

DISEÑO DE SISTEMA PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA Y
AHORRO DE AGUA POTABLE EN EL COLEGIO LA NUEVA ESPERANZA DEL
MUNICIPIO DE LA CALERA – CUNDINAMARCA

REALIZADO POR:
ZULLY MINDRETH RUIZ GARZON
DAYRON ANDRES PENA VEGA
MONICA ALEXANDRA CARDOSO POLANIA

Estudiantes de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD LA GRANCOLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018

DISEÑO DE SISTEMA PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA Y
AHORRO DE AGUA POTABLE EN EL COLEGIO LA NUEVA ESPERANZA DEL
MUNICIPIO DE LA CALERA – CUNDINAMARCA

REALIZADO POR:
ZULLY MINDRETH RUIZ GARZON
DAYRON ANDRES PENA VEGA
MONICA ALEXANDRA CARDOSO POLANIA

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO A:
LICENCIADA: BIBIANA CAROLINA GOMEZ ASESOR METODOLÓGICO
INGENIERO CIVIL: LUIS EFRÉN AYALA ROJAS ASESOR DISCIPLINAR

UNIVERSIDAD LA GRANCOLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2018

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. -OBJETIVOS	10
4.1. OBJETIVO GENERAL	10
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
5. ANTECEDENTES.....	11
6. MARCO REFERENCIAL	14
6.1. MARCO CONCEPTUAL	14
6.1.1. Área de captación:	15
6.1.2. Estructura de captación:.....	15
6.1.3. Sistema de conducción:	16
6.1.4. Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración:.....	16
6.1.5. Tanques de almacenamiento:	17
6.1.6. Vertedor:	18
6.1.7. Interceptor:	18
6.1.8. Almacenamiento:.....	19
6.1.9. Red de distribución:.....	20
6.2. ASPECTOS GENERALES A TENER EN CUENTA PARA EL DISEÑO SEGÚN EL RAS-2000.....	21
6.2.1. Periodo de retorno de la lluvia de diseño	21
6.2.2. Tiempo de concentración	22
6.2.3. Intensidad de precipitación.....	23
6.2.4. Curvas de intensidad-duración-frecuencia	23
6.2.5. Caudal de diseño	24
6.3. TANQUE DE ALMACENAMIENTO	25
6.3.1. Condiciones generales.....	26
6.3.2. PARAMETROS DE DISEÑO	28

6.4. MARCO GEOGRÁFICO	30
6.4.1. Localización.	30
6.4.2. Limites.....	31
6.4.3. Características geográficas.....	31
6.4.4. Población e Infraestructura del Colegio.....	33
6.5. MARCO LEGAL	34
7. DISEÑO METODOLÓGICO	36
7.1. ENFOQUE	36
7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
7.3. FASES.....	36
7.4. INSTRUMENTO.	37
7.4.1. Software:.....	37
7.5. DISEÑO MUESTRAL.....	39
7.6. CRONOGRAMA	40
7.7. PRESUPUESTO.....	40
8. RESULTADOS	41
8.1. DISEÑO DE SISTEMA DE RECOLECCION DE AGUA LLUVIA.....	41
8.2. CALCULOS PLUVIOMETRICOS.	41
8.3. CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO.....	43
8.4. DISEÑO DE CANALETAS Y BAJANTES CAMARA Y TANQUE	44
8.4.1. Canaletas.....	44
8.4.2. Bajantes	46
8.4.3. Camara de Recolección.....	48
8.4.4. Dimensiones de cada tramo de recolección de agua lluvia.....	7
8.5. DISEÑO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	7
8.5.1. Dimensiones del tanque de almacenamiento.....	9
8.5.2. Cotas y niveles de agua en el tanque de almacenamiento	11
8.5.3. Tuberia de desagüe	11
8.6. RED DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS A SISTEMA HIDRAULICO	17

8.6.1. Tubería.....	18
8.6.2. Bomba.....	18
8.7. MODELACIÓN EN EPA SWWM	23
8.7.1. Datos de entrada.....	24
8.7.2. Serie temporal de lluvia.....	25
8.7.3. Analisis y Simulacion.....	27
8.7.4. Caudales y cotas de tuberías	28
8.7.5. Velocidades.....	29
8.7.6. Perfil Lamina de Agua	30
8.8. RELACION COSTO BENEFICIO	7
8.8.1. Costo.....	7
8.8.2. Beneficio	7
9. CONCLUSIONES	10
10. RECOMENDACIONES	12
11. ANEXOS	13
11.1. REGISTRO FOTOGRAFICO.....	13

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema	21
Tabla 2 Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF).....	24
Tabla 3 Infraestructura del Colegio	33
Tabla 4 Normatividad Legal vigente.....	34
Tabla 5 Variables a tener en cuenta para el diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvia.....	39
Tabla 6 Cronograma del proyecto 2016 - 2017	40
Tabla 7 presupuesto necesario para la realización del proyecto	40
Tabla 8: Tabla de intensidades	42
Tabla 9 Datos obtenido para el cálculo del caudal de diseño	44
Tabla 10: Caudal por bajantes	47
Tabla 11 Dimensiones de tramos de recolección	7

Tabla 12 Porcentajes de participación de consumos de agua	7
Tabla 13 Dotaciones de agua	8
Tabla 14 Volumen de tanque de almacenamiento	9
Tabla 15 Constante de la capacidad del tanque de almacenamiento	10
Tabla 14 Velocidad máxima en la tubería de succión.....	20
Tabla 15 Pérdidas localizadas en longitudes equivalentes (en metros de tubería recta).....	21
Tabla 17 Presupuesto y cantidades de obra del sistema de aprovechamiento de aguas lluvia.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18 Consumo de agua en el último semestre.....	7
Tabla 19: Consumo mensual actual del colegio.....	8
Tabla 20 Consumo mensual de agua que abastecerá el sistema	8

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia	14
Ilustración 2 Área de captación.....	15
Ilustración 3 Sistema de conducción.....	16
Ilustración 4 Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración.....	17
Ilustración 5 Tanque de almacenamiento	18
Ilustración 6 Interceptor de primeras aguas.....	19
Ilustración 7 red de distribución de aguas lluvia.....	21
Ilustración 8 Coeficiente de Escorrentia.....	25
Ilustración 9 Ubicación Municipio de La Calera.	30
Ilustración 10 mapa topográfico municipio de La Calera Cundinamarca	31
Ilustración 11 mapa topográfico La Calera Cundinamarca	32
Ilustración 12 Microsoft Excel	37
Ilustración 13 AutoCAD.....	38
Ilustración 14 Epanet	38
Ilustración 15: Curvas IDF de Diseño	42
Ilustración 16 Barras de precipitaciones mensuales.....	43
Ilustración 17 Dimensiones de una canaleta	44
Ilustración 18: Referencias de una canaleta	45
Ilustración 19: Bajantes de aguas lluvias	46
Ilustración 20 Red de recolección de agua lluvia	48
Ilustración 21: Perfil y planta de cámara de recolección 1 y 3	49
Ilustración 22 Perfil y planta de cámara de recolección 2	50
Ilustración 23 Perfil y planta de cámara de recolección 4	51
Ilustración 24 empuje activo de tierras en el muro cuando el tanque está vacío ...	13
Ilustración 25 Esquema de cargas.....	14

Ilustración 26 Distribución de cargas	16
Ilustración 27 Diseño de la red de recolección del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias	17
Ilustración 28 Esquema del diseño de la estación de bombeo	19
Ilustración 29 Modelación del Diseño de aprovechamiento de Aguas lluvias Colegio La nueva Esperanza	23
Ilustración 30 Datos serie temporal de lluvia Colegio La Nueva Esperanza	25
Ilustración 31 Series temporales Colegio La nueva Esperanza La calera-Cundinamarca.....	26
Ilustración 32 Simulación del Diseño propuesto para el aprovechamiento de aguas lluvias en el Colegio La Nueva Esperanza.....	27
Ilustración 33 Revisión de caudales y alturas de las tuberías.....	28
Ilustración 34 Revisión de las velocidades en las tuberías	29
Ilustración 35 Perfil de la lámina de agua Nudo 10-9.....	30

1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto de grado se realizó el diseño de un sistema para el aprovechamiento de aguas lluvias en el colegio La Nueva Esperanza en el municipio de La Calera, el cual tuvo como objetivo captar el agua que cae a las cubiertas provenientes de las precipitaciones y de esta manera evidenciar un ahorro en el consumo promedio de agua potable en el colegio.

Existen épocas en el año donde escasea el agua el cual es un fluido vital, en muchos sectores del país se está luchando contra esta problemática y una de las alternativas es captar agua lluvia debido a la escasez de agua no contaminada de los ríos y a los enormes costos que tiene una planta de tratamiento para potabilizar el agua, esta alternativa es viable y económica.

Por ello se tuvo la necesidad de realizar esta investigación con el objetivo de dar a conocer más a fondo esta alternativa que ya se ha implementado en Colombia y la cual puede ser la solución a este enorme problema que enfrentan diferentes comunidades del país.

Como resultado de esta investigación, se realizó un análisis de costo - beneficio, ya que de existir este sistema en el colegio La Nueva Esperanza, y se generará una disminución mensual en el consumo de agua potable el cual se notara en el costo del recibo a pagar es por ello que además de ser una alternativa amigable con el medio ambiente ayudaría a economizar en cuanto al presupuesto destinado al pago de recibos y con ello de algún modo beneficiar a los estudiantes invirtiendo este dinero en materia prima para su educación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ingeniería y la investigación tiene como responsabilidad contribuir a mejorar la calidad de vida en las comunidades es por esto que se le da importancia al problema en el Municipio de La Calera Cundinamarca que se evidencia en el Colegio La Nueva Esperanza, ya que en las épocas de lluvia no se aprovecha ni se recolecta este recurso hídrico el cual se desperdicia. Esta necesidad se evidencia teniendo en cuenta factores tan importantes en la actualidad como el inminente cambio climático que se reflejan en las extensas épocas de verano afectando directamente a la población y los seres que la habitan, generando como consecuencias, razonamientos de agua, desabastecimiento de alimentos e incremento del costo de vida. Paralelo a este problema se encontró el evidente desperdicio de agua potable, en labores en las cuales no es indispensable su uso.

Teniendo en cuenta que en Colombia se presenta épocas del año en que no llueve como es el fenómeno del Niño, se hace evidente la necesidad de generar su ahorro y correcto aprovechamiento puesto que con el desarrollo industrial y tecnología a nuestro alcance, se puede contribuir a la disminución de esta problemática que indirectamente afecta a todos, en la forma como se desperdicia agua potable en actividades que no lo requieren como uso de sanitarios, lavado de superficies, riego de jardines, limpieza de pisos, entre otras¹.

Por otro lado el uso del agua lluvia ha generado la reducción de costos debido a que el aprovechamiento de dichas aguas es gratuito, lo que a su vez, reduce costos en el consumo de agua potable, beneficiando así a la comunidad estudiantil destinando el valor que se gasta bimensualmente en el servicio de agua, en parques o proyectos netamente institucionales, su ambiente educativo podría convertirse en un lugar más agradable además de facilitar su aprendizaje aplicando nuevas tecnologías y métodos avanzados para su educación; educar y concientizar a los niños desde una temprana edad en el valor y la importancia de cuidar los recursos naturales. Tampoco se puede descartar la posibilidad de que los estudiantes despierten un interés por los avances en ingeniería y tecnología al ver este nuevo sistema en su colegio.

A partir de ello la pregunta de investigación del presente proyecto es:

¿Qué diseño cumple con las condiciones de precipitación, área efectiva de recolección y ahorro, de aguas lluvias en el colegio La Nueva Esperanza del Municipio de La Calera – Cundinamarca?

¹ HIDROSOLUCIONES PLUVIALES. Captación de agua lluvia. En: <http://hidropluviales.com/captacion-agua-de-lluvia/>

3. JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia, el ser humano ha tenido la necesidad y la obligación de abastecerse de agua para sus necesidades y consumo, es por esto que con los avances tecnológicos de las últimas décadas se ha tecnificado este aprovechamiento donde su principal objetivo es brindar al ser humano la calidad y pureza del agua potable con el fin de prevenir enfermedades y mejorar la calidad de vida.

Siendo el agua este recurso tan primordial e indispensable para la subsistencia humana, se tiene la obligación de generar acciones de ahorro, uso eficiente y aprovechamiento de las fuentes alternas que presentan como lo es la recolección de agua lluvia

Es por esa razón que la presente investigación permitirá mostrar la mejor alternativa de ahorro en la institución Nueva Esperanza con el fin de preservar y recolectar agua lluvia, de tal manera que, no se malgaste el agua potable en labores que no lo requieran. Como parte intrínseca del proyecto, será reflejado la concientización y colaboración de la población estudiantil y en general ante el inminente cambio climático que está afectando directamente a la población humana, en diferentes fenómenos naturales como los del niño y la niña.

Como el beneficio local que se podrá lograr en este sistema, es el ahorro y disminución de gasto monetario en cuanto al pago de acueducto, se evidenciará la recompensa en los estudiantes con la inversión adicional en otros elementos que aporten en su desarrollo y formación institucional.

4. -OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en el Colegio la Nueva Esperanza del municipio de La Calera Cundinamarca.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar la información que se ha generado y los avances a los que se ha podido llegar hasta el momento sobre el tema de aprovechamiento de aguas lluvias y de allí ver que aportes se pueden utilizar para llevar a cabo este proyecto además de la información necesaria para los cálculos de volúmenes de agua que será posible recolectar.
- Analizar la oferta y la demanda de consumo de agua, costo - beneficio, y periodo de retorno de inversión.
- Proponer un sistema de aprovechamiento de agua lluvia que contribuya al ahorro y uso eficiente de las fuentes de hídricas que tiene el Colegio La Nueva Esperanza del municipio de La Calera Cundinamarca.

5. ANTECEDENTES

Alrededor del mundo se tienen varias técnicas para el aprovechamiento de agua lluvia. Países como la India, China, Japón, Tailandia, Canadá, Brasil, México, Nicaragua entre otros, han aprovechado el recurso a través de programas impulsados por organizaciones como la ONU o los mismos gobiernos han apoyado a que se realicen este tipo de proyectos los cuales se han enfocado en poblaciones vulnerables, regiones secas y que no cuentan con el acceso al agua potable.

Sin embargo, la conciencia de su aprovechamiento ha llevado a razonar a otras entidades y a empresas constructoras a utilizar este recurso, como alternativa de ahorro.

En este contexto, se encuentran proyectos que se pretenden implementar en colegios como lo realizaron los investigadores Juan José Santibáñez y Eugenio Gómez de la Universidad Autónoma Metropolitana de México, cuyo objetivo es almacenar agua lluvia², propuesta que consiste en la instalación de sistemas de agua pluvial mediante tecnología sustentable en colegios de zonas de alta marginación. Esta idea ha sido apoyada por las autoridades regionales de ese país la cual es una solución para la demanda que presentan los sistemas sanitarios de los colegios, que ha dejado como resultado un beneficio a las escuelas al disminuir el uso de agua potable en actividades sanitarias, y de esta manera evitar la compra de agua potable en pipetas para estos usos.

El aporte de la investigación es la manera como Santibáñez a través de una tecnología sustentable, almacena aguas lluvia en colegios dando solución a la demanda que presentan los sistemas sanitarios de los colegios en los se implementó este sistema, además que dan importancia al costo de su implementación, pues se debe tener en cuenta el tamaño de las escuelas y el número de estudiantes.

Otro antecedente destacado fue Natalia Castañeda, cuyo objetivo fue proponer un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias de bajo costo, fácil implementación y mantenimiento, como alternativa para el ahorro de agua potable, la disminución de los gastos debidos al consumo y un uso eficiente del recurso, en la Institución

² REVISTA DE EDUCACIÓN Y CULTURA. Propone UAM “Cosechar” agua de lluvia (en línea). Disponible en <http://www.educacionyculturaaz.com/ciencia-y-tecnologia/propone-uam-cosechar-agua-de-lluvia>

Educativa María Auxiliadora del municipio de Caldas, Antioquia³. Su investigación se realizó teniendo como principio el tipo de captación de agua en los techos del colegio, seguido de datos pluviométricos, demanda y oferta en el mes, y condiciones hidrológicas concluyendo que los fenómenos del niño y la niña podrían presentar una variación en el sistema lo que a su vez variaría el volumen de captación del sistema al presentarse estos fenómenos.

Esta información contribuye a la orientación del diseño en relación a las distintas áreas que se deben tener en cuenta como lo son datos hidrológicos, fenómenos naturales y la determinación de costo beneficio.

Para el año 2015, los estudiantes y profesores miembros de grupo de Ciencia e Ingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Javeriana de Bogotá, desarrollaron la publicación de los Requerimientos de Infraestructura para el aprovechamiento sostenible de agua lluvia en el campus de la Universidad Javeriana de la ciudad de Bogotá Colombia.⁴ Su artículo fue el producto la investigación para el aprovechamiento de agua lluvia (AALL) desarrollado desde el año 2007 en el cual se tomó como áreas de escorrentía un edificio, una cancha de futbol y áreas alrededor. Se obtuvo entre algunos resultados, que el sistema cumplió con los propósitos de escorrentía pico y volumen. Esta investigación es destacada puesto que es demostrativa e implementó tecnología que fue utilizada para desarrollar escenarios en la captación de agua y así obtener el alta, media y baja demanda en el suministro del sistema.

Con ello se puede establecer las normas y parámetros básicos que debe tener la infraestructura para el sistema de tuberías y bombeo que garanticen el continuo y eficiente funcionamiento del sistema.

Dentro de este contexto, también se encuentran entidades Departamentales como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, quienes en el año 2011 elaboraron un Manual para la implementación del PRAE - Proyectos

³ CASTAÑEDA, Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de grado para título de especialista en manejo y gestión del agua. Medellín. Universidad de Antioquia. Escuela Ambiental. 2010. 60 h.

⁴ MOLINA, Sandra. TORRES, Andrés. Towards a Constructed Wetland/Reservoir- Tank System for Rainwater Harvesting in an Experimental Catchment in Colombia. En: Ingeniería y Universidad. 2015. vol. 19, no. 2, p. 415-421.

Ambientales Escolares⁵, el cual busca ser un instrumento de orientación pedagógica y técnica para docentes y alumnos en cuanto la implementación de soluciones ambientales como el ahorro y uso eficiente del agua, buen uso de la energía y tratamiento de los residuos sólidos lo que genera un importante beneficio en las Instituciones Educativas. Una de sus finalidades es el interés que han tenido las Instituciones educativas en implementar este tipo de proyectos, lo que condujo a realizar esta monografía.

El aporte que realizó la CAR es significativo en la medida que permitió llevar a cabo la implementación de estos sistemas en instituciones educativas las cuales generen y promuevan acciones para mitigar el cambio climático, además del compromiso que adquiere la ingeniería al contribuir y gestionar en este tipo de proyectos. De igual manera este manual entrega información de lo que se debe hacer antes de implementar un sistema que beneficie el ambiente lo cual es importante ya que se debe empezar a implementar en la mayoría de instituciones con el apoyo de la CAR que es una entidad que cuida y preserva las fuentes naturales de vida.

Durante el año 2015, la asociación de profesores del grupo de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Javeriana de Bogotá, publicó la calidad del riego de agua de lluvia en los techos y su relación con usos y características en los barrios Villa Alexandra y Acacias de la localidad de Kennedy⁶. El resultado de este trabajo se enfocó en el análisis de la calidad de agua que se recoge por escorrentía en los techos de forma improvisada lo que es un latente riesgo para la salud, ya que es utilizada por los habitantes para uso doméstico considerada una práctica común de la comunidad. Su aporte se encuentra en el interés de brindar a los consumidores agua de buena calidad, por lo que para el presente proyecto se incluirá un desarenador que contribuya a este factor tan importante.

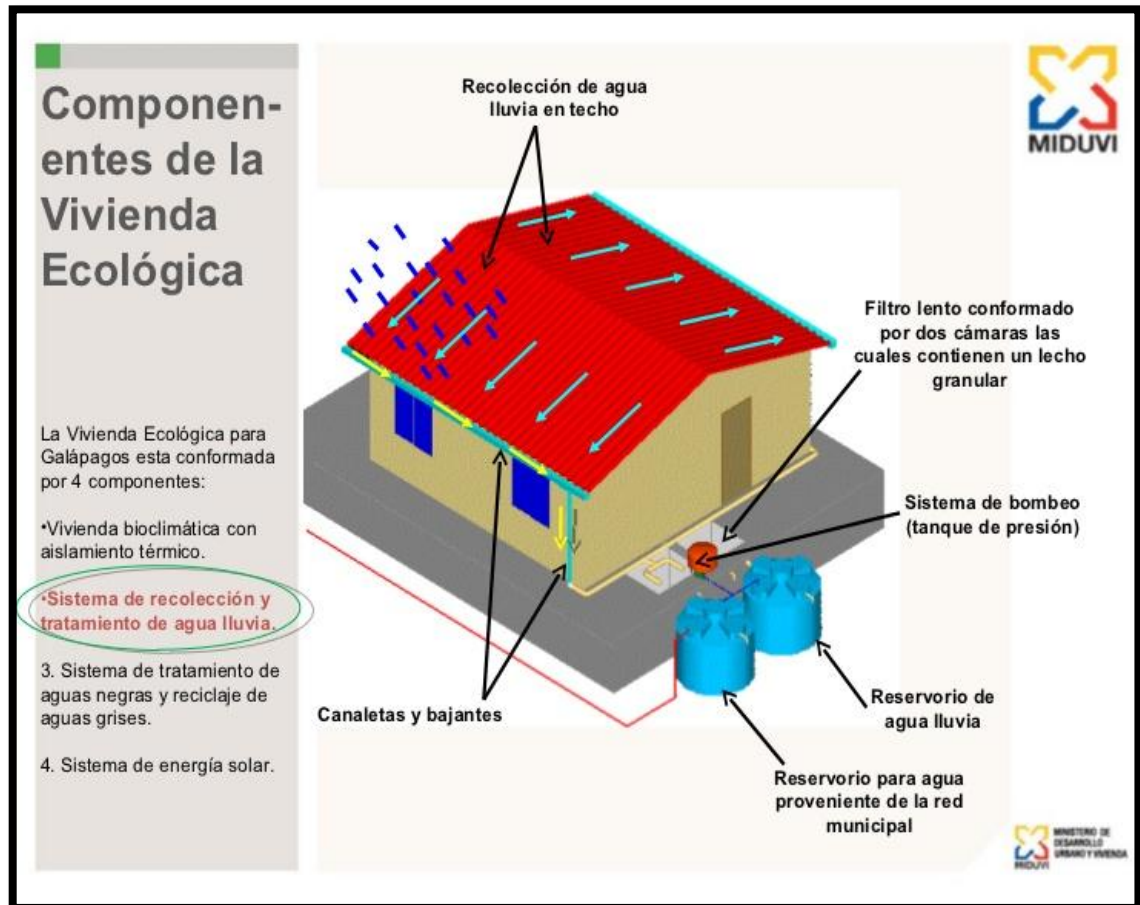
⁵ CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR. Manual para la implementación del PRAE. Bogotá. 2011. 56 Pag.

⁶ TORRES, Andrés. MENDEZ, Sandra. Quality of Rainwater Runoff on Roofs and Its Relation to Uses and Rain Characteristics in the Villa Alexandra and Acacias Neighborhoods of Kennedy, Bogota, Colombia. En: Journal of Environmental Engineering. 2013. vol. 139, no. 10, p.1273-1278.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1. MARCO CONCEPTUAL

Ilustración 1 Esquema de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia



Fuente: Slideshare. Plan piloto de viviendas ecológicas en la provincia de galápagos. [Citado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/radioencantada/plan-piloto-de-casa-ecologicas-en-la-provincia-de-galapagos>

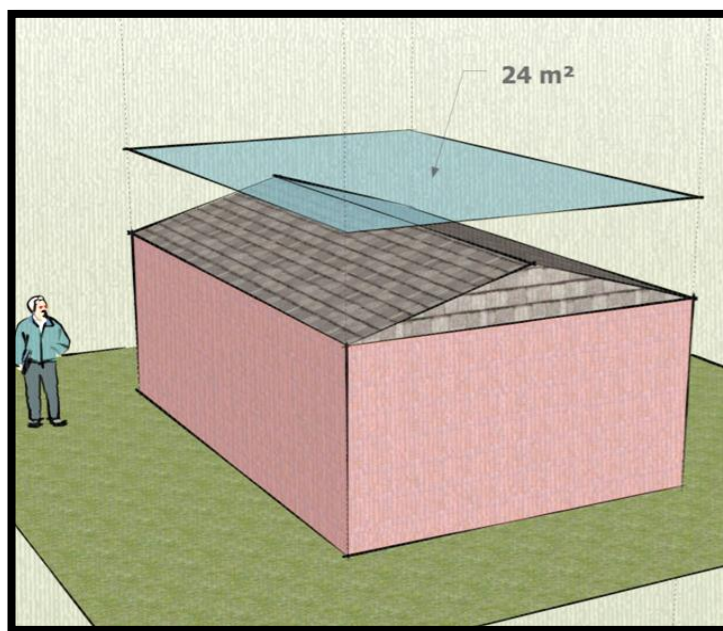
En la actualidad las precipitaciones existentes en las cuencas de la región Andina son demasiado abundantes, esto debido al constante cambio climático que en los últimos años hemos vivido.

Para entender estos cambios y los sistemas hídricos asociados a ello, debemos contextualizar y concientizar a las personas empezando por la terminología y definiciones de los componentes y características del proceso de aprovechamiento de agua lluvia.

6.1.1. Área de captación:

Lugar donde se almacenan los escurrimientos de agua de lluvia, antes de realizar su disposición final. Por lo general se utilizan superficies como los techos de las casas, escuelas, almacenes, etc., que deben estar impermeabilizados. También se puede captar el agua que escurre de calles o estacionamientos por medio de canales.⁷

Ilustración 2 Área de captación



Fuente: Permacultura Mexico. Área de captación. [Citado el 29 de septiembre de 2016].
Disponible en: <http://www.permacultura.org.mx/es/herramientas/formulario/area-captacion-lluvia/>

6.1.2. Estructura de captación:

Recolectan las aguas en los sistemas de alcantarillado pluvial, se utilizan sumideros o bocas de tormenta como estructuras de captación, aunque también pueden existir descargas domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y patios.

⁷ RECOLECCION DE AGUAS PLUVIALES [en línea]. 08 de Noviembre de 2012. Disponible en internet. http://aguaspluvialesv4.blogspot.com.co/2012/11/recoleccion-de-aguas-pluviales-function_8.html [consultado el 29 de septiembre de 2016]

6.1.3. Sistema de conducción:

El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento. El material utilizado debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí y que no permita la contaminación con compuestos orgánicos o inorgánicos.

Ilustración 3 Sistema de conducción



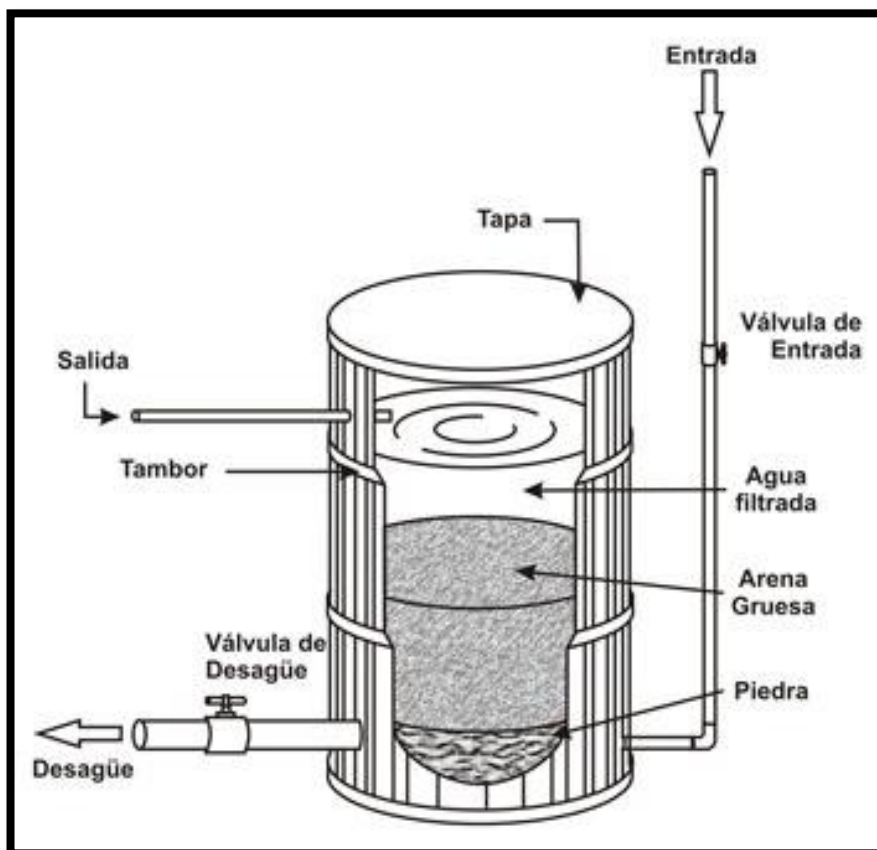
Fuente: Deguate. Novedoso sistema de canales de pvc para la temporada de invierno. [Citado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en:
http://www.deguate.com/artman/publish/bienesraices_actualidad/Novedoso_sistema_de_canales_de_pvc_para_la_tempora_9602.shtml#.WDRqGNV97IU

6.1.4. Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración:

Antes de conducir el agua a la infraestructura de almacenamiento se recomienda colocar un dispositivo que retire y filtre los contaminantes que puede arrastrar el agua a su paso por las superficies, como pueden ser sedimentos, metales, grasas

y basuras. De esta forma el agua llegará sin residuos tóxicos al lugar de almacenamiento.⁸

Ilustración 4 Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración



Fuente. Bvsde. Gías de orientación de saneamiento básico. [Citado el 29 de septiembre de 2016].
Disponble en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm>

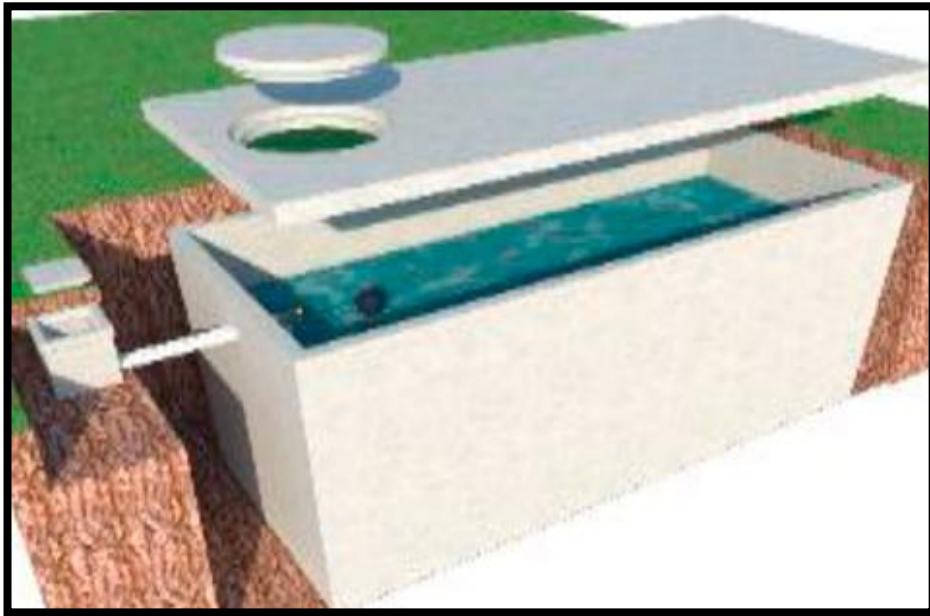
6.1.5. Tanques de almacenamiento:

Se trata de tinacos o sistemas modulares en donde se conserva el agua de lluvia captada, se pueden situar por encima o por debajo de la tierra. Deben ser de material resistente, impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración y estar cubiertos para impedir el ingreso de polvo, insectos, luz solar y posible contaminantes. Además, la entrada y la descarga deben de contar con

⁸ Ibíd. Disponible en Internet: http://aguaspluvialesv4.blogspot.com.co/2012/11/recoleccion-de-aguas-pluviales-function_8.html [consultado el 29 de septiembre de 2016]

mallas para evitar el ingreso de insectos y animales; deben estar dotados de dispositivos para el retiro de agua. Deben ser de un material inerte, el hormigón armado, de fibra de vidrio, polietileno y acero inoxidable son los más recomendados.

Ilustración 5 Tanque de almacenamiento



Fuente: Prefabricados cifa. Tanque de almacenamiento de agua. [Citado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://prefabricadoscifa.com/2015/producto/tanque-de-almacenamiento-de-agua-1500-galones/>

6.1.6. Vertedor:

Es la estructura de una obra hidráulica de almacenamiento a través de la cual se descargan los volúmenes que exceden la capacidad de recolección cuyo objetivo es reducir y prevenir un desbordamiento⁹.

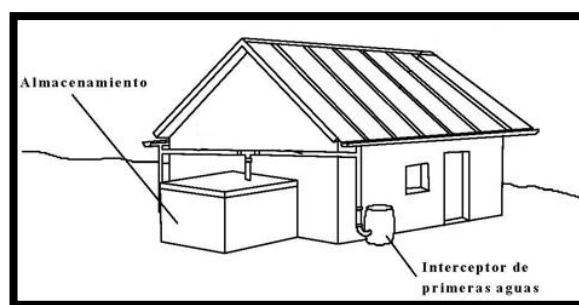
6.1.7. Interceptor:

Es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta

⁹ HIDROPLUVIALES SOLUCIONES [en línea]. Solución para hacer frente a la escasez de agua. [Consultado el 07 de septiembre de 2016]. Disponible en Internet: <http://hidropluviales.com/captacion-agua-de-lluvia/>.

a) b) c) d) 25 el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo. Se debe tener en cuenta que el agua recolectada temporalmente por el interceptor, también puede utilizarse para el riego de plantas o jardines. El interceptor consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de los bajantes unidos a las canaletas. El tanque interceptor debe contar con una válvula de flotador que permita su llenado, cuando éste alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente debe tener una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia.¹⁰

Ilustración 6 Interceptor de primeras aguas



Fuente: Monografisa.com. Cosecha de agua. [Citado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos96/cosecha-agua/cosecha-agua.shtml>

6.1.8. Almacenamiento:

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes¹¹:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración.
- De no más de 2m de altura para minimizar las sobre-presiones
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias

¹¹ Ibíd. Disponible en Internet: <http://hidropluviales.com/captacion-agua-de-lluvia/> . [consultado el 29 de septiembre de 2016]

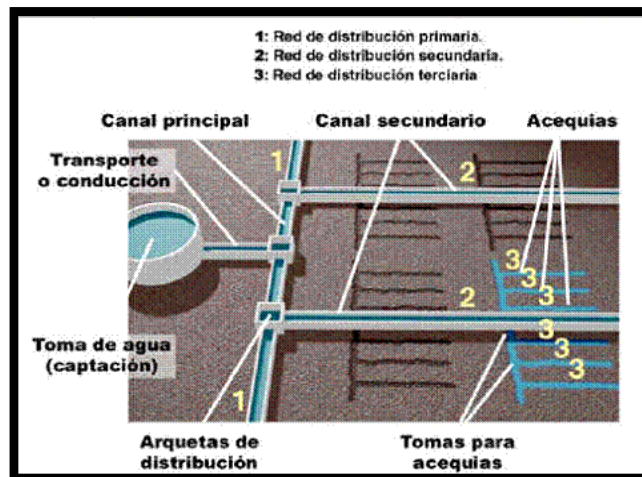
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Los tipos de tanques de almacenamiento de agua lluvia a ser empleados pueden ser contruidos con los siguientes materiales: Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L); Ferro-cemento para cualquier volumen; Concreto reforzado para cualquier volumen.

6.1.9. Red de distribución:

Una red de distribución hidráulica es un sistema de elementos como tuberías, bombas, válvulas o tanques que se conectan entre sí para transportar determinadas cantidades de fluido donde su principal característica es el funcionamiento del conjunto. Cada una de las tuberías tiene una longitud, diámetro y coeficiente de rugosidad característico. Las tuberías se conectan entre sí en puntos denominados nudos o nodos de unión. Los nodos de unión pueden bien ser puntos donde dos o más secciones de tubería se encuentran, o donde el caudal entra o sale de la red. Existe otro tipo de nodo, denominado nodo fuente; éste es un punto de energía constante, como por ejemplo un tanque de almacenamiento elevado, una válvula de regulación de presión, entre otros¹².

¹² FLUIDOS ESCUALA DE INGENIERIA DE ANTIOQIA [en línea] Topología de una red hidráulica. [Consultado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en Internet: http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoentuberias/neuronal/neuronal_archivos/page0004.htm

Ilustración 7 red de distribución de aguas lluvia



Fuente: Opencourseware Universidad de Sevilla. Sistema de distribución del agua. [Citado el 30 de septiembre de 2016]. Disponible en : http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%208.Riego%20por%20superficie/page_12.htm

6.2. ASPECTOS GENERALES A TENER EN CUENTA PARA EL DISEÑO SEGÚN EL RAS-2000.

6.2.1. Periodo de retorno de la lluvia de diseño

El período de retorno de diseño debe determinarse de acuerdo con la importancia de las áreas y con los daños, perjuicios o molestias que las inundaciones periódicas puedan ocasionar a los habitantes, el tráfico vehicular, el comercio, la industria, etc. La selección del período de retorno está asociada con las características de protección e importancia del área de estudio y, por lo tanto, el valor adoptado debe estar justificado de acuerdo con dicho criterio. En la Tabla 1 se establecen los valores de períodos de retorno de acuerdo con el grado de protección, con las características del área de drenaje y el tamaño total de dicha área para el sistema o sector diseñado.

Tabla 1 Períodos de retorno recomendados según el grado de protección del sistema

Características del área de drenaje	Mínimo (años)	Aceptable (años)	Recomendado (años)
Tramos iniciales en zonas residenciales con áreas tributarias menores de 2 ha	2	2	3
Tramos iniciales en zonas comerciales o industriales, con áreas tributarias menores de 2 ha	2	3	5

Tramos de alcantarillado con áreas tributarias entre 2 y 10 ha	2	3	5
Tramos de alcantarillado con áreas tributarias mayores a 10 ha	5	5	10
Canales abiertos en zonas planas y que drenan áreas mayores a 1000 ha	10	25	50
Canales abiertos en zonas montañosas (alta velocidad) o a media ladera, que drenan áreas mayores a 1000 ha	25	50	100

Fuente: RAS 2000. Título D. Tabla D 4.1.

6.2.2. Tiempo de concentración

El mínimo período de tiempo para alcanzar el caudal máximo a la salida de la cuenca se conoce como el tiempo de concentración. Este también se puede interpretar como el tiempo que se demora el agua en llegar a la salida de la cuenca desde el punto más alejado.¹³

En el caso del método racional, con el fin de calcular el caudal de diseño, haciendo uso de las curvas de IDF, el diseñador debe suponer que la duración del evento de precipitación de diseño es igual al tiempo de concentración para un sistema de alcantarillado de aguas lluvias particular.

El tiempo de concentración es función del tamaño y la forma de la cuenca en donde se localiza el tramo objeto de análisis. Si la duración del evento de precipitación fuera inferior al tiempo de concentración, no se alcanzaría el caudal pico a la salida de la cuenca. Por otro lado, si la duración de la lluvia fuera mayor que el tiempo de concentración, tanto la intensidad como el caudal de escorrentía serían menores.

Para calcular el tiempo de concentración se debe utilizar la ecuación mostrada a continuación.

$$T_c = T_e + T_t$$

Donde:

T_c = Tiempo de concentración (min).

¹³ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 2320 de 2009. Por la cual se modifica parcialmente la resolución 1096 de 2000 que adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico –RAS-, Bogotá: 2009. Título D. 96 p.

Te= Tiempo de entrada (min).

Tt= Tiempo de recorrido (min).

6.2.3. Intensidad de precipitación

El diseñador debe calcular la intensidad de precipitación, ya que éste es un parámetro común a todos los modelos utilizados para estimar el caudal de aguas lluvias. El cálculo de la intensidad de precipitación depende del modelo de infiltración o método de estimación de caudal de aguas lluvias que sea utilizado por el diseñador.

Para el caso del método racional el diseñador debe utilizar la intensidad media de precipitación dada por las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para el período de retorno de diseño escogido, de acuerdo con lo establecido en el literal 5.2.1 y una duración de lluvia equivalente al tiempo de concentración de la escorrentía, de acuerdo con lo establecido en el literal 5.2.2.

6.2.4. Curvas de intensidad-duración-frecuencia

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con períodos de retorno específicos. Es necesario verificar la existencia de curvas IDF para la localidad. Si existen, estas deben ser analizadas para establecer su validez y confiabilidad para su aplicación al proyecto.

Si no existen, es necesario obtenerlas a partir de información existente de lluvias. La obtención de las curvas IDF debe realizarse con información pluviográfica de estaciones ubicadas en la localidad, derivando las curvas de frecuencia correspondientes mediante análisis puntuales de frecuencia de eventos extremos máximos. La distribución de probabilidad de Gumbel se recomienda para estos análisis, aunque otras también pueden ser ajustadas.¹⁴

Eventualmente, es posible hacer análisis regionales de frecuencia en caso de disponer de más de una estación pluviográfica. Si no existe información en la

¹⁴ Ibíd., p. 95.

población, debe recurrirse a estaciones localizadas en la zona lo más cercanas a la población. Si esto no permite derivar curvas IDF aceptables para el proyecto, deben ajustarse curvas IDF por métodos sintéticos, preferencialmente derivados con información pluviográfica colombiana. De acuerdo con el nivel de complejidad del sistema, la manera mínima permitida de obtención de las curvas IDF se define en la Tabla 2.

Tabla 2 Mínimo requerimiento para la fuente de obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Nivel de complejidad del sistema	Mínimo requerimiento
Bajo y medio	Curvas sistémicas
Medio alto	Información pluviográfica
Alto	Información pluviográfica local

Fuente RAS 2000, tabla D.4.9.

El diseñador también podrá hacer uso de ecuaciones que relacionen la intensidad de lluvia y su duración, cuando estas existan para cada una de las estaciones pluviográficas de la ciudad o de la zona del municipio.

A continuación, se mostrarán las ecuaciones para el cálculo de la intensidad de la precipitación.

$$i = \frac{a}{(Td^b + c)}$$

$$i = \frac{a}{(Td + c)^b}$$

Donde:

i = Intensidad de precipitación (mm/h).

Td = Duración de la lluvia (min).

a , b y c = Coeficientes función de las características de cada estación pluviográfica (adimensional).

6.2.5. Caudal de diseño

Para calcular el caudal de diseño de la red de recolección de agua lluvia se usó el método racional, teniendo en cuenta que el área aferente del proyecto es menor a 80 Hectáreas. La expresión para este método está dada por¹⁵

¹⁵ MINISTERIO DE VIVIENDA. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000. Título D 4.4.3 ,92.p

$$Q = 2.78 * (C * I * A)$$

Donde

Q = caudal (m³/s).

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

I = Intensidad de lluvia de diseño (mm/h).

A = Área de la cubierta (Ha).

6.2.5.1. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de impermeabilidad, está en función del tipo del suelo del área tributaria, el grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de todos aquellos otros factores que determinen qué parte de la precipitación se convierte en escorrentía¹⁶

Se tomó de la siguiente tabla:

Ilustración 8 Coeficiente de Escorrentia

TABLA D.4.5

Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad

Tipo de superficie	C
Cubiertas	0,75-0,95
Pavimentos asfálticos y superficies de concreto	0,70-0,95
Vías adoquinadas	0,70-0,85
Zonas comerciales o industriales	0,60-0,95
Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras	0,75
Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre éstos	0,60-0,75
Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines	0,40-0,60
Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados	0,45
Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios	0,30
Laderas sin vegetación	0,60
Laderas con vegetación	0,30
Parques recreacionales	0,20-0,35

Fuente: ministerio de vivienda. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico ras – 2000. Título D. Tabla D.4.5. [Citado el 3 de diciembre de 2017]. Disponible en: http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/6._Sistemas_de_recoleccion_de_aguas.pdf

6.3. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

¹⁶ MINISTERIO DE VIVIENDA. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000. Título D 4.4.3.1 ,93.p

6.3.1. Condiciones generales

1.1.1.1. 6.3.1.1. Seguridad

El tanque debe estar localizado en terrenos no susceptibles de deslizamientos o inundaciones. Además, debe ser estable con respecto a la calidad del suelo de cimentación y a fallas de origen geotécnico o geológico. Igualmente, la estructura debe ser estable para el sismo de diseño correspondiente a la zona de amenaza sísmica en que se encuentre ubicado el municipio objeto del sistema de acueducto.¹⁷

2.1.1.1. Facilidad de mantenimiento

El tanque debe diseñarse de tal forma que puedan realizarse labores de mantenimiento con el mínimo de interrupciones, teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

- Para los niveles medio, medio alto y alto de complejidad el tanque debe tener como mínimo dos compartimientos que puedan operar en forma independiente.
- Para el nivel bajo de complejidad y cuando el tanque tenga un solo compartimiento debe colocarse una tubería de paso directo (bypass) que permita mantener el servicio mientras se efectúa el lavado o la reparación del tanque, con la debida consideración del aumento que pueda presentarse en la presión en caso de que el tanque trabaje como una cámara aliviadora de presiones.
- El tanque debe estar provisto de válvulas para el cierre de las tuberías de entrada, de la tubería de salida, descarga de fondo y rebose que permitan la reparación de éstas, aun cuando el tanque se encuentre lleno de agua.
- Los dispositivos para el cierre de las tuberías de entrada y salida deben ser instalados dentro de una caja que permita facilidad en su operación.
- El diseño debe prever la forma de mantenimiento.¹⁸

¹⁷ MINISTERIO DE VIVIENDA. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO RAS – 2000. Título B 9.3.1 ,197p

¹⁸ Ibid., p.197

3.1.1.1. Restricción de acceso

Deben tomarse las medidas de seguridad necesarias mediante cercados, vías de acceso restringidas, vigilancia o cualquier otra forma, para evitar el acceso de personas extrañas a aquellas encargadas de la operación y/o mantenimiento.

Para la ubicación de los tanques deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los tanques urbanos deben localizarse lo más cerca posible de la red de distribución partiendo los puntos altos de la población y asegurando el mantenimiento de presiones adecuadas.
- El área para el emplazamiento del tanque no podrá situarse en zonas que presenten drenaje natural de agua lluvia o que sea susceptibles de inundaciones. En caso de que exista la posibilidad del paso de agua lluvias en las cercanías del tanque, deben evitarse infiltraciones hacia el interior del tanque.
- La localización del tanque debe garantizar la presión mínima en la red de distribución.
- Si el tanque es enterrado o semienterrado, debe estar alejado de cualquier fuente de contaminación, tales como pozos sépticos, depósitos de basuras, letrinas, sumideros, corrales, etc. y debe tener cubierta.
- Si el tanque es metálico, debe situarse en zonas donde se minimice el riesgo de corrosión.¹⁹

4.1.1.1. Distancia a otras redes

La distancia mínima de un tanque enterrado o semienterrado a una tubería de alcantarillado debe ser mayor que 30 m, cuando el terreno es impermeable, hasta una profundidad de 1 m por debajo del fondo del tanque y mayor que 45 m cuando el terreno es permeable. Las distancias establecidas en el párrafo anterior pueden ser reducidas a la mitad, si se instala un sistema de drenaje que rodee externamente el perímetro del fondo del tanque.²⁰

¹⁹ Ibid., p.197.

²⁰ Ibid., p.198.

6.3.2. PARAMETROS DE DISEÑO

5.1.1.1. Periodo de diseño

Se adopta como periodo de diseño 25 años para el sistema del presente proyecto teniendo en cuenta la complejidad del sistema y su importancia²¹

6.1.1.1. Caudal de diseño

El tanque debe proveer el caudal máximo horario (QMD), teniendo en cuenta la variación del consumo que se entrega a la zona que está abasteciendo del colegio.

El caudal que entra al tanque depende de la intensidad obtenida de las curvas IDf con el cual se calcula el caudal por el método racional.²²

7.1.1.1. Análisis estructural del tanque

6.3.2.1.1. Tabla de bares

Las tablas de bares proporcionan formulas prácticas y tablas a los proyectistas para el cálculo de placas y vigas pared, determinadas según la teoría de la elasticidad.²³

6.3.2.1.2. Teoría de cálculo

La teoría clásica de las placas isotrópicas está basada en ciertas hipótesis significativas y algunas limitaciones.

Hipótesis relativas al material y forma de la placa:

- El material de la placa es perfectamente elástico.
- El material de la placa sigue la Ley de Hooke y tiene las mismas constantes elásticas para cualquier estado de carga.
- El material es homogéneo e isotrópico.

²¹ MINISTERIO DE VIVIENDA. RESOLUCION 0330 de 2017, Capitulo 1, Aspectos generales, Artículo 40. Periodo de diseño. Bogota,2017.31.p

²² MINISTERIO DE VIVIENDA. RESOLUCION 0330 de 2017, Capitulo 2, Sección 1, Consideraciones técnicas generales, Artículo 47. Caudales de diseño tabla 2. Bogota,2017.34.p

²³ CORCHO, Freddy y DUQUE,Jose Ignacio. Acueductos, teoría y diseño. 2da edición. Colombia: Universidad de Medellin. Mayo de 2009. P 368.

- El espesor de la placa es constante.
- El espesor de la placa es pequeño comparado con las restantes dimensiones de la placa.

Hipótesis que se refieren al comportamiento de la placa bajo carga:

- Las fibras perpendiculares al plano medio de la placa antes de la deformación permanecen perpendiculares a la superficie media de la placa deformada.
- A tensión normal perpendicular al plano medio de la placa es despreciable.
- Los desplazamientos verticales son tan pequeños que la curvatura en una dirección cualquiera viene dada por la derivada segunda del desplazamiento vertical en la dirección considerada.
- En el plano medio de la placa no actúan tensiones normales, es decir, que este plano no sufre deformación alguna.
- El peso propio está incluido en la placa exterior.
- Los ángulos de las placas están asegurados contra el levantamiento, y en las placas de hormigón armado se sitúa una armadura en los esquemas para absorber los momentos de torsión.²⁴

6.3.2.1.3. Diseño de las paredes sometidas a empuje de tierras

La placa se considera empotrada en tres de sus extremos y el borde superior como apoyo articulado. La posición más desfavorable es cuando el tanque está vacío. Se trabaja con un módulo de Poisson de 0,20 para darle mayor rigidez en el sentido del empuje de tierras.²⁵

6.3.2.1.4. Diseño de la cubierta

Se considera la placa como articulada en los cuatro extremos, con una carga uniformemente distribuida en toda su área.²⁶

6.3.2.1.5. Losa de fondo

²⁴ CORCHO, Freddy y DUQUE, Jose Ignacio. Acueductos, teoría y diseño. 2da edición. Colombia: Universidad de Medellin. Mayo de 2009. P 368.

²⁵ CORCHO, Freddy y DUQUE, Jose Ignacio. Acueductos, teoría y diseño. 2da edición. Colombia: Universidad de Medellin. Mayo de 2009. P 369.

²⁶ CORCHO, Freddy y DUQUE, Jose Ignacio. Acueductos, teoría y diseño. 2da edición. Colombia: Universidad de Medellin. Mayo de 2009. P 370.

Se diseña de igual forma que la losa de cubierta, diferenciándose únicamente en la determinación de la carga q y los momentos de diseño.²⁷

6.4. MARCO GEOGRÁFICO

6.4.1. Localización.

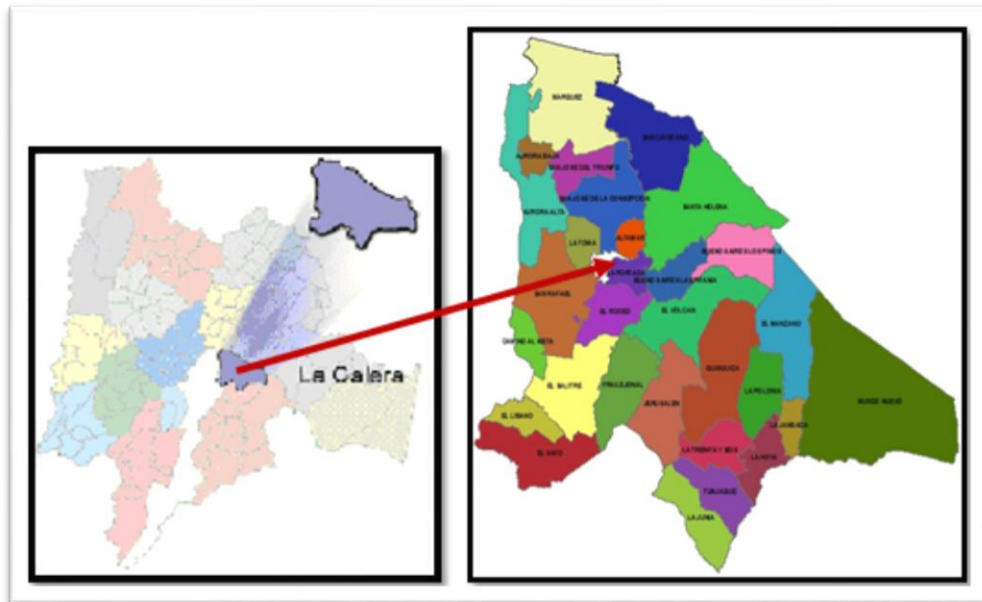
La Calera se halla situada al oriente del departamento de Cundinamarca y al noreste de Bogotá. Su cabecera está localizada a los 4° 43' 17" de latitud norte y 73° 58' de longitud oeste de Greenwich; con respecto a la ciudad de Bogotá (capital de Colombia) en arco 0° 06' 29" este²⁸.

- Extensión total: 31.686,06 Km²
- Extensión área urbana: 144.34 Km²
- Extensión área rural: 31.541,72 Km²
- Altitud (metros sobre el nivel del mar): 2.718 MSNM
- Temperatura media: 14 grados centígrados C
- Distancia de referencia: 18 kilómetros desde Bogotá.

Ilustración 9 Ubicación Municipio de La Calera.

²⁷ CORCHO, Freddy y DUQUE, Jose Ignacio. Acueductos, teoría y diseño. 2da edición. Colombia: Universidad de Medellín. Mayo de 2009. P 371.

²⁸ ALCALDIA MUNICIPIO DE LA CALERA. Nuestro municipio. [en línea]. [consultado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en Internet: http://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml.



Fuente: La Calera Cundinamarca. Mi municipio mapas [citado el 29 de septiembre de 2016 Disponible en: <http://www.lacalera-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx>

6.4.2. Límites.

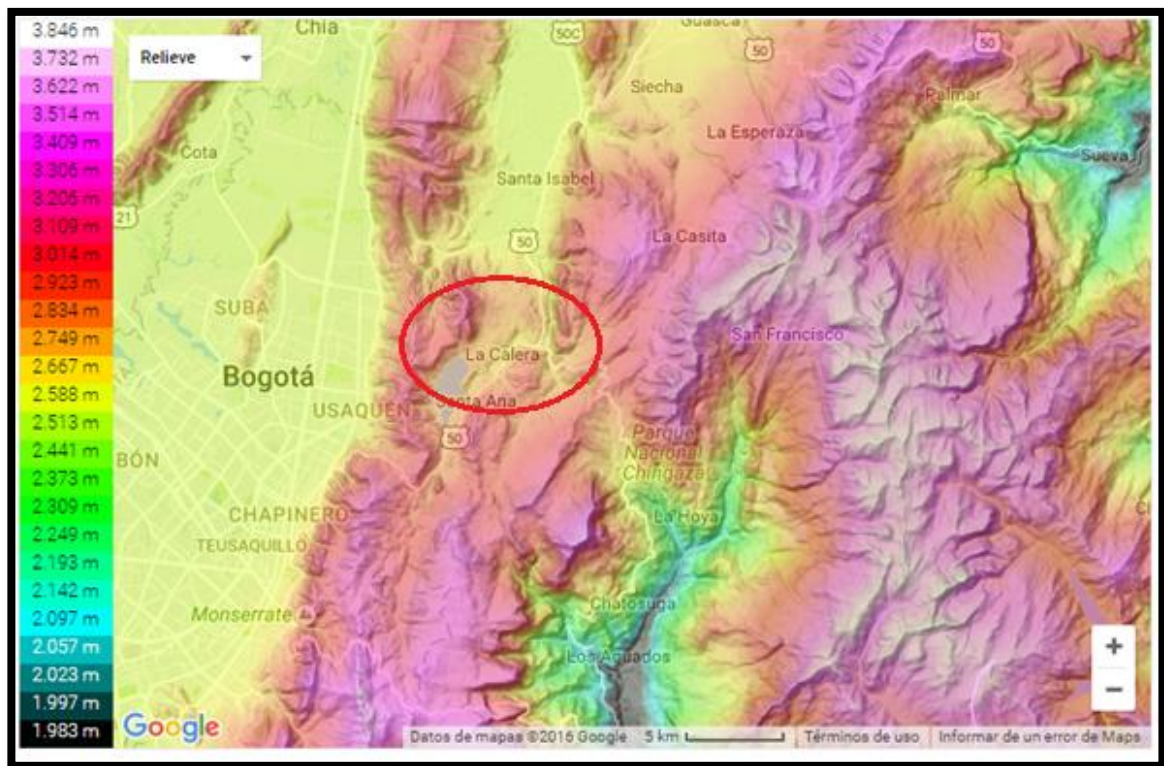
EL Municipio de La Calera limita con:

- Norte, con los Municipios de Guasca, Sopó y Chía.
- Oriente, con el Municipio de Guasca.
- Occidente, con Bogotá.
- Sur, con el municipio de Choachí y Bogotá.

6.4.3. Características geográficas.

8.1.1.1. Topografía.

Ilustración 10 mapa topográfico municipio de La Calera Cundinamarca



Fuente: Topographic-map.com. La Calera [citado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en <http://es-co.topographic-map.com/places/La-Calera-231356/>

Ilustración 11 mapa topográfico La Calera Cundinamarca



Fuente: wikispaces. Municipio la calera [citado el 29 de septiembre de 2016]. Disponible en: <https://ptars.wikispaces.com/Municipio+La+Calera>

9.1.1.1. Hidrografía.

La hidrografía de La Calera pertenece a las Vertientes del Magdalena y del Meta. Dos ríos surcan el municipio El Teusacá y El Río Blanco.

Río Teusacá: Nace en la Laguna del Verjón situada en el cerro de Monserrate y desemboca en el río Funza o Bogotá. Numerosas quebradas aumentan su caudal, siendo las más importantes la del Hato, Marmaja, Cara de perro, Carrizal, Chocolatero, Cirujano, San Isidro, Siecha, Simayá y Aguas Claras.

Río Blanco: Nace en la laguna de Buitrago en límites con el Municipio de Guasca, recibiendo en su trayecto quebradas bastante caudalosas como son: La Marmaja, La Ramada, Calostros, Jaboncillo que se forma por la unión de las quebradas Chocolatero y Palacio, además de la quebrada Blanca que recibe en los límites con Choachí. El río Blanco da sus aguas al río Negro en el sitio de la Unión. En la quebrada Jaboncillo se presenta una caída, que podría ser aprovechada para dotar de energía eléctrica a las Veredas de Mundo Nuevo y La Polonia.²⁹

6.4.4. Población e Infraestructura del Colegio.

El colegio La Nueva Esperanza actualmente cuenta con 400 personas entre los que se encuentran estudiantes, profesores, y empleados de servicios varios.

La infraestructura del colegio está compuesta por:

Tabla 3 Infraestructura del Colegio

• 12 aulas	• Aula de cómputo
• Laboratorio	• Oficina de rectoría
• Oficina de coordinación	• Oficina de secretaría
• Sala de profesores	• 1 Cancha de multipropósito
• 3 patios de recreación	• Cafetería
• Sala de materiales	• 4 jardines
• 16 lavamanos	• 1 huerta
• 10 baños de niñas	• 10 baños de niños

Fuente: Propia.

²⁹ RUTAS TURISTICAS. [en línea]. 2010 [consultado el 16 de marzo de 2017]. Disponible en Internet: http://www.rutas-turisticas.com/la_calera_quavio_cidade_ou_localidade_4406.html

6.5. MARCO LEGAL

Al tratarse este proyecto de un aprovechamiento de aguas lluvias, la normatividad correspondiente que rige en Colombia para un diseño de este tipo es el RAS 2000 el cual en su título D hace referencia a “SISTEMA DE RECOLECCION Y EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS Y PLUVIALES” en este capítulo encontraremos los parámetros de diseño, nivel de complejidad entre otros.

También existen leyes que afectan directamente en el diseño y construcción de proyectos como este, estas serán mencionadas a continuación para el complemento de este marco legal

Tabla 4 Normatividad Legal vigente

LEGISLACION COLOMBIANA PARA LA RECOLECCION Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA	
Decreto Ley, 2811 de 1974 Congreso de la Republica de Colombia.	Por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente.
Ley 99 de 1993, Congreso de la Republica de Colombia.	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.
Código Sanitario Nacional o Ley 9 de 1979	Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.
Artículos 79 y 80 de la constitución política de Colombia.	Establece que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente.
Decreto 1541 de 1978, Congreso de la Republica de Colombia.	Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.

Decreto 1594 de 1984, Congreso de la Republica de Colombia.	por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Norma técnica NTC Colombiana 30	Cemento Portland. Clasificación y nomenclatura.
Norma técnica NTC Colombiana 44	Tubos y juntas de asbesto-cemento para conducción de fluidos a presión.
Norma técnica NTC Colombiana 1257	Ingeniería Civil y Arquitectura. Instalación de tuberías para conducción de aguas sin presión.
Norma técnica NTC Colombiana 5055	Tubos y accesorios de poli (cloruro de vinilo) (pvc) perfilados para uso en ALCANTARILLADO SANITARIO por gravedad, controlados por el diámetro interno.

Fuente: Propia.

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1. ENFOQUE

La presente investigación fue de índole cuantitativo debido a que contiene diferentes variables numéricas como lo fueron los datos estadísticos de precipitaciones de los últimos años, el valor del posible caudal de recolección para el almacenamiento de agua, y el caudal de consumo, los cuales dependen de la climatología histórica, el tiempo de retorno y el número de estudiantes de la institución.

7.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto perteneció a una investigación del tipo evaluativa debido a que se realizó un diseño para el aprovechamiento de aguas lluvia a partir del cálculo de la intensidad de la lluvia con ayuda de datos estadísticos de una estación meteorología cercana, con esta intensidad se determinó el caudal de diseño para cada cubierta y de ahí se evaluó la capacidad de recolección y de ahorro en el consumo bimestral del agua con el que se evidencio el costo de los próximos recibos de acueducto.

7.3. FASES

Tabla 2 Actividades a realizar para la culminación del proyecto

FASES		ACTIVIDADES
1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	Descripción y ubicación de la zona a desarrollar el proyecto “Colegio La Esperanza- La Calera Cundinamarca”.
		Con la ayuda de diferentes medios como lo son la tecnología, buscar proyectos relacionados con el aprovechamiento de aguas lluvia los cuales puedan dejar algún tipo de aporte para esta tesis. Repositorio Universidad Javeriana
		Informe estadístico de las precipitaciones registradas en la estación meteorología santa teresita de los últimos años con su respectiva curva intensidad-duración-frecuencia (IDF).
		Recibos de consumo últimos meses de agua.
2	CUANTIFICACIÓN DE LA OFERTA Y ANALISIS DE	Escogiendo los datos de precipitaciones de los últimos años, calcular cuánto será el posible volumen de agua

	COSTO.BENEFICIO	que podremos recoger en determinado tiempo y de esta manera estimar los m3 de ahorro de agua.
		Para calcular cuánto volumen de agua se recolectara, también procederemos a conseguir los planos del colegio para con ello realizar el cálculo de las áreas de los tejados del colegio.
		Con el recibo del agua se calculara cuanto será el volumen de agua que se estaría ahorrando el colegio.
3	DISEÑO FINAL DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA	Diseñar el sistema de aprovechamiento de aguas lluvia para el Colegio La Esperanza.

Fuente: Propia.

7.4. INSTRUMENTO.

7.4.1. Software:

10.1.1.1. Microsoft Excel

Es una aplicación de hojas de cálculo que forma parte de la suite de oficina Microsoft Office. Es una aplicación utilizada en tareas financieras y contables, con fórmulas, gráficos y un lenguaje de programación.³⁰

Ilustración 12 Microsoft Excel



Fuente: Wikipedia. Microsoft Excel. [Citado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Excel

³⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO. [en línea]. 2017 [consultado el 19 de marzo de 2017]. Disponible en Internet: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/253436_d428e0e24143491882bf87b2dfdde2e3.html.

11.1.1.1. AutoCAD

AutoCAD es un software del tipo CAD (Computer Aided Design), y que fue creado por una empresa norteamericana especializada en este rubro llamada Autodesk. La primera versión del programa fue lanzada al mercado en el año 1982, y no ha cesado de cosechar éxitos desde ese entonces. Esto es principalmente debido a los altos estándares de calidad de código con que la empresa se maneja, hecho que ha logrado que se posicione con el software para el modelado de estructuras o planos más utilizado por arquitectos e ingenieros de todo el mundo.³¹

Ilustración 13 AutoCAD



Fuente: Instituto de educación a distancia. Autocad-2015-2 y 3. [Citado el 19 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://bioselearning.com/autocad-2015-2-y-3-dimensiones/>

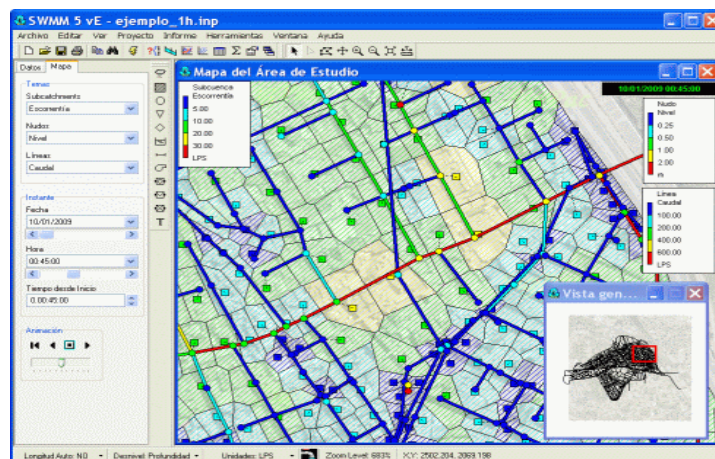
12.1.1.1. EPA SWMM 5 vE

Análisis y modelado de redes de drenaje (SWMM), es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos. SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental.³²

Ilustración 14 Epanet

³¹ INFORMÁTICA DE HOY.[en línea] [consultado el 19 de marzo de 2017]. Disponible en Internet: <http://www.informatica-hoy.com.ar/software-diseno-grafico/Que-es-Autocad.php>

³² UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL AGUA. ANÁLISIS Y MODELADO DE REDES DE DRENAJE SWMM [en línea] [consultado 19 de marzo de 2017]. Disponible en Internet: <http://www.ita.upv.es/formacion/fichacurso-es.php?idcu=swm>.



Fuente: Universitat politècnica de valencia. Análisis y modelado de redes de drenaje con SWMM. [Citado el 12 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.ita.upv.es/formacion/fichacurso-es.php?idcu=swm>

7.5. DISEÑO MUESTRAL

El diseño muestral que se ejecutó en la investigación fue de índole discrecional ya que la selección de elementos o datos de estudio para realizar el diseño o modelo propuesto se realizó a criterio del investigador, estos datos se escogieron según los datos pluviométricos obtenidos de la estación meteorológica Santa Teresita con la cual se analizaron en periodos de tiempos pasados y proyecciones futuras para obtener los datos requeridos de diseño.³³

Las variables a utilizar en este proyecto son los caudales máximos, caudales medios, intensidades y áreas con las cuales se calcularon las precipitaciones a partir de estaciones pluviométricas en el municipio de la Calera Cundinamarca, se escogerán los datos de los últimos 20 años.

Tabla 5 Variables a tener en cuenta para el diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvia.

	VARIABLE	INDICADOR	DESCRIPCION	MEDICION
INDEPENDIENTES	Caudal	Velocidad Área Tiempo volumen	Es el resultado de la relación entre la velocidad y el área.	$\frac{m^3}{seg}$
DEPENDIENTES	Consumo de agua	Volumen	Es el volumen de agua que se consume en el lugar de estudio.	m^3

Fuente: Autor

³³ EXPLORABLE. “muestreo discrecional” [en línea] [consultado el 22 de marzo de 2017]. Disponible en Internet: <https://explorable.com/es/muestreo-discrecional>

7.6. CRONOGRAMA

Tabla 6 Cronograma del proyecto 2016 - 2017

ITEM	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
Recopilación de información	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	
calculo de áreas del tejado del colegio					✗						
Graficar curvas IDF			✗	✗	✗						
Calculo del consumo bimensual					✗	✗	✗	✗	✗	✗	
Calculo del posible ahorro (costo-beneficio)								✗	✗	✗	
Realizar el diseño de aprovechamiento de aguas lluvia								✗	✗	✗	
Análisis y conclusiones										✗	✗

Fuente: Autor

7.7. PRESUPUESTO

Tabla 7 presupuesto necesario para la realización del proyecto

ITEM	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
Transmilenio más intermunicipal a la Calera	\$10.400	8	\$83.200
Impresiones	\$12.000	4	\$44.000
TOTAL			\$127.200

Fuente: Autor.

8. RESULTADOS

8.1. DISEÑO DE SISTEMA DE RECOLECCION DE AGUA LLUVIA

Una vez obtenida la información necesaria la cual corresponde a la descripción, ubicación, datos históricos, informes estadísticos de precipitaciones de la zona de estudio, se procede a realizar los respectivos cálculos que componen el sistema entre ellos se contemplan inicialmente el área de los tejados para determinar el caudal de diseño para la recolección, seguido se determinara el diámetro comercial de las canaletas y bajantes las cuales garantizan evacuar sin problema el caudal de diseño, se diseñan las cajas de recolección y la conducción de estas al tanque de almacenamiento con sus respectivas pendientes y dimensiones.

8.2. CALCULOS PLUVIOMETRICOS.

Para iniciar el diseño de la propuesta, se tienen información de estaciones pluviométricas cercanas al sitio de estudio, por lo que se tomó como base de datos los registros pluviométricos suministrados por la CAR como referencia a la cuenca RIO TEUSACA donde se encuentra el sitio de estudio cuya estación pluviométrica es SANTA TERESA ubicada geométricamente $N=4^{\circ}44'44''$, $E=73^{\circ}55'52''$, Numero de estación: 2120103, Cota: 2992; la cual entregó valores totales mensuales de precipitación, máxima en 24 horas (mm) de más de 20 años entre el año 1978 al año 2009 con los que se procedió a realizar la curva IDF. (Ver anexo precipitaciones totales maximas en 24 horas).

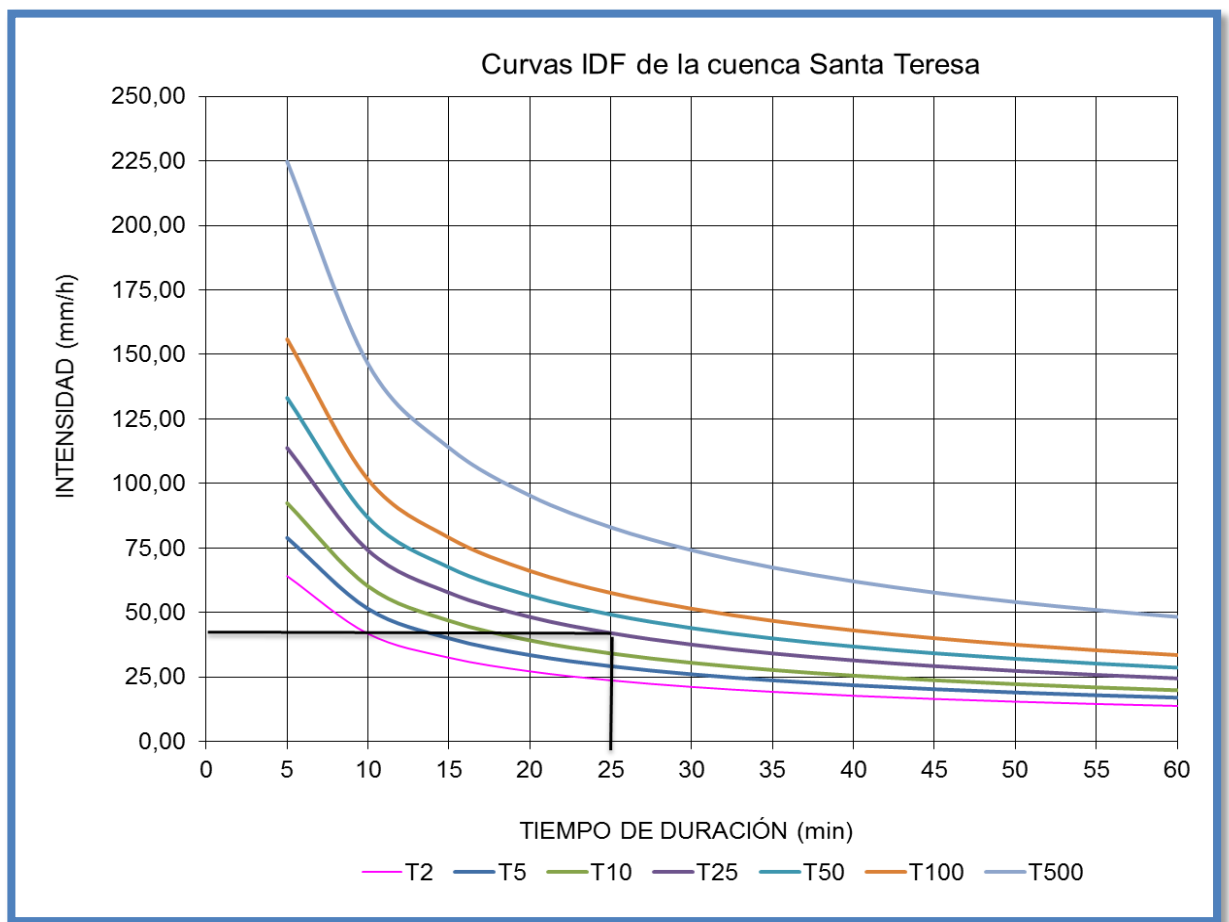
Para calcular la intensidad de precipitación, se utilizó el calculo de curvas IDF para 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años con las que según el periodo de retorno de diseño (25 años) se tomo el valor correspondiente a un evento normal de 25 minutos.

Tabla 8: Tabla de intensidades

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	64,08	41,73	32,47	27,17	23,67	21,14	19,22	17,70	16,45	15,41	14,53	13,77
5	78,91	51,39	39,98	33,46	29,15	26,04	23,67	21,79	20,26	18,98	17,89	16,96
10	92,38	60,15	46,81	39,17	34,12	30,48	27,71	25,51	23,72	22,22	20,95	19,85
25	113,76	74,08	57,64	48,24	42,02	37,53	34,12	31,41	29,20	27,36	25,79	24,44
50	133,16	86,72	67,47	56,47	49,18	43,94	39,94	36,77	34,19	32,03	30,19	28,61
100	155,88	101,51	78,98	66,10	57,58	51,43	46,75	43,04	40,02	37,49	35,34	33,49
500	224,71	146,33	113,86	95,29	83,00	74,14	67,40	62,05	57,69	54,05	50,95	48,28

Fuente: Autor.

Ilustración 15: Curvas IDF de Diseño



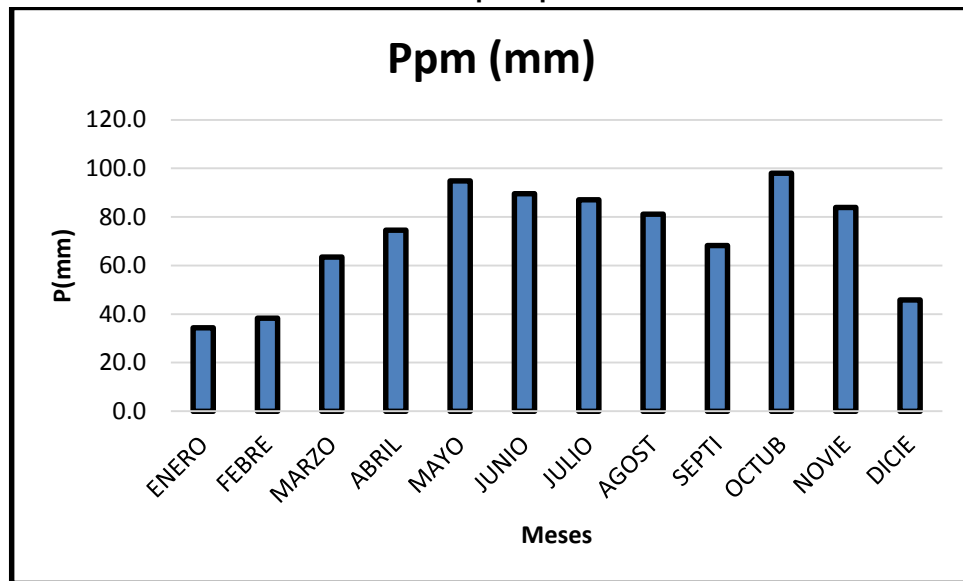
Fuente: Autor.

De la curva IDF se tomó como valor la intensidad de diseño de 42.02 mm/h, obtenido con una frecuencia de 25 años y una duración de lluvia de 25 min.

También se realizó una tabla de precipitaciones promedio mensuales de los años de estudio, los cuales son parte esencial para determinar el volumen de almacenamiento por mes que deberá tener la red de distribución.

En dicha tabla se puede observar que el mes de mayor precipitación es el mes de noviembre con un valor de 310 mm y el mes de menor precipitación es el mes de Julio con un valor de 123 mm.

Ilustración 16 Barras de precipitaciones mensuales



Fuente: Autor.

8.3. CALCULO DE CAUDAL DE DISEÑO

Para este componente, se tiene en cuenta que las cubiertas del colegio son a dos aguas, por lo que cada cubierta a un agua tiene un área de 66.4 m².

Se halla el caudal de diseño utilizando la ecuación de método racional:

$$Q=C*I*A$$

Al realizar el cálculo el valor obtenido es de:

Tabla 9 Datos obtenido para el cálculo del caudal de diseño

C	0,95	
I (mm/h)	42,02	
AREA CUBIERTA 1 AGUA	M2	Ha
	66,4	0,00664

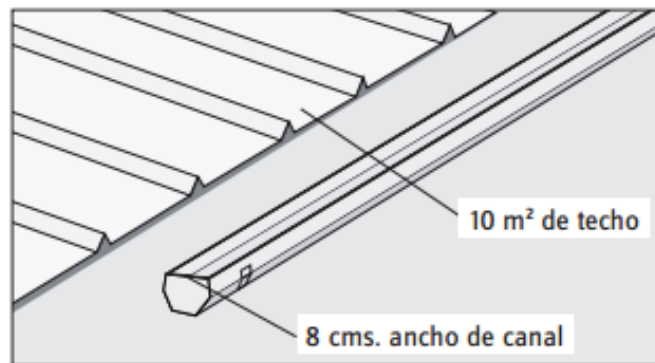
$$Q = 0,00074 \text{ m}^3/\text{s} = 0,736 \text{ l/s}$$

8.4. DISEÑO DE CANALETAS Y BAJANTES CAMARA Y TANQUE

8.4.1. Canaletas.

Para determinar dimensiones de la canaleta que el sistema requiere se tiene en cuenta el área de recolección mencionada en la tabla 5, lo que indica que el tamaño de la canaleta debe estar en relación con la superficie de cubierta que desagua. Se calcula una sección de 0,8 cm² por cada m² de cubierta.³⁴

Ilustración 17 Dimensiones de una canaleta



Fuente: Sodimac. Canaletas y bajantes de agua [Citado el 26 de abril de 2017]. Disponible en: http://www.hagaloustedmismo.cl/data/pdf/fichas/teis01_canaletas%20bajadas%20de%20agua.pdf

Es decir que para los 66.4 m² de área de cubierta a un agua, se requiere un área de sección de canaleta de 53.12 cm².

Teniendo en cuenta el area de la seccion de la canaleta requerida se procedio a revisar las canaletas comerciales ofrecidas en el mercado para estimar cual canaleta suple las condiciones del proyecto.

³⁴ SODIMAC [en línea]. 2017. [consultado el 26 de abril de 2017]. Disponible en Internet: <http://www.hagaloustedmismo.cl/data/pdf/fichas/te-canaletas%20bajadas%20de%20agua.pdf>.

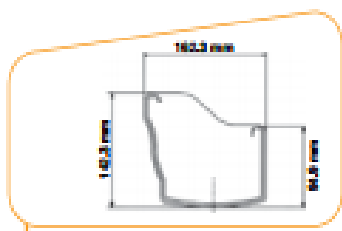
Se tomo como referencia el Manual Tecnico Sistemas canales y bajantes.³⁵

Ilustración 18: Referencias de una canaleta

Capacidad Canal Amazona PAVCO

La capacidad de la Canal Amazona PAVCO es de 90 m² de cubierta por cada bajante

Accesorios Canal Amazona PAVCO



Tapa Exterior
Derecha e Izquierda

Referencia	Peso kg
2901327 (Izq.)	0.144
2901328 (Der.)	0.140

Fuente: Pavco. Manual canales y bajantes para agua lluvia [citado el 26 de abril de 2017]. Disponible en: <https://pavco.com.co/manuales/manuales-tecnicos/4-25/i/25>

De lo especificado en dicho manual la canaleta que se adecua al proyecto es CANAL AMAZONA PAVCO, dado que sus dimensiones tienen una capacidad máxima de recolección de 90 m².

Para la pendiente se debe tener en cuenta que debe ser superior al 1% siguiendo las recomendaciones de la norma Icontec³⁶.

³⁵ PAVCO. Manual Técnico Sistemas Canales y Bajantes. Bogotá. 6 pag.

³⁶ RODRIGUEZ, Héctor. Diseños Hidráulicos Sanitarios y de Gas en Edificaciones. Escuela Colombiana de Ingeniería, mayo 2005.183 p.

8.4.2. Bajantes

Para el diseño de bajantes se utilizó la ecuación de Maning de la siguiente manera:

$$Q = 1,754 * \left(D^{8/3}\right) * \left(r^{5/3}\right)$$

Dónde:

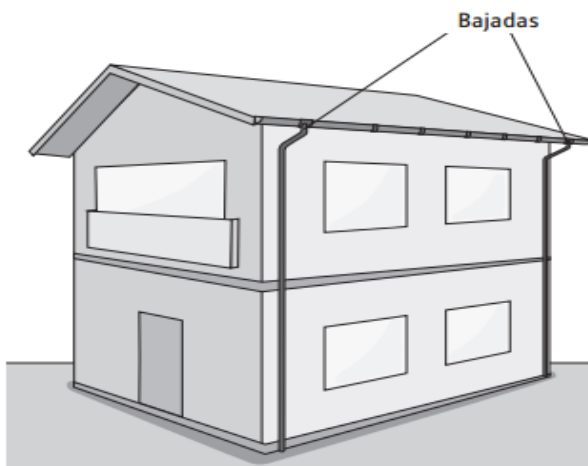
Q (lps): caudal de diseño para una bajante 0.736 l/s

D ("): dato que se calcula despejando.

r: relación entre área de corona circular y área de sección transversal, se toma 1/3 para aumentar la capacidad de la bajante.³⁷

Caudal por bajante = 0,736 l/s

Ilustración 19: Bajantes de aguas lluvias



Fuente: Sodimac. Canaletas y bajantes de agua [Citado el 26 de abril de 2017]. Disponible en: http://www.hagaloustedmismo.cl/data/pdf/fichas/teis01_canaletas%20bajadas%20de%20agua.pdf

Para el cálculo del diámetro comercial de la bajante se tiene en cuenta la relación con la superficie de cubierta que desagua. Se calcula una sección de 0,7 cm² por cada m² de cubierta lo que indica que para un área de 66.4 m² se necesita un área de sección de 46.48 cm². Es decir:

³⁷ CARMONA, Rafael. Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas Para Edificaciones. Bogotá. Octubre de 2010. 192p.

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2)$$

Realizando el cálculo y despejando el diámetro se tienen 3.02”

Teniendo en cuenta que el cálculo de diámetro de la bajante es 3.02” se determina como diámetro comercial de bajante 4”

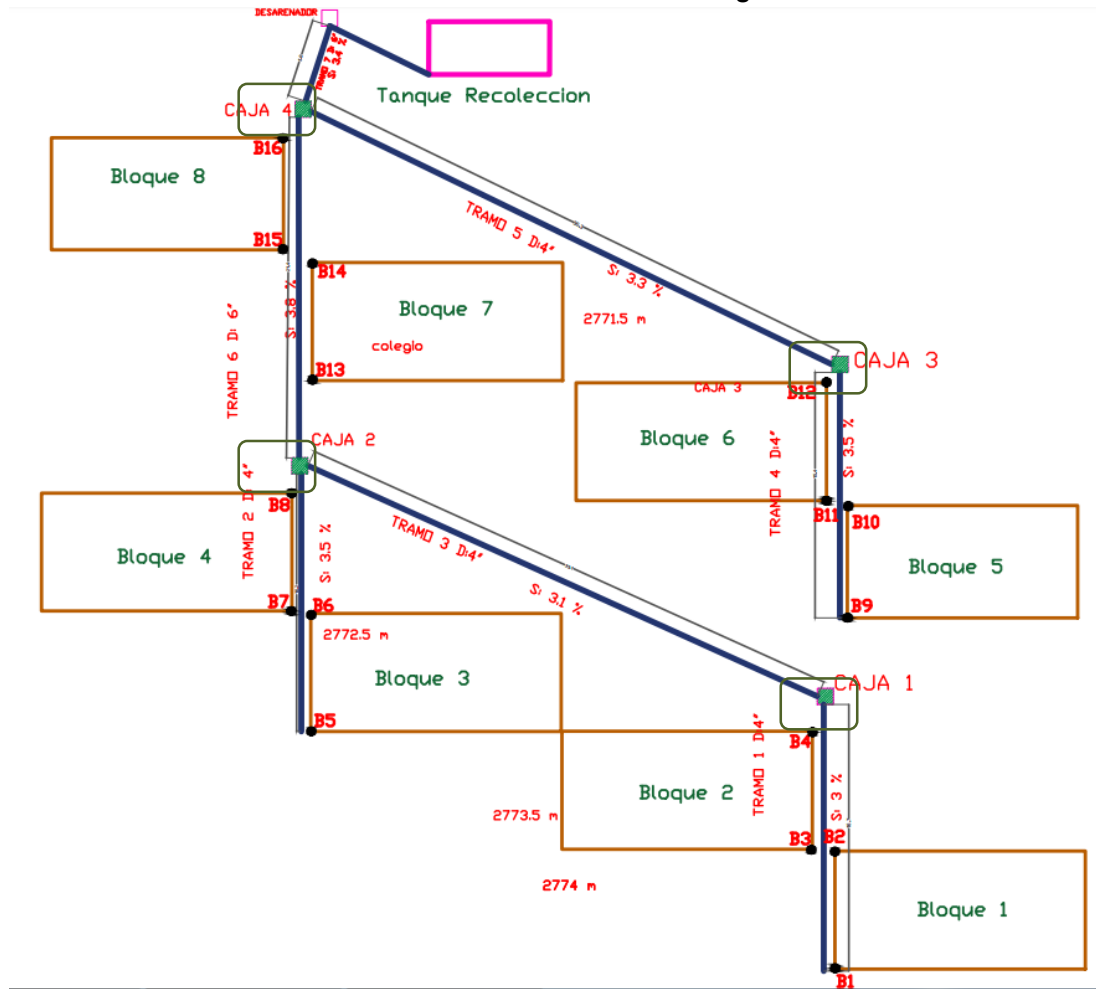
El caudal de diseño es 0.736 l/s por cada agua, teniendo en cuenta que cada bloque es a dos aguas se tiene.

Tabla 10: Caudal por bajantes

			Q Diseño (l/s)	0,736
Nº CAMARA	BAJANTES	Nº BAJANTES	Q (l/s)	Q ACUM (l/s)
1	B1 - B2 - B3 - B4	4	2,944	2,944
2	B5 - B6 - B7 - B8	4	2,944	5,888
3	B9 - B10 - B11 - B12	4	2,944	2,944
4	B13 - B14 - B15 - B16	4	2,944	11,776
			176	l/s
			0,176	m3

Fuente: Autor.

Ilustración 20 Red de recolección de agua lluvia



Fuente: Autor.

8.4.3. Cámara de Recolección

13.1.1.1. Diseño

Para el diseño de la cámara de recolección se debe tener en cuenta el caudal y velocidad final de la tubería que entra, cada cámara se realizó de forma cuadrada de 1.1m x 1.1m, estas medidas se toman a criterio de mantenimiento y limpieza, de tal manera que un operario las pueda ejecutar. La profundidad de la cámara se calcula con la ecuación de chorro, dando la profundidad de cota inferior de aducción, esta nos determina su profundidad. La cámara está diseñada para retener el agua en un periodo de tiempo entre la entrada y salida. Se tiene una diferencia de alturas entre la entrada y salida de 20cm. Se instaló un sifón en la base para retiro de sólidos.

Dónde:

$$X_s = 0.36 V_e^{\frac{2}{3}} + 0.60 h_e^{\frac{4}{7}}$$

X_s = Alcance filo superior

V_e = Velocidad al final de la tubería

h_e = Profundidad aguas abajo

B = Ancho del tubo de aducción

Q = Caudal de diseño

h_c = Profundidad crítica

g = Aceleración de la gravedad ³⁸

$$V_e = \frac{Q}{B h_e}$$

$$h_e = h_c = \left(\frac{Q^2}{g B^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Diseño cámara 1 y 3

Caudal de diseño: 2.944 l/s

Reemplazando se tiene:

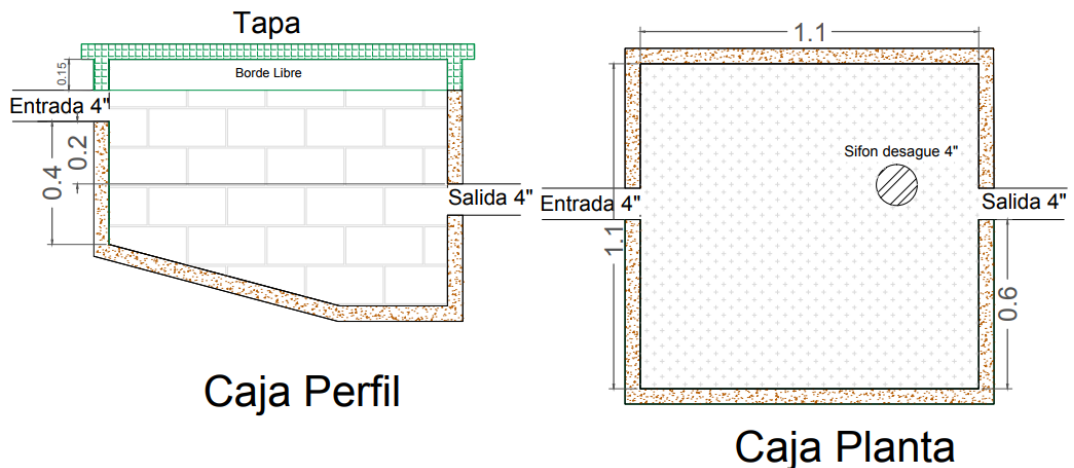
$$h_e = \left(\frac{0.00294^2}{9.81 \times 0.1016^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.044 \text{ m.}$$

$$V_e = \frac{0.00294}{0.1016 \times 0.044} = 0.66 \text{ m/s}$$

$$X_s = 0.36 \times 0.66^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times 0.044^{\frac{4}{7}} = 0.38 \text{ m} \approx 0.40 \text{ m}$$

Ilustración 21: Perfil y planta de cámara de recolección 1 y 3

Camara de Recoleccion 1 y 3



Fuente: Autor.

³⁸ Repository La Salle. Optimización del acueducto por gravedad del municipio de timaná (huila). [en línea]. 2017. Consultado [4 enero de 2018]. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15343/40012062.pdf?sequence=2>

Diseño cámara 2

Caudal de diseño: 5.888 l/s

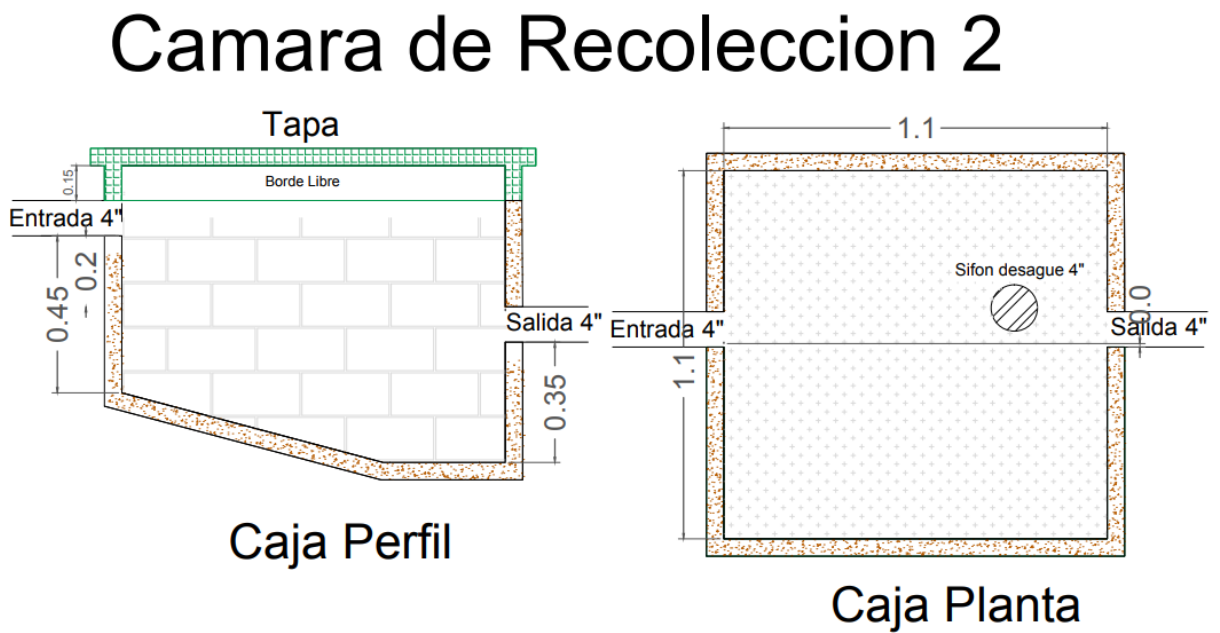
Reemplazando se tiene:

$$h_e = \left(\frac{0.00588^2}{9.81 \times 0.1016^2} \right)^{1/3} = 0.069 \text{ m.}$$

$$V_e = \frac{0.00588}{0.1016 \times 0.069} = 0.83 \text{ m/s}$$

$$X_s = 0.36 \times 0.83^{2/3} + 0.60 \times 0.069^{4/7} = 0.44 \text{ m} \approx 0.45 \text{ m}$$

Ilustración 22 Perfil y planta de cámara de recolección 2



Fuente: Autor.

Diseño cámara 4

Caudal de diseño: 11.77 l/s

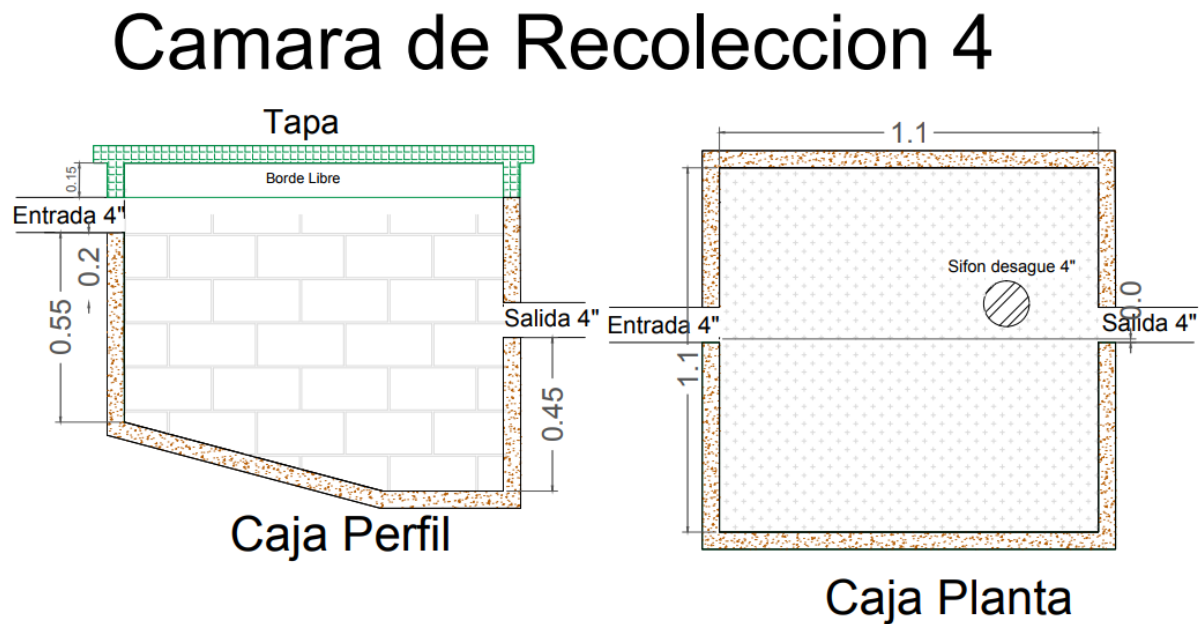
Reemplazando se tiene:

$$h_e = \left(\frac{0.01177^2}{9.81 \times 0.1016^2} \right)^{1/3} = 0.111 \text{ m.}$$

$$V_e = \frac{0.01177}{0.1016 \times 0.11} = 1.053 \text{ m/s}$$

$$X_s = 0.36 \times 1.053^{2/3} + 0.60 \times 0.111^{4/7} = 0.54 \text{ m} \approx 0.55 \text{ m}$$

Ilustración 23 Perfil y planta de cámara de recolección 4



Fuente: Autor.

8.4.4. Dimensiones de cada tramo de recolección de agua lluvia.

Para dimensionar cada tramo de tubería se hizo uso de relaciones hidráulicas obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 11 Dimensiones de tramos de recolección

CALCULO PROPIEDADES HIDRAULICAS CADA TRAMO																		
							EN LA TABLA DE MANIG SE TIENE		TABLAS DE RELACIONES HIDRAULICAS									
TRAMO	Q DISEÑO (Lt/Seg)	Q DISEÑO (M3/Seg)	Ø (") DISEÑO	Ø (") COMERCIAL	Ø (M)	S (%)	n	Vo (M/Seg)	Qo (Lt/Seg)	Q / Qo	Y / Ø	V / Vo	D / Ø	A / Ao	D (M)	D "	V (M/S)	Y (M)
1	2.95	0.00295	2.26	4.00	0.1016	3.0%	0.009	1.66	13.480	0.219	0.361	0.664	0.266	0.325	0.03	1.06	1.10	0.04
2	2.95	0.00295	2.2	4.00	0.1016	3.5%	0.009	1.80	14.560	0.203	0.343	0.645	0.251	0.304	0.03	1.00	1.16	0.03
3	2.95	0.00295	2.24	4.00	0.1016	3.1%	0.009	1.69	13.70	0.215	0.361	0.66	0.27	0.33	0.03	1.06	1.12	0.04
4	2.95	0.00295	2.19	4.00	0.1016	3.5%	0.009	1.80	14.560	0.203	0.343	0.645	0.251	0.304	0.03	1.00	1.16	0.03
5	2.95	0.00295	2.22	4.00	0.1016	3.3%	0.009	1.74	14.14	0.209	0.417	0.72	0.31	0.39	0.03	1.26	1.26	0.04
6	8.85	0.00885	3.45	6.00	0.1524	3.0%	0.009	2.18	39.75	0.223	0.361	0.66	0.27	0.33	0.04	1.60	1.45	0.06
7	11.80	0.01180	3.71	6.00	0.1524	3.4%	0.009	2.32	42.32	0.279	0.409	0.72	0.31	0.39	0.05	1.84	1.66	0.06

Fuente: Autor.

8.5. DISEÑO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para el diseño de tanque de almacenamiento, se tuvo en cuenta en primera instancia el consumo de agua que tiene el colegio en los lugares donde se aprovechará el agua lluvia y la oferta de agua lluvia en la zona.

Teniendo en cuenta que no todas las actividades que se realizarán en cada uno de los lugares tienen el mismo consumo de agua, se tomaron los siguientes datos para obtener un aproximado de la demanda del agua:

Tabla 12 Porcentajes de participación de consumos de agua

Uso	Porcentaje
Lavado de Ropa	27.1%
Sanitario	19.9%
Ducha	20.9%
Lavado de Platos	15.5%
Aseo de Vivienda	4.9%
Consumo Propio	3.9%
Lavado de Manos	3.7%
Lavado de Auto	1.5%
Riego de Jardines	1.9%
Riego de Plantas	0.6%

Fuente: Ballen, Galarza y Ortiz. Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia para Vivienda Urbana [Citado el 06 de enero de 2018]. Disponible en:

[http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/sereaa/6sereaa/TRABALHOS/trabalhoS%20\(1\).pdf](http://www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/sereaa/6sereaa/TRABALHOS/trabalhoS%20(1).pdf)

Se tomaron los porcentajes de usos en sanitarios, riego de jardines y de plantas y aseo de vivienda los cuales suman un 27.3%.

Se tomó la siguiente ecuación³⁹:

$$Di = \frac{Nu * Nd * Dot * 27.3 \%}{10000}$$

Donde:

Di: demanda mensual (m3)

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona/día)

³⁹ CASTAÑEDA. Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de grado para título de especialista en manejo y gestión del agua. Medellín. Universidad de Antioquia. Escuela Ambiental. 2010. 28 p.

27.3%: porcentaje de consumo de sanitarios, riego de jardines y aseo.

El consumo de agua se toma según la siguiente tabla:

Tabla 13 Dotaciones de agua

Tipo de instalación	Consumo de agua
Educación elemental	20 L/alumno/jornada
Educación media y superior	25 L/alumno/jornada

Fuente: Título B. Ras 2000.

Dado que el colegio La Nueva Esperanza tiene una jornada continua, se tomará como dotación un valor de 20 L/persona/día.

Para obtener la oferta de agua al mes, se tomó la siguiente ecuación⁴⁰:

$$Ai = \frac{Ppi * Ce * Ac}{1000}$$

Ai: oferta de agua en el mes (m³).

Ppi: Precipitación promedio mensual (L/m²).

Ce: coeficiente de escorrentía.

Ac: Área de captación (m²)

Con las anteriores ecuaciones y realizando un acumulado mes a mes de la demanda y la oferta se obtiene:

⁴⁰ Ibid. 28 p.

Tabla 14 Volumen de tanque de almacenamiento

MES	Días	Demanda m3 * mes	Precipitación promedio mensual L/m2	Oferta m3 * mes	Demanda acumulada m3	Oferta acumulada m3	Volumen de almacenamiento m3
May	31.00	67.7	94.8	95.680	67.70	95.68	27.98
Jun	30.00	65.5	89.6	90.431	133.22	186.11	52.89
Jul	31.00	67.7	87	87.807	200.93	273.92	72.99
Ago	31.00	67.7	81.1	81.853	268.63	355.77	87.14
Sep	30.00	65.5	68.2	68.833	334.15	424.60	90.45
Oct	31.00	67.7	98.1	99.010	401.86	523.61	121.76
Nov	30.00	65.5	83.9	84.679	467.38	608.29	140.92
Dic	31.00	67.7	45.8	46.225	535.08	654.52	119.44
Ene	31.00	67.7	34.4	34.719	602.78	689.24	86.45
Feb	28.00	61.2	38.3	38.655	663.94	727.89	63.96
Mar	31.00	67.7	63.4	63.988	731.64	791.88	60.24
Abr	30.00	65.5	74.5	75.191	797.16	867.07	69.91

Fuente: Autor.

El volumen máximo de almacenamiento para el tanque será de 140.92 m3.

8.5.1. Dimensiones del tanque de almacenamiento

Tanque enterrado (capacidad= 140.92 m³)

Luego de haber obtenido el volumen total del tanque se debe hacer un dimensionamiento, el cual depende de consideraciones de tipo económico:

- A mayor profundidad, mayor será el costo de los muros perimetrales y menor será el costo de las placas de fondo y de cubierta.
- A menor profundidad, mayor será el costo de las placas de cubierta y fondo y menor será el costo de los muros perimetrales.⁴¹

Como guía de predimensionamiento, se puede emplear la siguiente relación empírica:

$$h = \frac{v}{3} + k$$

Donde:

h= profundidad (m)

⁴¹ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: capítulo 12, Tanque regulador. Segunda edición, julio-2003. P 275.

v= capacidad (cientos de m³)

k= constante en función de la capacidad

Tabla 15 Constante de la capacidad del tanque de almacenamiento

V(cientos de m³)	K
<3	2.0
4-6	1.8
7-9	1.5
10-13	1.3
14-16	1.0
>17	0.7

Fuente: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: capítulo 12, Tanque regulador. Segunda edición, julio-2003. P 276.

- De acuerdo a la tabla anterior tenemos:

$$V= 140.92 \text{ m}^3 = 1.4 * 10^2 \text{ m}^3$$

Por lo tanto:

$$K= 2.0$$

$$h = \frac{1.4}{3} + 2.0 = 2.47 \text{ m}$$

$$B = L = \sqrt{\frac{140.92}{2.47}} = 7.55 \text{ m}$$

Se deberá construir un tanque enterrado el cual tendrá las siguientes dimensiones:

Largo y ancho → 7.55 m

Profundidad → 2.47 m

8.5.2. Cotas y niveles de agua en el tanque de almacenamiento

$$H_{min} = \frac{\frac{1}{3} * 140.92}{7.55 * 7.55} = 0.82 \text{ m}$$

<i>Cota del nivel de agua maximo del tanque</i>	= 2766.02
<i>Cota de nivel de agua min. en el tanque</i>	= 2766.02 – 0.82 = 2765.20
<i>Cota del fondo del tanque</i>	= 1766.02 – 2.47 = 2763.55
<i>Cota de la corona de muros</i>	= 2766.22

8.5.3. Tuberia de desague

<i>Cota de entrega de desague de lavado</i>	= 2761.55
<i>Cota de lamina de agua sobre la tuberia</i>	= 2766.02
<i>Carga hidraulica disponible</i>	= 2761.55 – 2766.02 = 4.47
<i>Longitud del desague</i>	= 45 m (Supuesto)

- Se supone un diámetro de tubería y se verifica el tiempo de vaciado del tanque:

$$\text{Diametro de tuberia} = 8" (\text{nominal}) = 208.34 \text{ mm} (\text{interno})$$

Perdidas en la conducción (longitudes equivalentes):

<i>Entrada normal</i>	= 3.50 m
<i>Valvula de compuerta</i>	= 1.40 m
<i>Codo 90°</i>	= 6.40 m
<i>Te de paso directo (2)</i>	= 8.60 m
<i>Salida</i>	= 6.00 m
<i>Tuberia</i>	= 45.00 m
<i>L.E. Total</i>	= 70.90 m

$$J = \frac{H}{L.E} = \frac{4.47}{70.90} = 0.063 \text{ m/m}$$

Usando la ecuación de Hazen-Williams:

$$Q = 0.2785 C D^{2.63} J^{0.54}$$

$$Q_{inicial} = 0.2785 * 150 * 0.20834^{2.63} 0.063^{0.54}$$

$$Q_{inicial} = 0.152 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El tiempo de vaciado se determina a partir de la ecuación de descarga de un orificio. El coeficiente de descarga del tanque teniendo en cuenta la tubería de desagüe, será:⁴²

$$Q = C_d * A_o \sqrt{2gH}$$

Entonces:

$$C_d = \frac{Q}{A_o \sqrt{2gH}} = \frac{0.152 \text{ m}^3/\text{seg}}{\frac{\pi(0.20834)^2}{4} * \sqrt{2 * 9.81 * 2.47}} = 0.64$$

Por lo tanto el tiempo de vaciado será:

$$t_{vaciado} = \frac{2A_t}{C_d A_o \sqrt{2g}} H^{1/2}$$

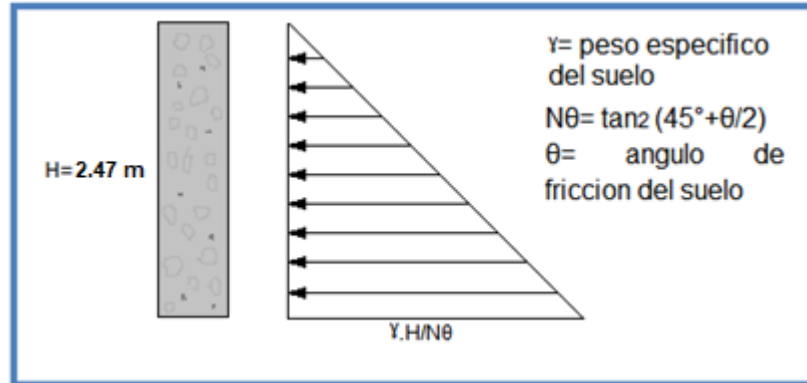
$$t_{vaciado} = \frac{2 * (7.55 * 7.55)}{0.64 * \frac{\pi(0.20834)^2}{4} \sqrt{2 * 9.81}} 4.47^{1/2} = 2494 \text{ seg} = 0.69 \text{ horas}$$

Diseño de las paredes

Se tendrá la siguiente distribución de presiones cuando el tanque se encuentra vacío:

⁴² LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: capítulo 12, Tanque regulador. Segunda edición, julio-2003. P 285.

Ilustración 24 empuje activo de tierras en el muro cuando el tanque está vacío



Fuente: Autor

Si tomamos $\gamma=2000 \text{ kg/m}^3$ y $\theta=0^\circ$, situación más desfavorable entonces tenemos:

$$q = \frac{\gamma \cdot H}{N\theta} = 2000 \frac{\text{kg}^3}{\text{m}} * 2.47 \text{ m} = 4940 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} / \text{m}$$

Las dimensiones exteriores del tanque son:

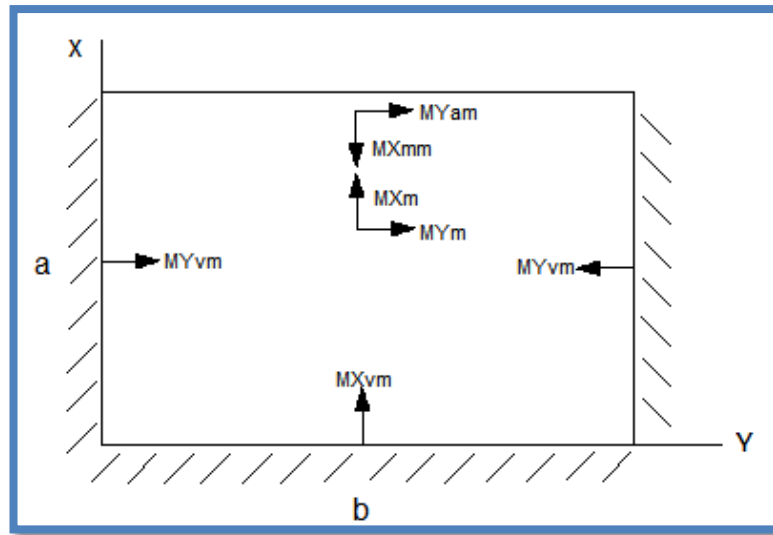
Ancho: 7.55 m

Largo: 7.55 m

Profundidad: 2.47 m

Entonces: $a= 2.47 \text{ m}$, $b= 7.55 \text{ m}$, $a/b= 0.33$

Ilustración 25 Esquema de cargas



Fuente: propia

De las tablas de bares obtenemos los siguientes momentos:

$$Myvs = -0.01213 q \cdot b^2 = -0.0241(4940 \frac{kg}{m^2}/m)(7.55)^2 = -3415 \frac{kg}{m}/m$$

$$Mxvs = -0.08970 q \cdot a^2 = -0.08970(4940 \frac{kg}{m^2}/m)(2.47)^2 = -2703 \frac{kg}{m}/m$$

$$Mxs = 0.0834 q \cdot a^2 = 0.0834(4940 \frac{kg}{m^2}/m)(2.47)^2 = 251 \frac{kg}{m}/m$$

$$Mys = 0.00400 q \cdot b^2 = 0.00400(4940 \frac{kg}{m^2}/m)(7.55)^2 = 1126 \frac{kg}{m}/m$$

$$Myas = 0.00695 q \cdot b^2 = 0.00695(4940 \frac{kg}{m^2}/m)(7.55)^2 = 1957 \frac{kg}{m}/m$$

$$Mxsa = 0.15 * 0.00695 q \cdot b^2 = 0.15(0.00695)(4940 \frac{kg}{m^2}/m)(7.55)^2 = 294 \frac{kg}{m}/m$$

Diseño de las secciones:

Se uso la teoría elástica para prever fisuras.

$$fc = 0.45 f'c$$

$$fs = 1400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

- Momento negativo en las paredes laterales, Myvs= 1547 Kg.m/m

$$A_s = \frac{1547 \text{ Kg.m/m}}{0.26 \text{ m} * \frac{7}{8} * 1400 \text{ Kg/cm}^2} = 4.86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usar N°4 a 25 cm ($A_s=5.07 \text{ cm}^2/\text{m}$).

- Momento negativo en el fondo del tanque, $M_{xvs}= 2975 \text{ Kg.m/m}$

$$A_s = \frac{2975 \text{ Kg.m/m}}{0.26 \text{ m} * \frac{7}{8} * 1400 \text{ Kg/cm}^2} = 9.34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usar N°5 a 20 cm ($A_s= 9.90 \text{ cm}^2/\text{m}$)

- Momento en el centro de la placa, $M_{xs}= 277 \text{ Kg.m/m}$

$$A_s = \frac{277 \text{ Kg.m/m}}{0.26 * \frac{7}{8} * 1400 \text{ Kg/cm}^2} = 0.87 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usar N°3 a 45 cm ($A_s= 1.42 \text{ cm}^2/\text{m}$)

- Momento en el centro de la placa, $M_{ys}= 510 \text{ Kg.m/m}$

$$A_s = \frac{510 \text{ Kg.m/m}}{0.26 \text{ m} * \frac{7}{8} * 1400 \text{ Kg/cm}^2} = 1.60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usar N°3 a 33 cm ($A_s= 2.13 \text{ cm}^2/\text{m}$)

LOSA DE FONDO

Espesor de la losa = 0,20 m

Peso propio= $5 \text{ m} * 0,20 \text{ m} * 2.4 \text{ t/m}^3 = 2,4 \text{ t/m}$

Peso del agua= $54 \text{ t} / 5 \text{ m} = 10,8 \text{ t/m}$

Carga viva= $10.8 \text{ t/m} + (0.035 \text{ t/m}^2) * 5 \text{ m} = 10.98 \text{ t/m}$

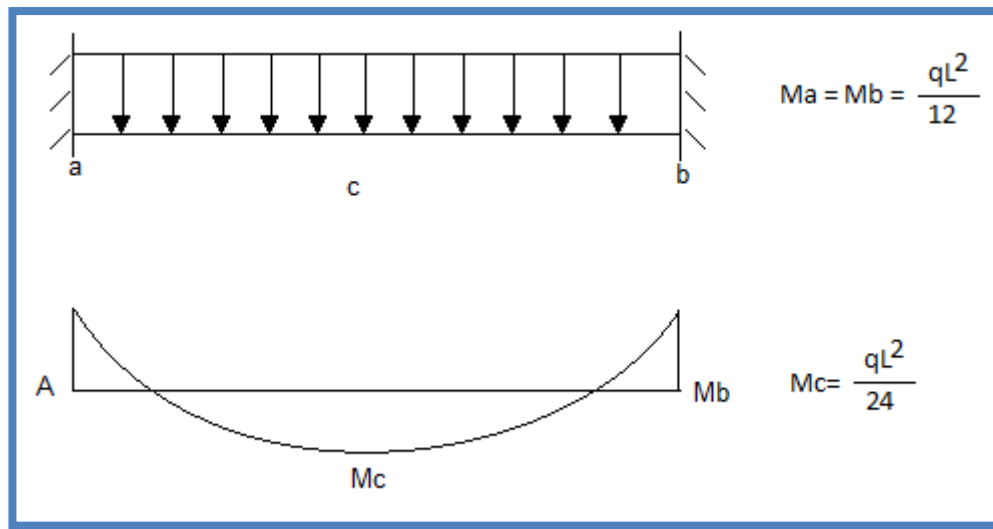
Carga de diseño q

$U= 1.4 \text{ CM} + 1.7 \text{ CV} = 1.2 * (2.4) + 1.6 * (10.98) = 22.03 \text{ t/m}$

$q= U/2 = 11.02 \text{ t/m} = 11$

$q= 11 \text{ t/m}$

Ilustración 26 Distribución de cargas



Fuente propia

$$M- = \frac{11 \text{ t/m} * (5 \text{ m})^2}{12} = 22.92 \text{ t.m} = 4.584 \text{ t.m/m}$$

$$M- = 4584 \text{ Kg.m/m}$$

$$A_s = 14.39 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Usar N°6 a 20 cm ($A_s = 14.25 \text{ cm}^2/\text{m}$)

$$M+ = \frac{11 \frac{\text{t}}{\text{m}} * (5 \text{ m})^2}{24} = 11.46 \text{ t.m} = 2.292 \text{ t.m/m}$$

$$M+ = 2.292 \text{ Kg.m/m}$$

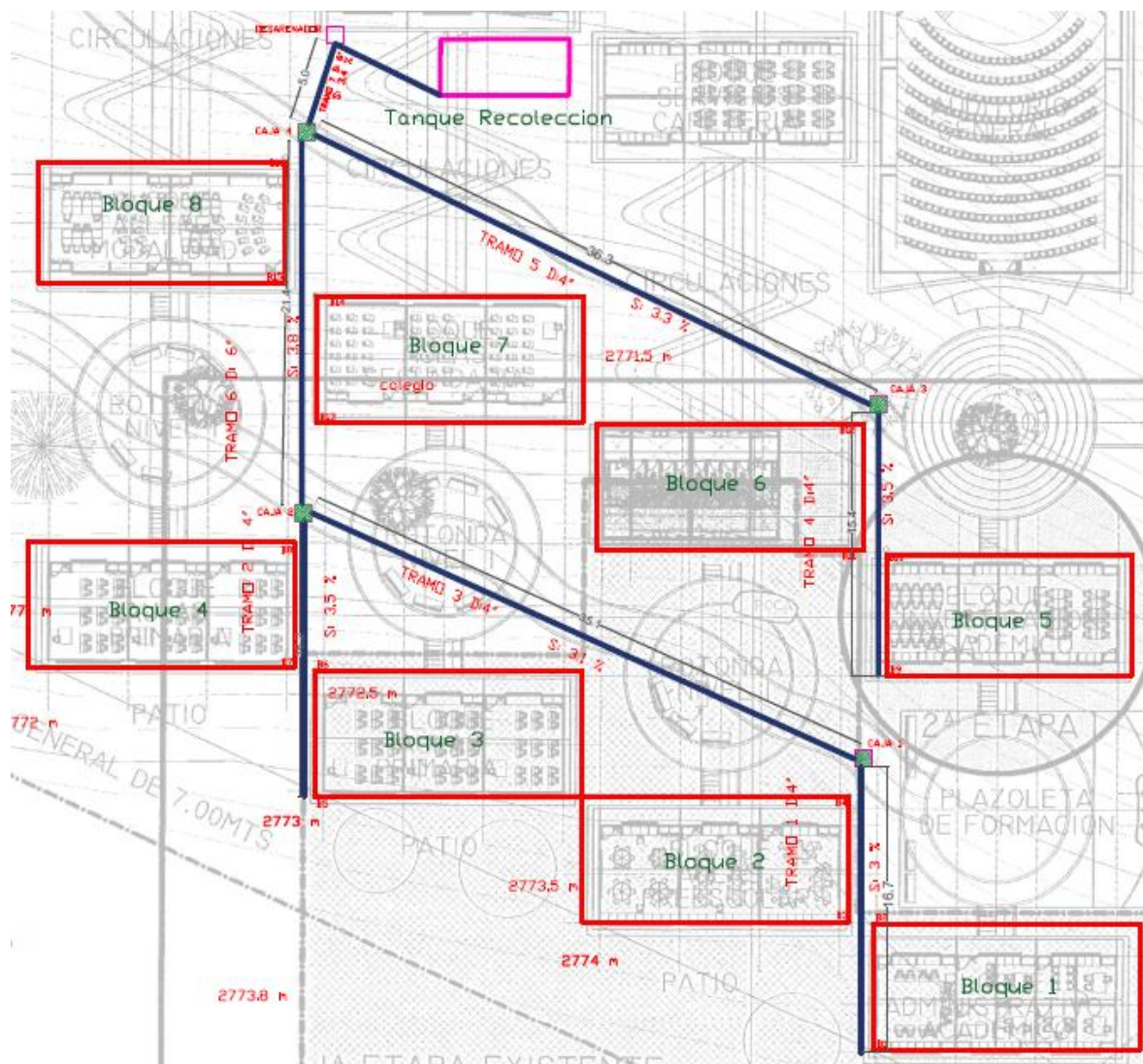
$$A_s = 7.20 \text{ Cm}^2/\text{m}$$

Usar N°4 a 15 cm ($A_s = 7.62 \text{ cm}^2/\text{m}$)

NOTA: el refuerzo se colocará en ambos sentidos.

8.6. RED DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIAS A SISTEMA HIDRAULICO

Ilustración 27 Diseño de la red de recolección del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias



Fuente: Propia

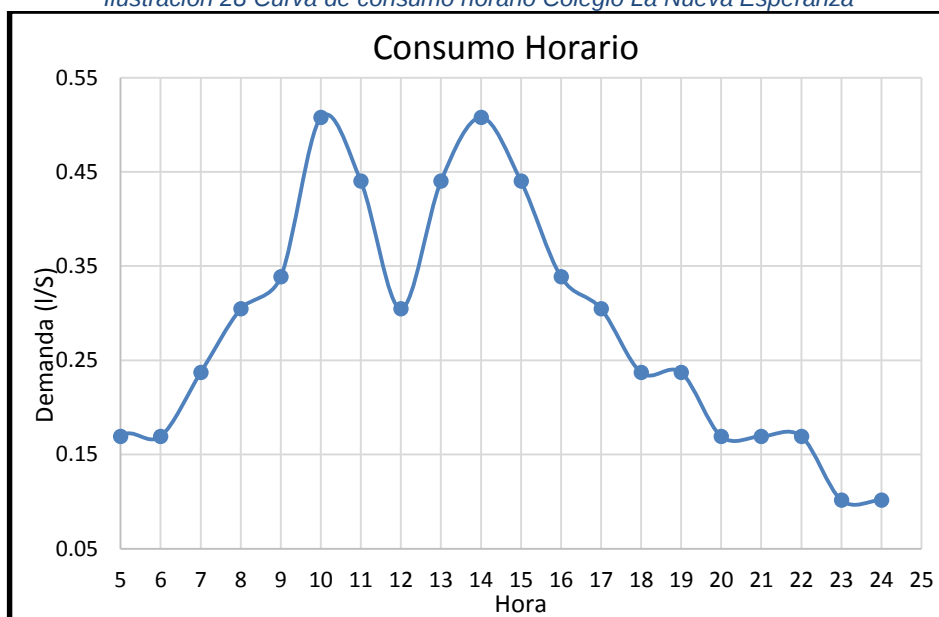
8.6.1. Tubería

En los anexos se encuentran los respectivos diseños de las tuberías que llevarán el fluido por la red de distribución del sistema.

8.6.2. Bomba

Para determinar la bomba adecuada se tuvo en cuenta el caudal necesario que debe llevarse desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de distribución ubicado sobre el bloque de los baños del colegio LA Nueva Esperanza. Para ello se realizó la curva de consumo diario que se muestra a continuación:

Ilustración 28 Curva de consumo horario Colegio La Nueva Esperanza



Fuente: Autor

Diseño de la estación de bombeo:

En anexos se encuentran las respectivas memorias de cálculo del diseño de la estación de bombeo, el cual se encuentra explicada detalladamente a continuación:

- Periodo de diseño= 25 años
- Caudal máximo diario= 0.508 l/seg
- Número total de horas de bombeo al día= 12
- Altura sobre el nivel del mar= 2770.85 m.s.n.m.

- Temperatura del agua= 14°C
- Tubería PVC: C= 150

8.6.2.1.1. CAUDAL DE DISEÑO

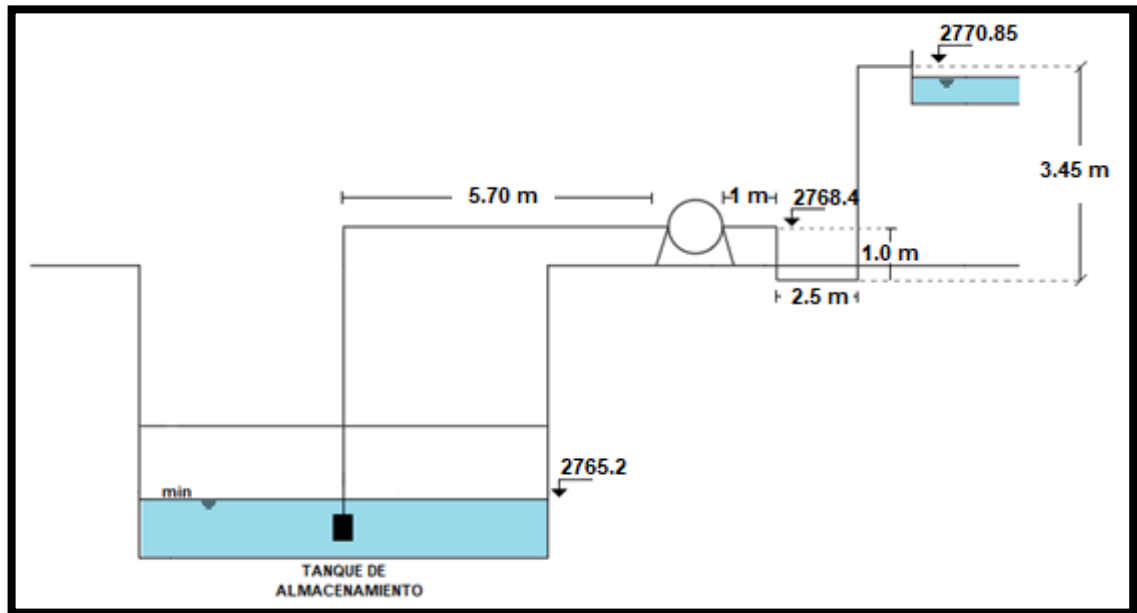
El porcentaje de utilización de la bomba es:

$$\frac{\text{Numero de horas de bombeo}}{24} = \frac{12}{24} * 100 = 50\%$$

Entonces el caudal de diseño es:

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{0.000508}{0.5} = 0.00102 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Ilustración 29 Esquema del diseño de la estación de bombeo



Fuente: Autor

8.6.2.1.2. DIÁMETROS

8.6.2.1.2.1. TUBERÍA DE IMPULSIÓN

Según la ecuación de Bresse tenemos:

$$D_i = 1,3X^{1/4} \sqrt{Q}$$

$$D_i = 1,3 * 0.5^{1/4} * \sqrt{0.00102} = 0.035 \text{ m}$$

Diámetro comercial $\longrightarrow$ $D_i = 1 \frac{1}{4}'' = 0.032 \text{ m}$

Por tanto la velocidad en la tubería es:

$$V_i = \frac{Q}{A} = \frac{0.00102 * 4}{\pi(0.035)^2} = 1.28 \text{ m/seg}$$

El valor se encuentra entre 1.0 m/seg y 3.0 m/seg según lo recomendado.⁴³

TUBERÍA DE SUCCIÓN

El diámetro de la tubería de succión se determina tomando el mismo diámetro de la impulsión o un diámetro comercial superior.⁴⁴

Tabla 16 Velocidad máxima en la tubería de succión

Diámetro de la tubería de succión (mm)	Velocidad máxima (m/seg)
50	0.75
75	1.00
100	1.30
150	1.45
200	1.60
250	1.60
300	1.70
Mayor a 400	1.80

Fuente: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: capítulo 7, Bombas y estaciones de bombeo. Segunda edición, julio-2003. P 144. Tabla 7.3.

En este caso se usó el diámetro comercial inmediatamente superior al de la impulsión: $D=2''$

Por tal motivo la velocidad resultante es: $V= 0.50 \text{ m/seg}$, Valor menor a 0.75 m/seg, según la tabla 14.

$$\text{sumergencia} = 2,5 D_s + 0.1 = 2,5 * 0.051 + 0.1 = 0.23 \text{ m}$$

⁴³ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: capítulo 7, Bombas y estaciones de bombeo. Segunda edición, julio-2003. P 145. Numeral 7.3.3.11.

⁴⁴ LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: capítulo 7, Bombas y estaciones de bombeo. Segunda edición, julio-2003. P 153.

8.6.2.1.3. ALTURA DINÁMICA DE ELEVACIÓN

8.6.2.1.3.1. ALTURA ESTÁTICA TOTAL

$$\text{Altura estática de succión} = 2768,4 - 2765,2 = 3,20 \text{ m}$$

$$\text{Altura estática de impulsión} = 2770,85 - 2768,4 = 2,45 \text{ m}$$

$$\text{Altura estática total} = 3,29 + 2,45 = 5,65 \text{ m}$$

8.6.2.1.3.2. PÉRDIDAS EN LA SUCCIÓN

Tabla 17 Pérdidas localizadas en longitudes equivalentes (en metros de tubería recta)

Elemento	mm	13	19	25	32	36	50	63	75	100	125	150	200	250	300	350
	Pulg	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	6	8	10	12	14
Codo de 90°																
Radio largo		0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	2.7	3.4	4.3	5.5	6.1	7.3
Radio medio		0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.1	2.8	3.7	4.3	5.5	6.7	7.9	9.5
Radio corto		0.5	0.7	0.8	1.1	1.3	1.7	2.0	2.5	3.4	4.5	4.9	6.4	7.9	9.5	10.5
Codo de 45°		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5	1.9	2.3	3.0	3.8	4.6	5.3
Curva 90°																
PVD 1 ½		0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	1.9	2.4	3.0	3.6	4.4
PVD 1		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.3	1.6	2.1	2.5	3.3	4.1	4.8	5.4
Curva 45°		0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5
Entrada																
Normal		0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.6	2.0	2.5	3.5	4.5	5.5	6.2
De borda		0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.5	1.9	2.2	3.2	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	11.0
Válvula																
Compuerta		0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4
Globo		4.9	6.7	8.2	11.3	13.4	17.4	21	28	34	45.3	51.0	67	85	102	120
Angulo		2.6	3.6	4.6	5.6	6.7	8.5	10	13	17	21	26	34	43	51	60
De pie		3.6	5.6	7.3	10	11.6	14	17	20	23	31	39	52	65	78	90
Retención																
T. liviano		1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	4.2	5.2	6.3	6.4	10.4	12.5	16	20	24	38
T. pesado		1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4	8.1	9.7	12.9	16.1	19.3	25	32	36	45
Te de paso																
Directo		0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	2.7	3.4	4.1	5.5	6.1	7.3
Lateral		1.0	1.4	1.7	2.3	2.8	3.5	4.3	5.2	6.7	8.4	10	13	16	19	22
Te de salida																
Bilateral		1.0	1.4	1.7	2.3	2.8	3.5	4.3	5.2	6.7	8.4	10	13	16	19	22
Salida de tubería		0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.5	1.9	2.2	3.2	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	11

Fuente: LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En: capítulo 7, Bombas y estaciones de bombeo. Segunda edición, julio-2003. P 161. Tabla 7.7.

Se calcularon las perdidas en la succión por longitudes equivalentes, utilizando las longitudes dadas en la tabla anterior (tabla 15):

<i>Válvula de pie con coladera</i>	=	65,00 m
<i>Codo de radio corto a 90°</i>	=	7,90 m
<i>Reducción excentrica (6D)</i>	=	1,52 m
<i>Entrada (Borda)</i>	=	7,50 m
<i>Longitud de tubería recta</i>	=	3,2 + 5,7 + 0,23 = 5,24 m
<i>Longitud equivalente total</i>	=	91,05 m

Usando la ecuación de Hazen-Williams:

$$Q = 0.2785 C D^{2.63} J^{0.54}$$

Despejando la pérdida de carga total (J):

$$J = 0.0057 \text{ m/m}$$

Po lo tanto las pérdidas en la succión son:

$$H_s = J * \text{longitud equivalente total}$$

$$H_s = 0.0057 \text{ m/m} * 91.05 \text{ m} = 0.52 \text{ m}$$

8.6.2.1.3.3. PÉRDIDAS EN LA IMPULSIÓN

<i>Epansión con centrica (12D)</i>	=	3,05 m
<i>Valvula de retención horizontal</i>	=	32,00 m
<i>Valvula de cortina</i>	=	1,70 m
<i>Codo radio largo 90° (4 codos)</i>	=	31,60 m
<i>Te con cambio de dirección</i>	=	16,00 m
<i>Tubería 1 * 2 + 2,5 + 3,45</i>	=	7,95 m
<i>Longitud equivalente total</i>	=	92,30 m

Usando la ecuación de Hazen-Williams:

$$Q = 0.2785 C D^{2.63} J^{0.54}$$

Despejando la pérdida de carga total (J):

$$J = 0.0566 \text{ m/m}$$

Po lo tanto las pérdidas en la succión son:

$$H_s = J * longitud\ equivalente\ total$$
$$H_s = 0.0566 \frac{m}{m} * 92.30 \text{ m} = 5.22 \text{ m}$$

8.6.2.1.3.4. ALTURA DE VELOCIDAD EN LA DESCARGA

$$\frac{Vd^2}{2g} = \frac{1.28 \text{ m/seg}^2}{2 * 9.81} = 0.083 \text{ m}$$

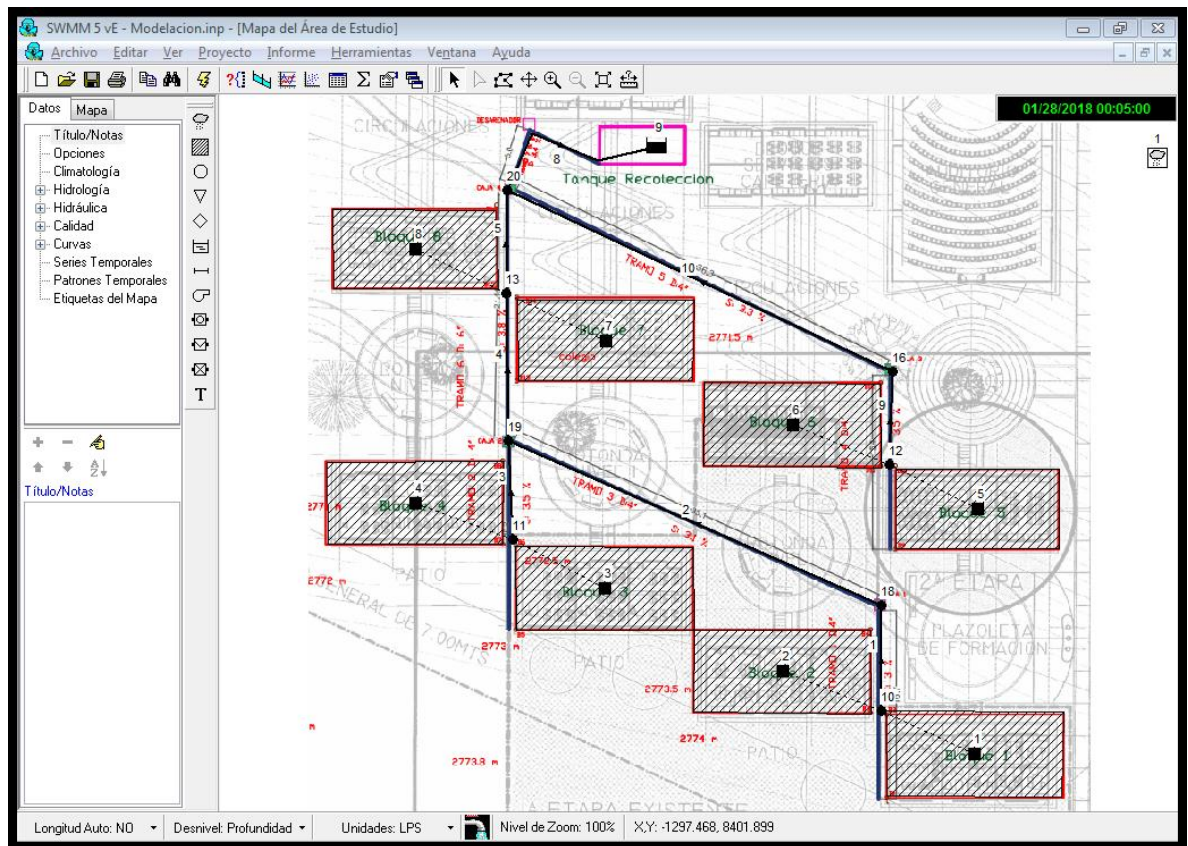
Por lo tanto la altura dinámica de elevación es:

$$H_t = h_s + h_i + (h_{rs} + \sum h_{ms}) + (h_s + \sum h_{mi}) + \frac{Vd^2}{2g}$$
$$H_t = 3.2 + 2.5 + (0.0057 + 0.522) + (0.0566 + 5.22) + 0.083 = 11.5 \text{ m}$$

8.6.2.1.3.5. Pérdidas en la succión

8.7. MODELACIÓN EN EPA SWWM

Ilustración 30 Modelación del Diseño de aprovechamiento de Aguas Lluvias Colegio La nueva Esperanza



Fuente: Autor

Se realizó la modelación hidráulica de las precipitaciones y su comportamiento en la red de recolección, para ello se contó con:

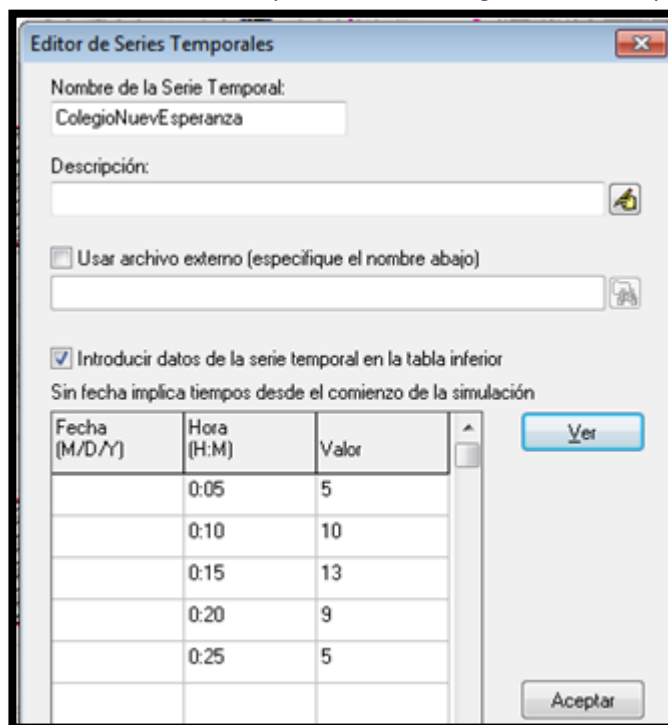
8.7.1. Datos de entrada

Plano a escala real de las áreas de recolección, pendientes, y red de recolección como base del esquema de la modelación

1. El área se calculó a dos aguas por cada tejado siendo de 132.8 m²
2. Las pendientes de los tejados y de la tubería se determinaron a partir de la topografía oscilando entre 3 y 3.8%
3. Las cotas de la caja se obtuvieron según las cotas terreno, cotas de entrada y de salida.
4. El diámetro de la tubería y sus longitudes se ingresaron según cálculos obtenidos anteriormente

8.7.2. Serie temporal de lluvia

Ilustración 31 Datos serie temporal de lluvia Colegio La Nueva Esperanza

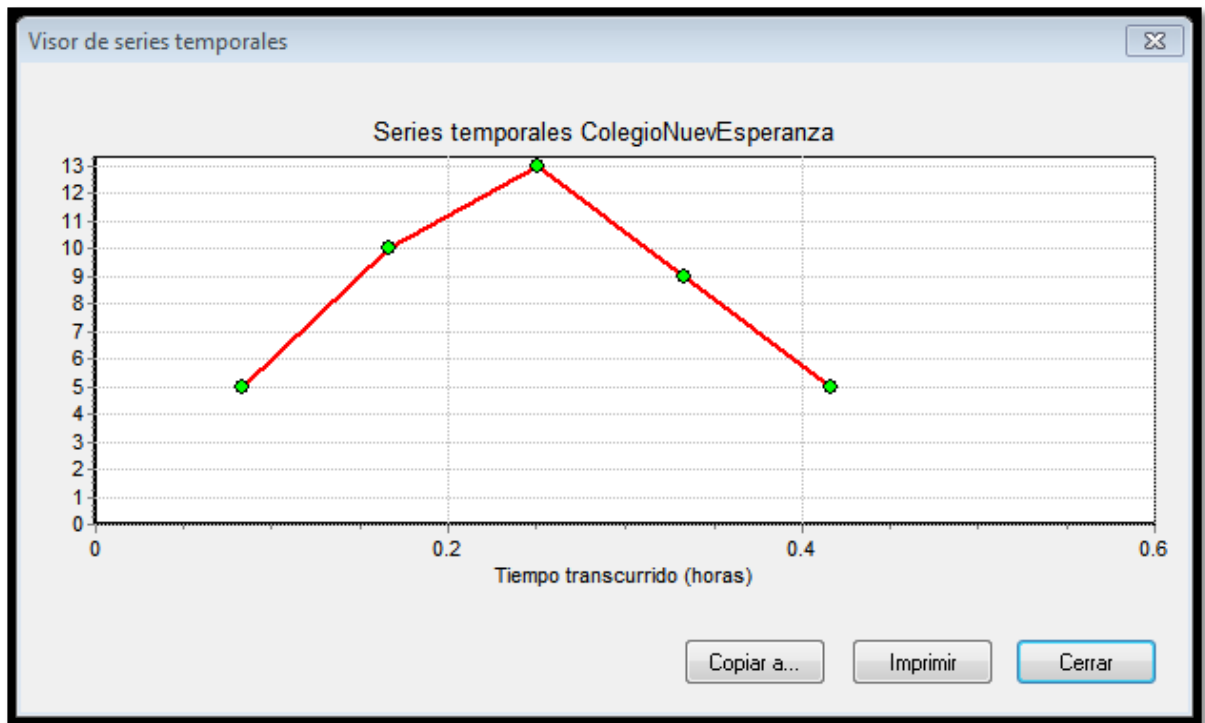


The screenshot shows a software window titled "Editor de Series Temporales". It contains several input fields and checkboxes. The "Nombre de la Serie Temporal:" field is filled with "ColegioNuevEsperanza". The "Descripción:" field is empty. There is a checkbox for "Usar archivo externo (especifique el nombre abajo)" which is unchecked. Below it is another empty text field. A checked checkbox "Introducir datos de la serie temporal en la tabla inferior" is followed by the instruction "Sin fecha implica tiempos desde el comienzo de la simulación". Below this is a table with three columns: "Fecha (M/D/Y)", "Hora (H:M)", and "Valor". The table contains five rows of data. To the right of the table is a "Ver" button. At the bottom right is an "Aceptar" button.

Fecha (M/D/Y)	Hora (H:M)	Valor
	0:05	5
	0:10	10
	0:15	13
	0:20	9
	0:25	5

Fuente: Autor

Ilustración 32 Series temporales Colegio La nueva Esperanza La calera-Cundinamarca



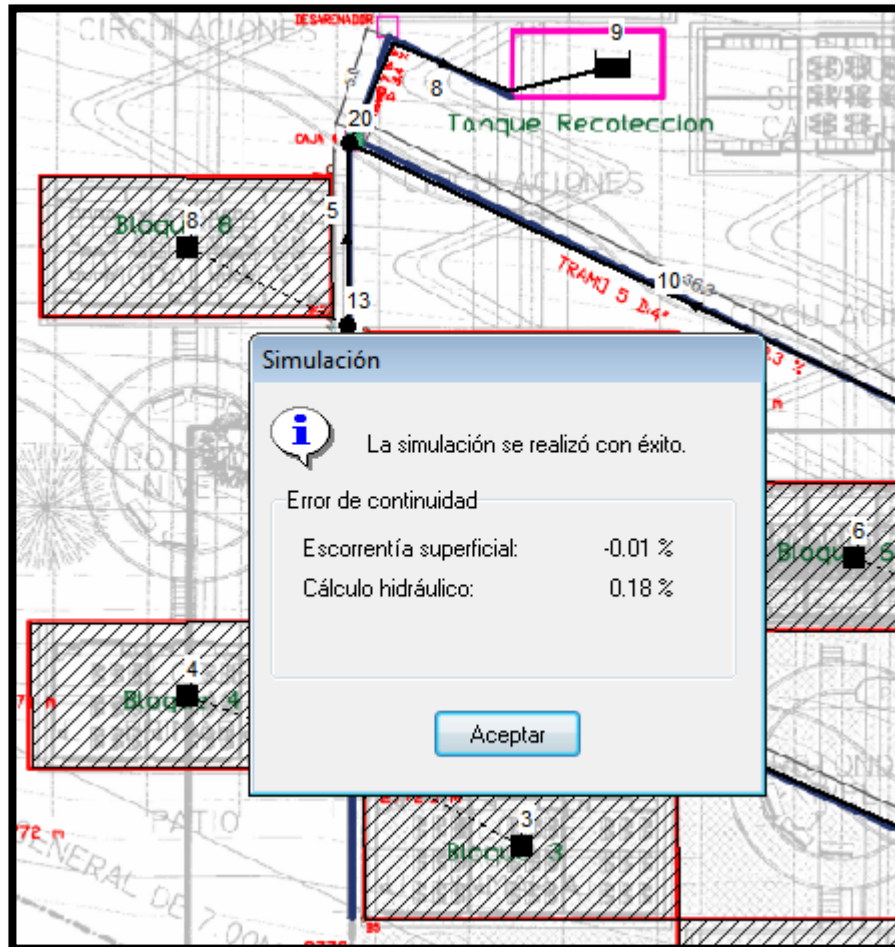
Fuente: Autor

Se estableció una serie temporal de lluvia para 25 minutos con la intensidad de diseño la cual fue 42.02 mm. Esta serie temporal se ingresó al pluviómetro y se asignó a cada cuenca la cual representa cada tejado, este tejado tiene 98% de impermeabilidad.

8.7.3. Análisis y Simulación

Se calculó el sistema dando como resultado un error admisible por escorrentía superficial y cálculo hidráulico.

Ilustración 33 Simulación del Diseño propuesto para el aprovechamiento de aguas lluvias en el Colegio La Nueva Esperanza

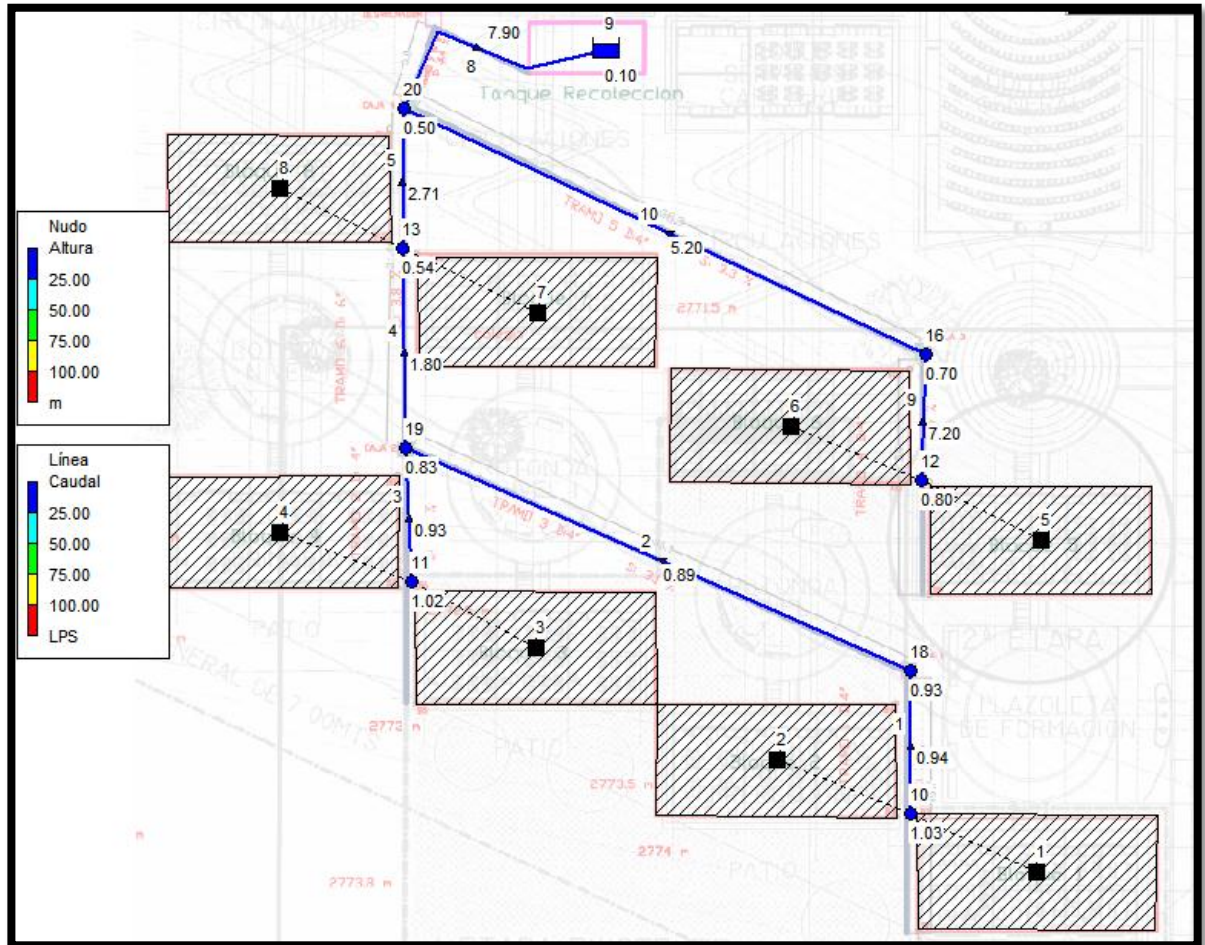


Fuente: Autor

8.7.4. Caudales y cotas de tuberías

Se revisaron caudales, alturas de las tuberías y de los nodos dando como resultado que en ningún momento el sistema sobrepasa los valores máximos permitidos para entrar en sobrecarga, el sistema se mantiene según la curva consigan de intensidad.

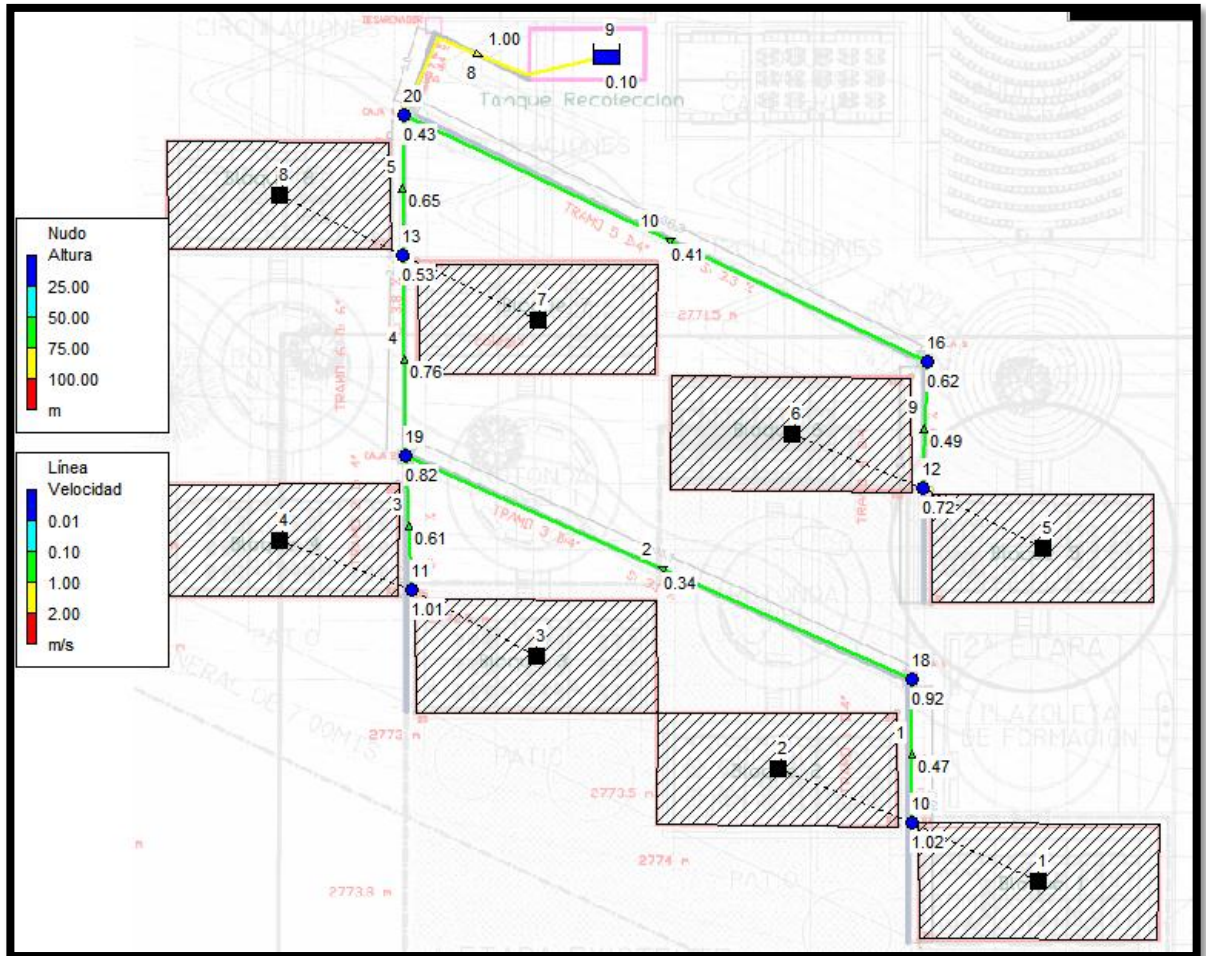
Ilustración 34 Revisión de caudales y alturas de las tuberías



Fuente: Autor

8.7.5. Velocidades

Ilustración 35 Revisión de las velocidades en las tuberías

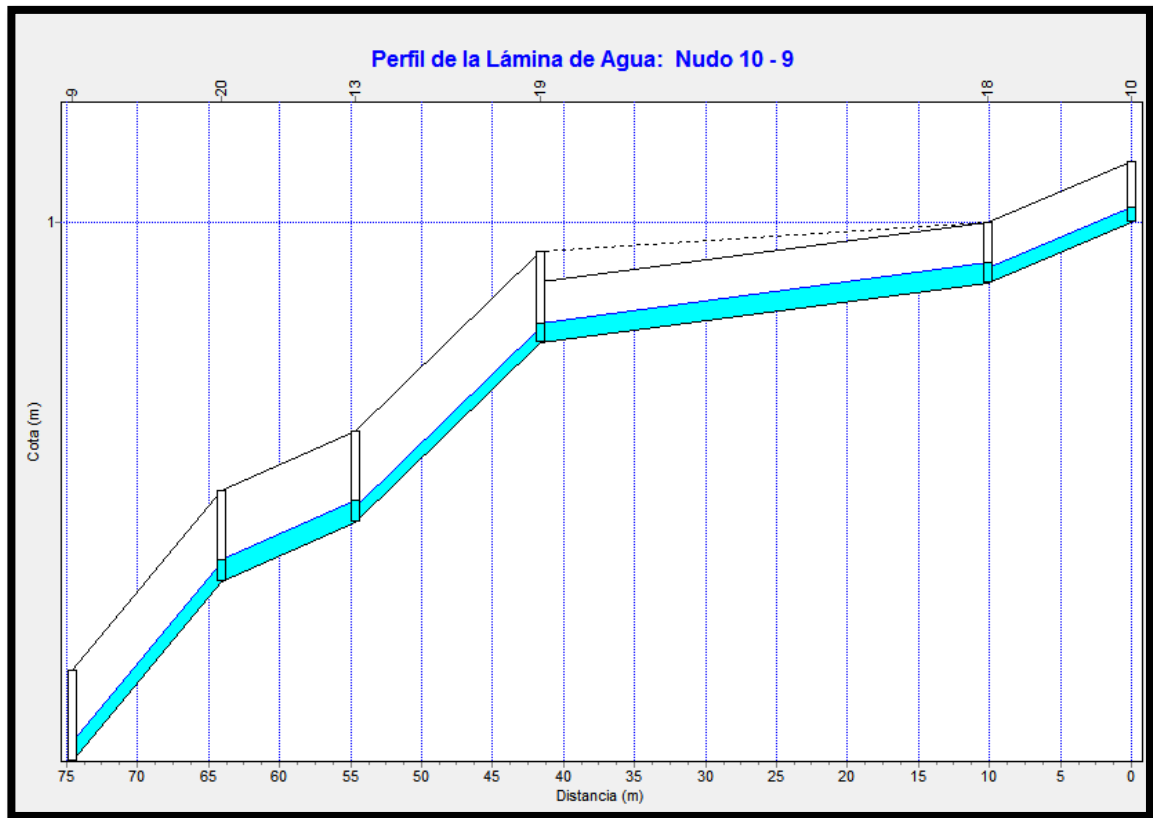


Fuente: Autor

Se analizaron las tuberías con la intensidad tope de lluvia en la cual se presente una velocidad máxima de 0.41 m/s lo cual es aceptable ya que la norma exige máximo 2 m/s.

8.7.6. Perfil Lamina de Agua

Ilustración 36 Perfil de la lámina de agua Nudo 10-9



Fuente: Autor

Se analizó la rula crítica de lámina de agua en tuberías y colectores donde se evidencia que en el punto máximo de lluvia, el sistema trabaja a un 35% de su capacidad, lo cual nos indica que está preparado para un evento esporádico de mayor intensidad.

8.8. RELACION COSTO BENEFICIO

Se realizó un presupuesto aproximado para realizar el estudio costo beneficio del proyecto en estudio:

Tabla 18 Presupuesto y cantidades de obra del sistema de aprovechamiento de aguas lluvia

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL PRESUPUESTO PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS DE SISTEMA DE RECOLECCION DE AGUAS LLUVIA						
Fecha de elaboración:		ene-18				
	No.	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
1. TANQUE DE ALMACENAMIENTO	1.1	Replanteo	día	1	\$ 150.000,00	\$150.000
	1.2	Excavación manual de material común	m3	140	\$ 23.586,00	\$3.302.040
	1.4	Relleno en material seleccionado proveniente de la excavación (Extendido, humedecimiento y compactación)	m3	5	\$ 20.436,00	\$102.180
	1.5	Entresuelo en piedra para afirmado e = 0,10 m	m3	5,7	\$ 39.433,00	\$224.768
	1.6	Concreto para losa de fondo (incluye formateo, colocación y suministro) no incluye refuerzo	m3	11,4	\$ 598.380,00	\$6.821.532
	1.7	Concreto para muros (incluye formateo, colocación y suministro) no incluye refuerzo	m3	28,16	\$ 598.380,00	\$16.850.381
	1.8	Concreto para tapa (incluye formateo, colocación y suministro) no incluye refuerzo	m3	11,4	\$ 598.380,00	\$6.821.532
	1.9	Acero de refuerzo	kg	1850	\$ 2.706,00	\$5.006.100
2. SISTEMA DE BOMBEO	2,1	Bomba de suministro	UN	1	\$ 1.825.000	\$1.825.000
3. SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y CONDUCCIÓN	3.1	Tubería PVC para bajantes. Ext corrugado/Int liso U.M. Norma NTC 3722-1 D=4" (Incluye Suministro e Instalación)	ML	56	\$ 21.896,00	1226176
	3.2	Codo 90° extremo liso PVC 4"	UN	16	\$ 176.699,00	2827184
	3.3	Tubería PVC. Ext corrugado/Int liso U.M. Norma NTC 3722-1 D=4" (Incluye Suministro e Instalación)	ML	46	\$ 21.896,00	1007216
	3.4	Excavación manual de material común 0 - 2m	m3	80	\$ 23.586,00	\$1.886.880
	3.5.1	Muro en ladrillo	m2	4,84	\$ 45.347,00	219479
	3.5.2	Entresuelo en piedra para afirmado e = 0,20 m	m3	1	\$ 39.433,00	\$39.433
	3.6	Tubería PVC. Ext corrugado/Int liso U.M. Norma NTC 3722-1 D=6" (Incluye Suministro e Instalación)	ML	12	\$ 38.540,00	\$462.480
	3,7	Caja desarenadora - Suministro y construcción según diseño. Incluye ladrillo tolete común, mortero 1:3 impermeabilizado, concreto de limpieza 2500 PSI, placa inferior y acero de refuerzo.	UN	1	\$ 432.590,00	\$432.590
TOTAL						\$49.204.971

Fuente: Autor.

8.8.1. Costo

En la tabla anterior, se encuentran cada uno de los elementos que conforman el diseño propuesto para el aprovechamiento de Aguas lluvias en el Colegio La Nueva Esperanza En el municipio de la Calera Cundinamarca, al igual que las cantidades necesaria para llevar a cabo este proyecto, al final se puede observar que el costo aproximado del proyecto es de 19'169.394, lo que es una cifra bastante alta, por tal motivo a continuación se realiza el análisis del costo-beneficio.

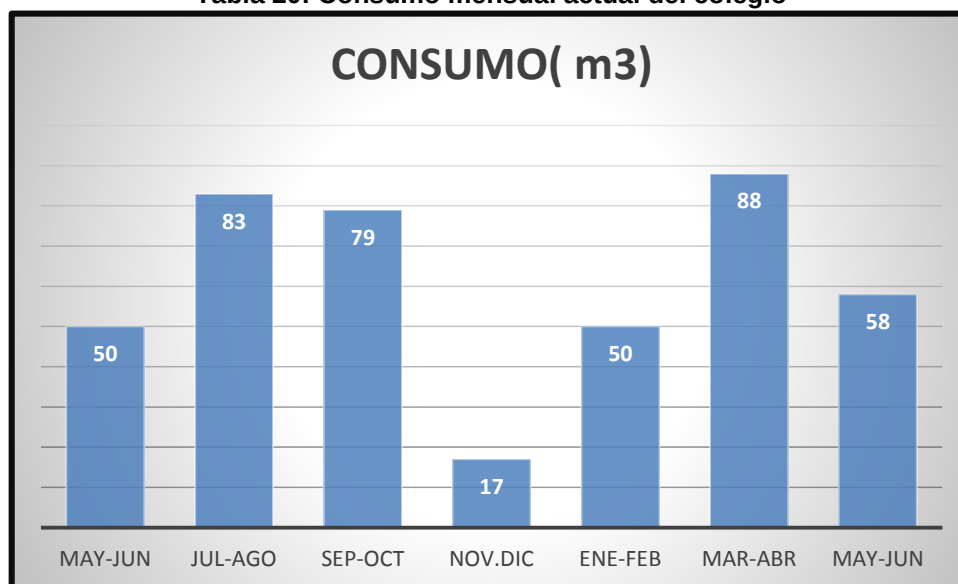
8.8.2. Beneficio

Tabla 19 Consumo de agua en el último semestre

MES	CONSUMO(m3)
May - Jun	50
Jul - Ago	83
Sep - Oct	79
Nov - Dic	17
Ene - Feb	50
Mar - Abr	88
May - Jun	58

Fuente: Autor

Tabla 20: Consumo mensual actual del colegio



Fuente: Propia

En la anterior tabla se evidencian los consumos mensuales obtenidos a partir de los recibos del servicio de agua suministrados por la administración del colegio La Nueva Esperanza. En esta, se observa que los meses donde se presenta menor consumo son Noviembre y Diciembre esto porque la comunidad estudiantil se encuentra en temporada vacacional.

Para determinar el consumo de agua dependiendo de su uso se

.

Tabla 21 Consumo mensual de agua que abastecerá el sistema

LUGARES QUE ABASTECE EL SISTEMA	CONSUMO MENSUAL(m³)
• 4 jardines	5,6
• 1 huerto	1,29
• 10 baños de niñas	24
• 10 baños de niños	24
• Total consumo del mes	54,89

Citar

El ahorro mensual aproximado en el consumo de agua será de 54, 89 m³.

El valor del metro cubico en Bogotá es de 100,89 pesos para el estrato uno, 491,34 pesos para el estrato dos, 1.927,88 pesos para el tres, 3.364,89 pesos para el cuatro, 6.729,78 pesos para el cinco y 9.613,96 pesos para el seis.⁴⁵

De acuerdo a lo anterior se realizó el cálculo del ahorro mensual en pesos:

Ahorro mensual= (1927,88 pesos x 54,89 m3) = 105.821,33 pesos.

Con las cifras anteriores, se puede identificar que la el costo de la implementación se recuperaría en aproximadamente 15 años sin tener en cuenta el IPC que se establece en el país cada año.

⁴⁵ASÍ SON LAS TARIFAS DE AGUA PARA ESTE AÑO. [En línea]. [Consultado el 15 de mayo de 2017]. Disponible en Internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-381470>

9. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que el diseño planteado cumple técnicamente con el objetivo de hacer uso eficiente del agua potable y agua lluvia ya que con las precipitaciones que se presentan en la zona de estudio se logra recolectar el suficiente volumen de agua para abastecer la demanda que requiere el colegio para sanitarios, riego de jardines y aseo en general.
- Según el diseño planteado y la investigación realizada se puede concluir que este sistema es capaz de suplir en un 100 % el consumo de agua no potable durante la jornada escolar; esto debido a que el volumen de almacenamiento en tiempo de invierno puede alcanzar su recolección máxima el cual ofrece una reserva para la época de verano.
- Se identificó la respectiva información sobre el tema de aprovechamiento de aguas lluvias donde se encontró que en Colombia ya existen investigaciones sobre el tema además de existir lugares donde ya se ha implementado. La información obtenida aportó metodologías de cálculo con la cual se determinaron valores importantes como lo fue el caudal de diseño, curvas IDF, volumen del tanque de almacenamiento, relación demanda y oferta, diseño de la bomba, con lo que se logró dar a cabo y desarrollar el proyecto.
- Con las investigaciones obtenidas se determinó que el 27.3% de consumo total de agua del colegio se utiliza para el riego de jardines, aseo y sanitarios.
- De acuerdo al análisis realizado en relación al consumo mensual del agua para las actividades en las que se requiere el uso agua lluvia captada por el sistema de aprovechamiento planteado en el colegio se pudo observar que el ahorro mensual es de 105821,33 pesos el cual es un valor considerable, esto justifica la implementación de este proyecto debido a que beneficiara de manera a más de 400 estudiantes y directivos de la institución. En cuanto al retorno del dinero invertido en la realización del proyecto se estima que se recuperaría en aproximadamente 15 años ya que anualmente el ahorro sería de 1.269.855 pesos.

- Finalmente se realizó el diseño para el aprovechamiento de aguas lluvias el cual en ultimas llevara sus aguas a un tanque de almacenamiento enterrado con dimensiones de 7.55 m x 7.55 m x 2,47 m de ancho, largo y de profundidad respectivamente con una capacidad de 140 m³ donde mediante una bomba enviara fluido a un tanque elevado ya existente en la institución el cual abastece los baños y jardines gravitacionalmente.

10.RECOMENDACIONES

- Al realizar el sistema y que este entre en funcionamiento en épocas de lluvia se recomienda hacer limpiezas preventivas cada 15 días a las cajas y tanque de recolección, en los que se debe limpiar los residuos sólidos y posibles material de arrastre que se encuentre en los tejados. para ello se diseñó un sifón de desagüe para cada cámara de recolección
- Se debe proteger y encerrar los equipos hidráulicos y eléctricos del sistema evitando así el contacto con estudiantes o demás personal que puedan dañar las instalaciones.
- En las épocas de verano se sugiere dejar todo el sistema limpio y sin acopio de aguas y lodos para que no genere posibles olores o moscos y con ello tener preparado el sistema para cuando llegue el invierno.
- Al realizar la visita al lugar se evidencio que la altura del tanque existente sobre los baños no es suficiente para abastecer el riego de jardines de las zonas altas, por ello se recomienda aumentar la altura para así generar más presión y nivel en las mangueras de riego de jardinería.
-

11. ANEXOS

11.1. REGISTRO FOTOGRAFICO





