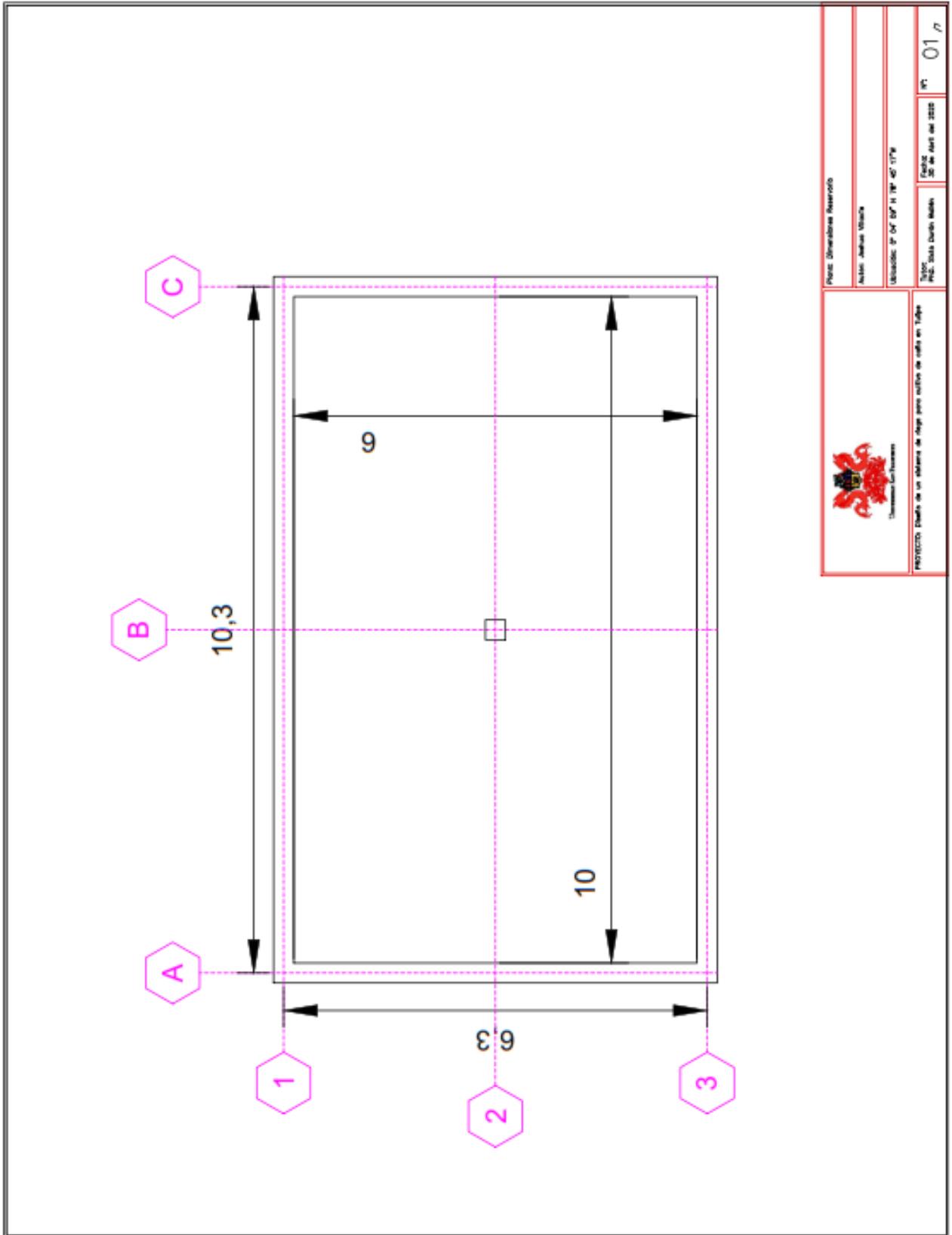
 Universidad La Paz	Páginas: 00001 de 0	
	Autor: Andres Viquez	
Ubicación: P. 047 00° N 78° 40' 17" W		
Tipo: PDC: 2024 Dicho Mado		
PREFECTURA: Estado de un sistema de agua para cultivo de café en Talpa		
Escala: 1:100		
Fecha: 07/07/2024		

# Corte Nv.0, 75m

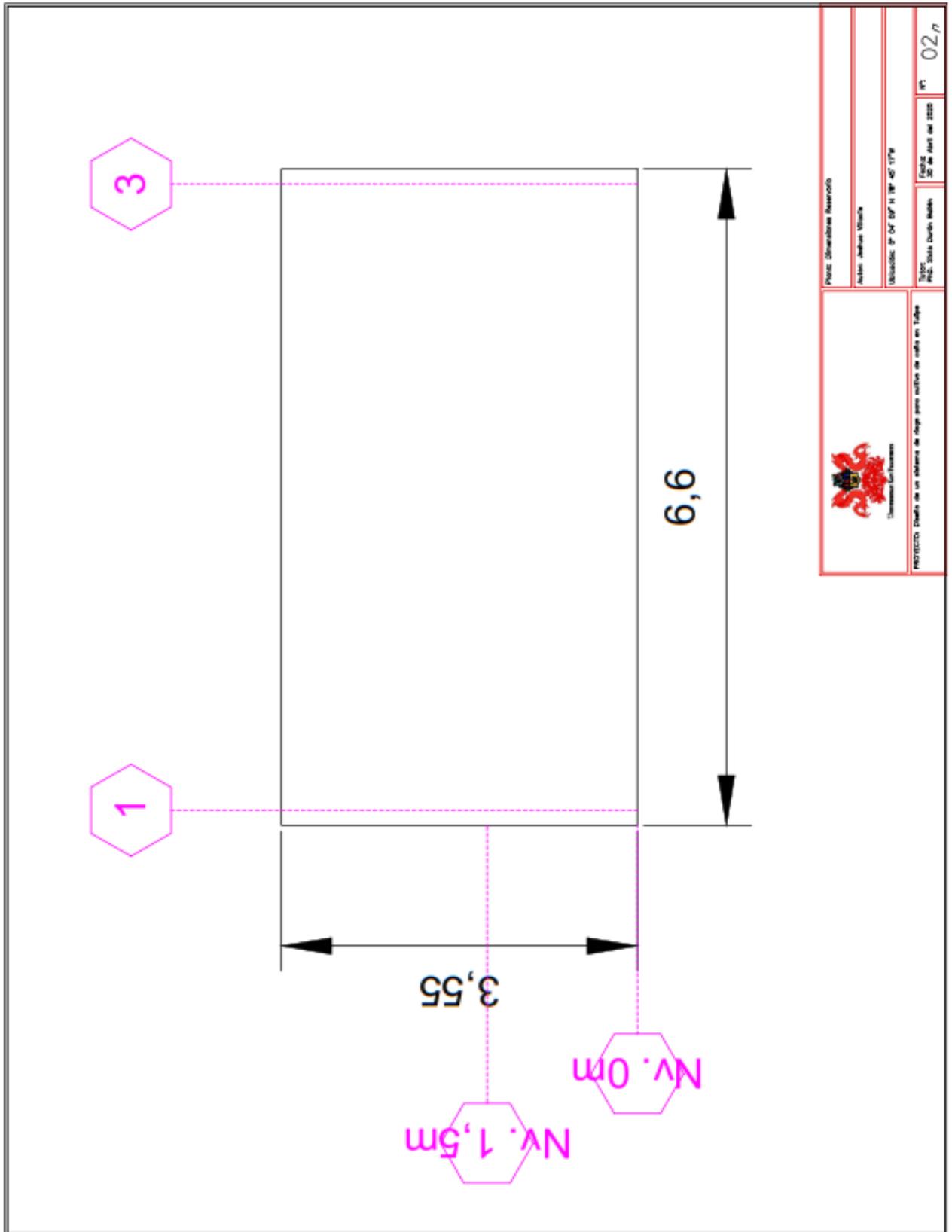


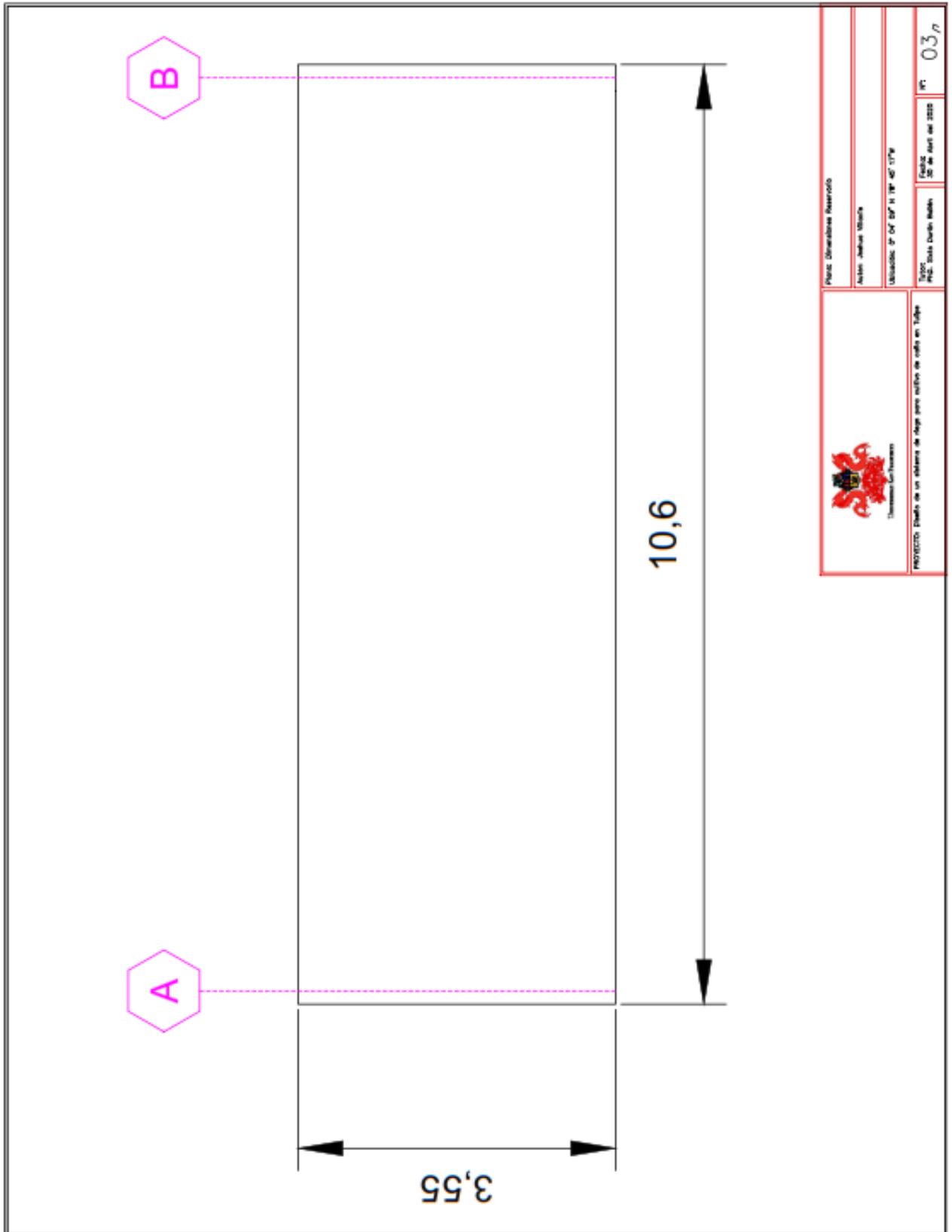
 Ingeniería y Construcción S.A. Calle 100 No. 100-100, San José, Costa Rica	Plano: Corte Nv. 0,75m	
	Autor: Ingeniero Víctor	
PROYECTO: Estudio de un sistema de apoyo para edificio de 10 pisos	Escala: 1/20	
	Fecha: 20 de mayo del 2020	
		Nº 08,76

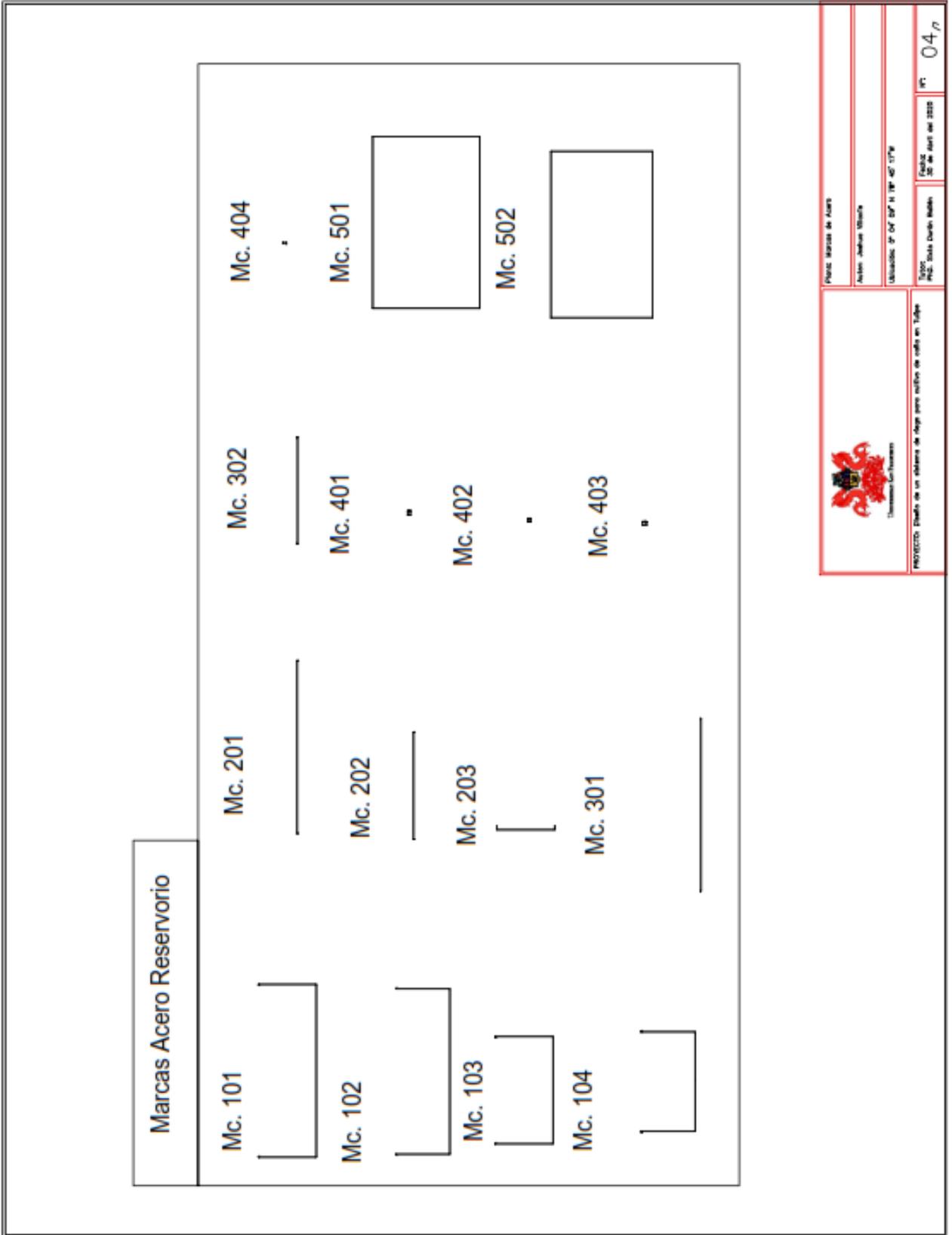
# ANEXO D: Reservorio



 GOBIERNO DE LA REPUBLICA DE CUBA	Plano: Dimensiones Reservorio		Escala: 1:100
	Autor: J. J. M. M.		
PROYECTO: Estudio de un sistema de agua para riego de cultivos en Toluca		Utilización: P. 01 P. 11 P. 12 P. 13 P. 14	Nº: 01
		Tramo: Zona Sur de Toluca	







**Marcas Acero Reservorio**

Mc. 101

Mc. 201

Mc. 302

Mc. 404

Mc. 102

Mc. 202

Mc. 401

Mc. 501

Mc. 103

Mc. 203

Mc. 402

Mc. 502

Mc. 104

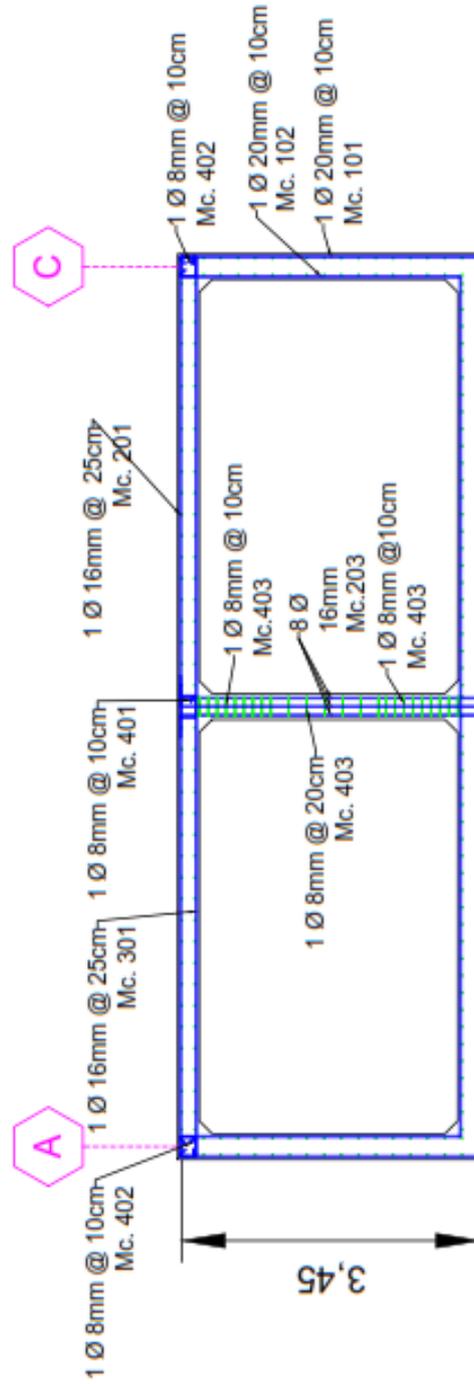
Mc. 301

Mc. 403

Mc. 502

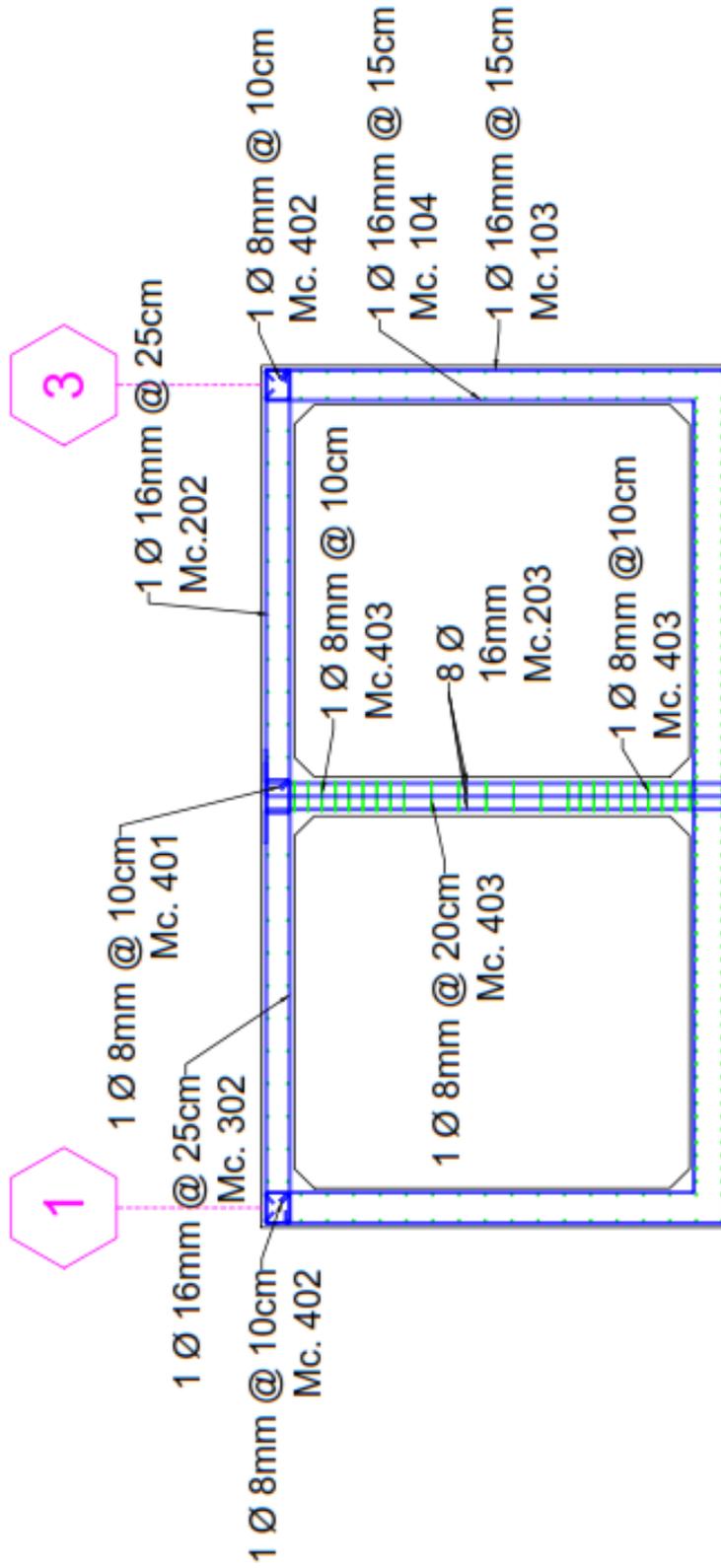
	MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DE LA REPÚBLICA DE CUBA	
	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS DE LA AGRICULTURA Y GANADERÍA	
PROYECTO: Estudio de un sistema de riego para cultivo de café en Talpa		
Autor:	Fecha:	Hoja:
P.N.C.	No. de Hoja:	Total:
04	04	04

# Corte 2 - 2



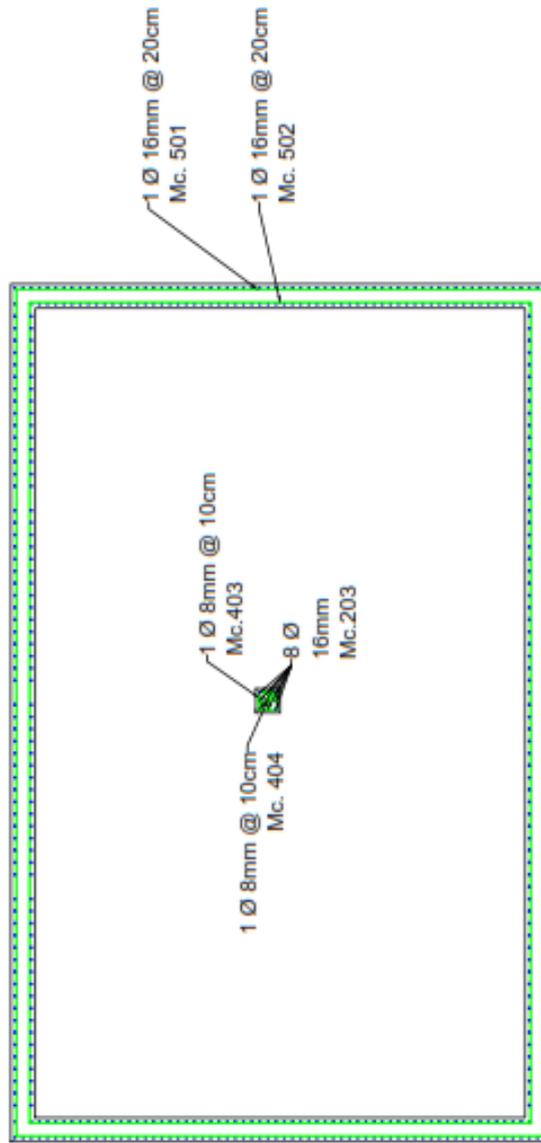
 Universidad de Chile	Plan: Corte 2 - 2	
	Autor: Andres Villalón	
Estructura de AC 20' x 18' x 40' 17"		
PROYECTO: Estudio de un sistema de piso para edificio de 12 en Talca		FECHA: 20 de mayo del 2020
Escala: 1:50		Nº: 05 <sub>n</sub>

# Corte B - B



 Universidad de León	Plan: C004 B - B	
	Autor: Javier Villar	
Utilización: D.º de D.º de H.º de 1.º de 1.º de 1.º		
PROYECTO: Estado de un sistema de apoyo para edificio de sala en Talpa		Nº: 06/n
ESCALA:		FECHA:
P.º:		Nº de Hoja:

# Corte Nv. 0,75m

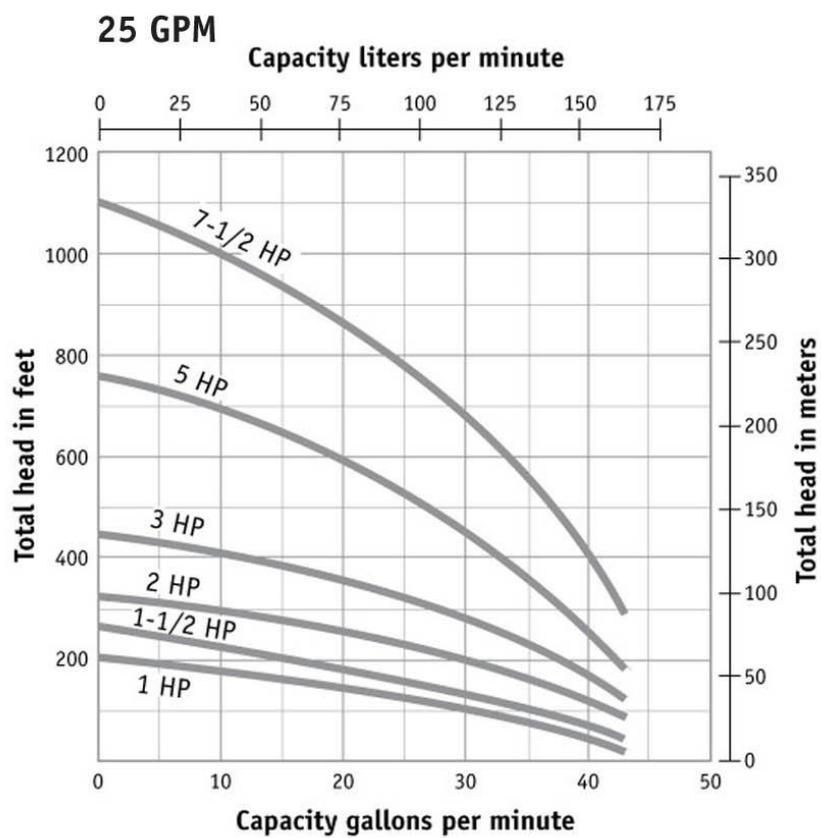


 GOBIERNO DE TUCUMÁN	Plan: Corte Nv. 0,75m	
	Autor: Javier Villar	
PROYECTO: Estudio de un sistema de agua para cultivo de soja en Tucumán	Escala: 1:100	
	Fecha: 20 de mayo del 2020	
Nº: 07		

## ANEXO E: Ficha Técnica Bomba

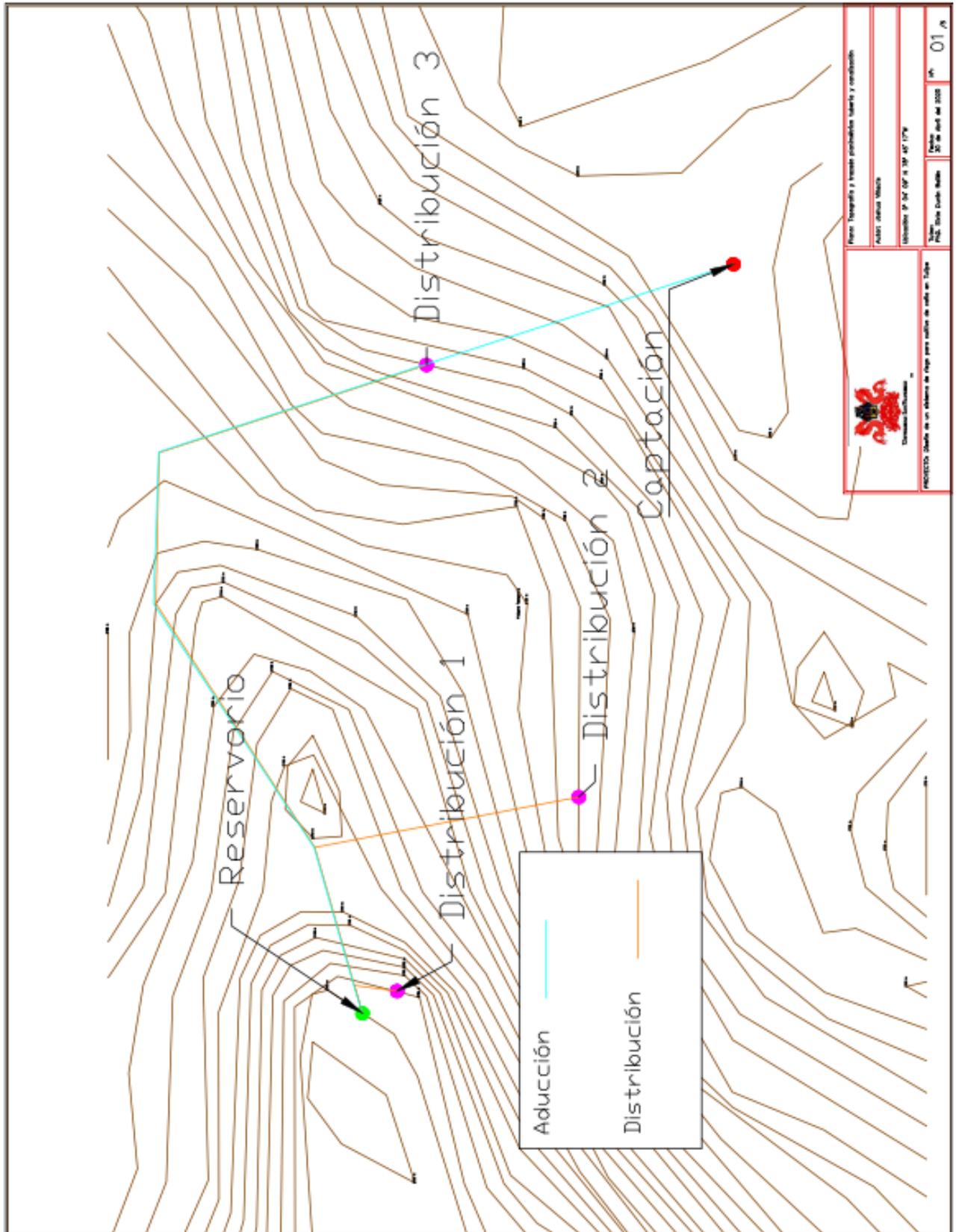


(Acero Comercial Ecuatoriano S.A, 2020)



(Acero Comercial Ecuatoriano S.A, 2020)

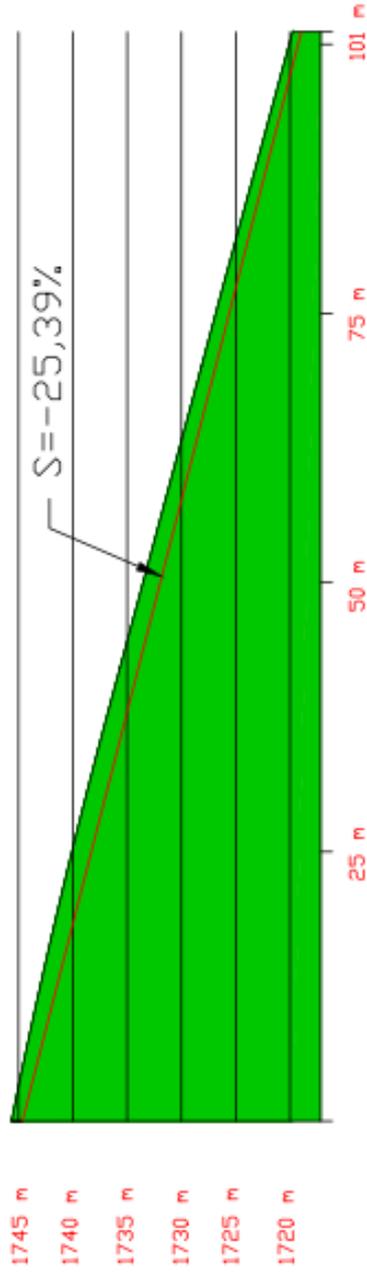
# ANEXO F: Tuberías y Canalización







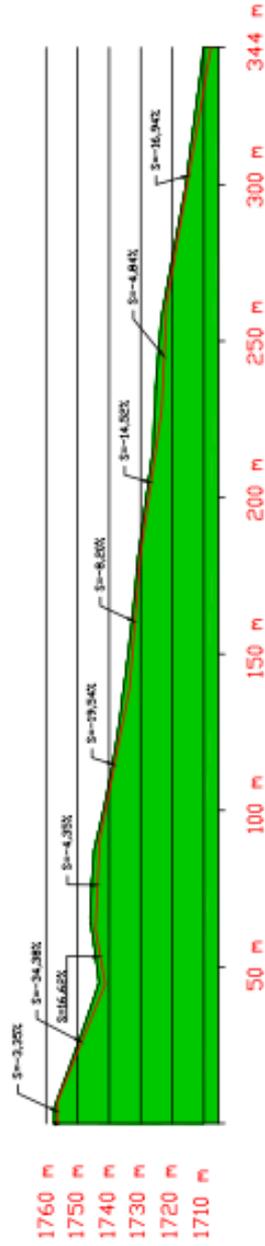
From Pos: -78.7560320893, 0.068 To Pos: -78.7558692641, 0.06782



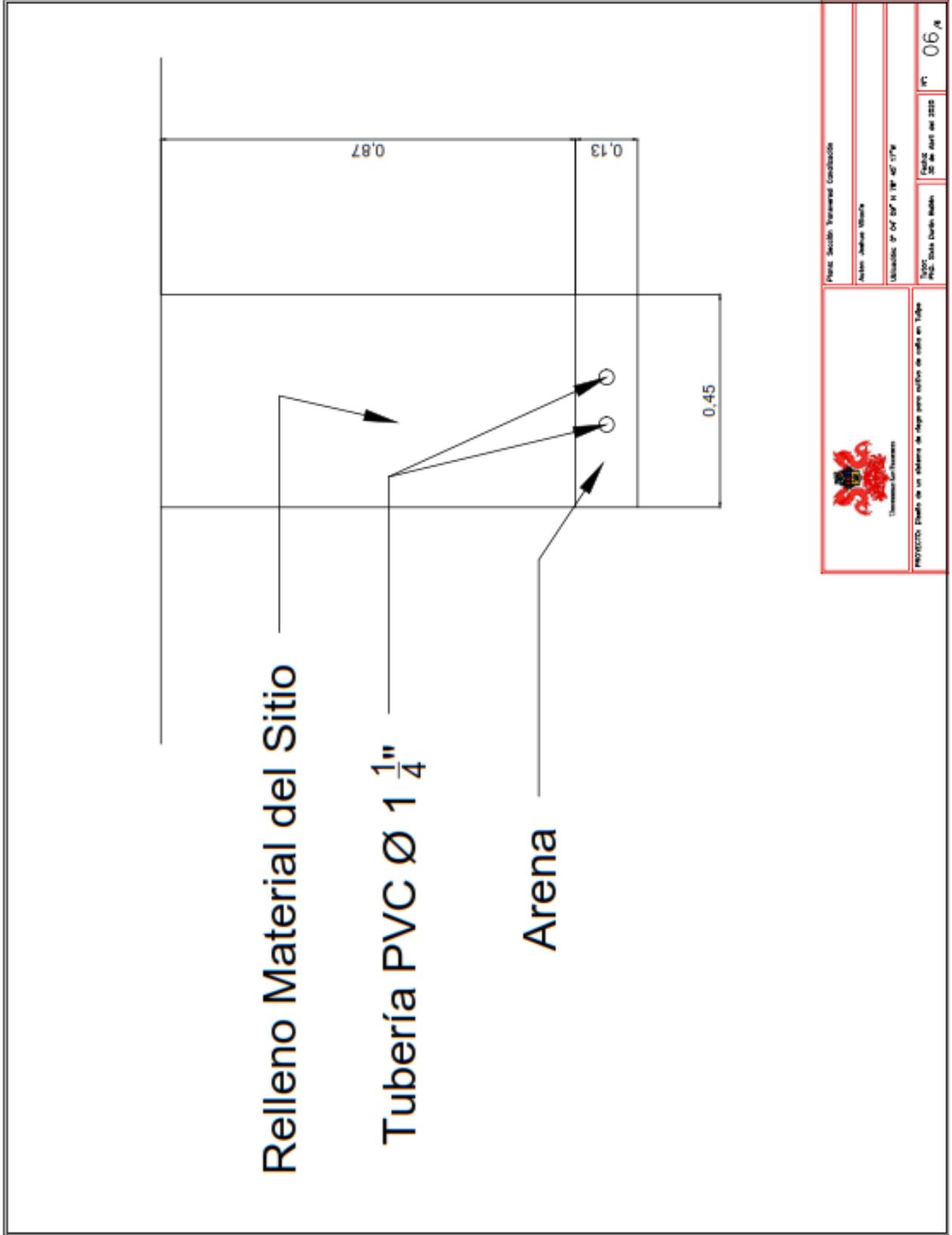
PROYECTO: Obras de un sistema de riego para cultivo de café en Talara		Fecha: 30 de abril del 2020	Hoja: 04 de 04
PLAN: Topografía y estudio de perfil, terreno y nivel definitivo 2		Autor:	Escala:
Elaborado por:		Revisado por:	Aprobado por:
Modificado por:		Fecha de modificación:	Fecha de aprobación:

To Pos: -78.7543393232, 0.06834

From Pos: -78.7565777914, 0.068



Proyecto: Obras de un sistema de riego para cultivo de café en Tulcan Fecha: 30 de abril del 2020		Hoja: 05
Plan: Topografía y Trazo de perfil lateral y nivel definitivo 3		Escala:
Autor: Jairo Velasco		Fecha:
Modificado: P. del 07 al 10 de 17/04		Escala:



 Universidad del Pacífico	PROYECTO: Estudio de un sistema de riego para cultivo de uva en Talpa	
	PROFESOR: Socorro Trujillo Contreras	
Alumno: Andrea Villavicencio		
Ubicación: P.O. BOX N. 1700 - 01700		
Ejército: FIC, Talpa, Cuenca, Bolívar		
Fecha: 20 de Abril del 2020		
Hoja: 06 de 06		

## ANEXO G: Rubros y Presupuesto

### Presupuesto del Sistema de Riego en Nanegalito Captación

Item	Descripción del Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
01	REPLANTEO Y NIVELACION ESTRUCTURAS	m2	30,00	1,98	59,40
02	DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	30,00	1,79	53,70
03	ENCAUZADO DEL RIO	m2	15,00	12,16	182,40
04	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS MENORES A MANO (EN TIERRA)	m3	28,00	8,17	228,76
05	HORMIGON PARA REPLANTILLO, F <sup>c</sup> =180 KG/CM2	m3	0,60	152,57	91,54
06	ENCOFRADO/DESENCOFRADO MADERA MONTE CEPILLADA	m2	82,00	12,14	995,48
07	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2, SUPERFICIE (CORTADO Y COLOCADO)	kg	1.120,35	2,28	2.554,40
08	HORMIGON SIMPLE F <sup>c</sup> =210 KG/CM2	m3	10,24	172,91	1.770,60
09	REJILLA VARILLA 1" Y ANGULO (PROVISION Y MONTAJE)	m2	0,50	91,59	45,80
10	TAPA METÁLICA ( PROVISIÓN Y MONTAJE )	m2	1,00	4,64	4,64
11	RELLENO COMPACTADO MATERIAL PRESTAMO	m3	6,00	7,86	47,16
12	INSTALACIONES ELÉCTRICAS SISTEMA CAPTACIÓN	glb	1,00	1.215,51	1.215,51
13	ESTRIBO DE VARILLA 16MM GALVANIZADO EN CALIENTE (POZOS ALC.) (PROVISION Y MONTAJE)	u	6,00	5,64	33,84
				Total	7.283,23

### Presupuesto del Sistema de Riego en Nanegalito Reservorio 180m3

Item	Descripción del Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
01	REPLANTEO Y NIVELACION ESTRUCTURAS	m2	77,00	1,98	152,46
02	DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	77,00	1,79	137,83
03	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS MENORES A MÁQUINA (EN TIERRA)	m3	200,00	2,32	464,00
04	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS MENORES A MANO (EN TIERRA)	m3	85,00	8,17	694,45
05	HORMIGON PARA REPLANTILLO, F <sup>c</sup> =180 KG/CM2	m3	7,00	152,57	1.067,99
06	ENCOFRADO/DESENCOFRADO MADERA MONTE CEPILLADA	m2	305,00	12,14	3.702,70
07	ACERO DE REFUERZO FY=4200 KG/CM2, SUPERFICIE (CORTADO Y COLOCADO)	kg	12.777,81	2,28	29.133,41
08	HORMIGON SIMPLE F <sup>c</sup> =210 KG/CM2	m3	68,70	172,91	11.878,92
09	TAPA METÁLICA ( PROVISIÓN Y MONTAJE )	m2	1,00	4,64	4,64
10	ESTRIBO DE VARILLA 16MM GALVANIZADO EN CALIENTE (POZOS ALC.) (PROVISION Y MONTAJE)	u	10,00	5,64	56,40
11	RELLENO COMPACTADO MATERIAL PRESTAMO	m3	10,00	7,86	78,60
12	INSTALACIONES ELECTRICAS SISTEMA RESERVORIO	glb	1,00	1.215,51	1.215,51
				Total	48.586,91

### Presupuesto del Sistema de Riego en Nanegalito Instalaciones Hidráulicas

Item	Descripción del Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
01	REPLANTEO Y NIVELACION ESTRUCTURAS	m2	605,00	1,98	1.197,90
02	DESBROCE Y LIMPIEZA	m2	1.210,00	1,79	2.165,90
03	EXCAVACION ZANJA A MAQUINA H=0.00-2.75m (EN TIERRA)	m3	200,00	2,57	514,00
04	EXCAVACION ZANJA A MANO H=0.00-2.75m (EN TIERRA)	m3	100,00	9,07	907,00
05	RASANTEO DE ZANJA A MANO	m2	275,00	1,74	478,50
06	CAPA DE ARENA E = 13 CM	m3	36,00	20,66	743,76
07	TUBERÍA PVC UZ 2" 1.25 MPA	ml	835,00	2,11	1.761,85
08	TUBERÍA PVC UZ 1 1/4" 1.25 MPA	ml	125,00	2,45	306,25
09	TUBERÍA PVC UZ 4" 1.25 MPA	ml	5,00	14,13	70,65
10	CODOS PVC UZ 45° 2"	u	23,00	7,99	183,77
11	CODOS PVC UZ 90° 2"	u	3,00	7,99	23,97
12	CODOS PVC UZ 45° 1 1/4"	u	1,00	6,08	6,08
13	CODOS PVC UZ 90° 1 1/4"	u	2,00	6,08	12,16
14	TEE PVZ UZ 2" - 1 1/4" - 2"	u	2,00	15,36	30,72
15	VÁLVULA PVC UZ 2" PVC UZ	u	2,00	48,63	97,26
16	VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN PVZ UZ 2"	u	1,00	2.044,81	2.044,81
17	VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN PVZ UZ 1 1/4"	u	2,00	1.363,22	2.726,44
18	VÁLVULA PVC UZ 4" CON UNIÓN DRESSER	u	1,00	790,08	790,08
19	BOMBA DE 5 HP SUMERGIBLE INCLUYE ACCESORIOS	u	1,00	4.254,27	4.254,27
20	CONTROLES DE NIVEL DE CAUDAL	u	2,00	0,00	0,00
21	INSTALACIONES ELECTRICAS SISTEMA HIDRÁULICO	glb	1,00	18.232,60	18.232,60
				Total	36.547,97

Captación	7.283,23
Reservorio 180m3	48.586,91
Instalaciones Hidráulicas	36.547,97
<b>Total</b>	<b>92.418,11</b>