

**USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA MODELAR Y
SIMULAR SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL, CASO INTERCAMBIADOR DEL
MESÓN DE LOS BÚCAROS**

YORLEYNIS MONTEJO RUIZ

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

2015

**USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA MODELAR Y
SIMULAR SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL, CASO INTERCAMBIADOR DEL
MESÓN DE LOS BÚCAROS**

YORLEYNIS MONTEJO RUIZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director

MARIO GARCIA SOLANO

Ingeniero Civil, M. Sc.

Codirector

OMAR GIOVANNY SÁNCHEZ RIVERA

Ingeniero Civil

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

2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su compañía y guía en todos los momentos de mi vida, por darme la fortaleza y la sabiduría para alcanzar todas mis metas.

A mis padres Giovanni Montejo Uribe y Adidmerys Ruiz Gonzales quienes han hecho posible la realización de este logro, ya que siempre me han brindado su confianza y respaldo en todo momento.

Agradezco a mi director, El ingeniero Civil M. Sc. Mario García Solano por su asesoría, interés, confianza, y apoyo en la realización de este proyecto.

YORLEYNIS MONTEJO RUIZ

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	14
1. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EMPLEADAS.....	16
1.1 AUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS	16
1.2 AUTOCAD CIVIL 3D.....	16
1.3 AUTODESK REVIT.....	16
2. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL ANALISIS DE LOS DISEÑOS DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL INTERCAMBIADOR.....	18
2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS HISTORICOS	18
2.2 METODOLOGIA HIRAÚLICA	19
2.3 METODOLOGIA HIDROLOGICA.....	20
2.3.1 Método Racional:	20
2.3.2 Coeficiente de Escorrentía:	20
2.3.3 Áreas de Drenaje:	20
2.3.4 Intensidad de Precipitación	20
2.3.5 Periodo de Retorno de Diseño:	20
2.3.6 Curvas Intensidad Duración Y Frecuencia:	21
2.4 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EMPLEADAS	23
2.4.1 Distribución Gumbel (Máximos):	23
2.4.2 Distribución Log Normal:	23
2.4.3 Distribución Frechet:	24
2.5 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE.....	25
3. MODELADO Y SIMULACION DEL DISEÑO EXISTENTE DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL INTERCAMBIADOR DEL MESÓN DE LOS BUCAROS.....	26
3.1 DESCRIPCION Y MODELADO DEL DISEÑO EXISTENTE.....	26
3.2 RESULTADOS DE LA SIMULACION.....	34
4. DISEÑO, MODELADO Y SIMULACION DEL NUEVO SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL INTERCAMBIADOR.	36

4.1	PARAMETROS DE DISEÑO DE LAS REDES	36
4.1.1	Diámetro mínimo:	36
4.1.2	Velocidad mínima:	36
4.1.3	Velocidad máxima:	36
4.1.4	Pendiente mínima:	37
4.1.5	Pendiente máxima:.....	37
4.1.6	Profundidad hidráulica máxima:	37
4.1.7	Profundidad mínima a la cota clave:	37
4.1.8	Profundidad Máxima a la Cota Clave:	37
4.2	PARAMETROS DE DISEÑO DE LOS POZOS DE INSPECCION.	38
4.2.1	Diámetro:.....	38
4.2.2	Profundidad:.....	38
4.2.3	Diámetro de acceso:	38
4.2.4	Distancia entre pozos:.....	38
4.3	PARAMETROS DE DISEÑO DE LOS SUMIDEROS.	39
4.4	NUEVO DISEÑO EN AUTOCAD CIVIL 3D	39
4.4.1	Topografía:.....	39
4.4.2	Trazado de la Red.....	40
4.5	PARAMETROS CALCULADOS DE DISEÑO.....	41
4.6	MODELADO Y SIMULACION DEL NUEVO DISEÑO EN AUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS.	43
5.	MODELADO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN AUTODESK REVIT.	44
5.1	MODELADO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE	44
5.2	MODELADO DEL NUEVO SISTEMA DEL DRENAJE PLUVIAL.....	45
6.	CALCULO DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	46
6.1	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	46
6.2	CALCULO DE CANTIDADES.....	46
7.	COMPARACIÓN DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL.	47

8. MATERIAL AUDIOVISUAL PARA LA ENSEÑANZA DEL MANEJO DEL SOFTWARE SUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS.	50
9. CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS	53
BIBLIOGRAFIA.....	55
ANEXOS.....	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características de La Estación Bucaramanga IDEAM [23190830]	18
Tabla 2 Datos de precipitaciones máximas mensuales anuales de la Estación: Bucaramanga IDEAM en mm.	19
Tabla 3 Parámetros hidráulicos para el Colector Norte del diseño de alcantarillado pluvial existente	28
Tabla 4 Parámetros hidráulicos para el Colector Sur del diseño de alcantarillado pluvial existente	28
Tabla 5 Parámetros hidráulicos para el Colector Central del diseño de alcantarillado pluvial existente	29
Tabla 6 Áreas de drenaje y tiempos de concentración para el Colector Norte del alcantarillado pluvial Existente del intercambiador.....	30
Tabla 7 Áreas de drenaje y tiempos de concentración para el Colector Sur del alcantarillado pluvial existente del intercambiador.....	30
Tabla 8 Áreas de drenaje y tiempos de concentración para el Colector Central del alcantarillado pluvial Existente del intercambiador.....	31
Tabla 9 Precipitaciones Máximas vs Tiempo de retorno.....	31
Tabla 10 Valores de probabilidad por la prueba de bondad y ajuste de (chi- cuadrado) χ^2	32
Tabla 11 Precipitación máxima en un tiempo de retorno	32
Tabla 12 Datos para graficar las curvas IDF obtenidos por el método de Bell en [mm/h].....	33
Tabla 13 Parámetros hidráulicos para el Colector Norte del alcantarillado pluvial del intercambiador.	41
Tabla 14 Parámetros hidráulicos para el Colector Central del alcantarillado pluvial del intercambiador	42
Tabla 15 Parámetros hidráulicos del colector Sur del alcantarillado pluvial del intercambiador	42
Tabla 16 Ítem: Excavación Mecánica en material Común (Incluye Cargue, Transporte y Disposición Final).....	47
Tabla 17 Ítem: Relleno con material seleccionado de la excavación y Recebo, compactado manual [capas/10 cm]	47
Tabla 18 Ítem: Sumideros	47
Tabla 19 Ítem: Red de Alcantarillado Pluvial	48
Tabla 20. Ítem: Pozos de Inspección	48

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Modelado del Colector Norte en Autodesk Storm and Sanitary Analysis	27
Ilustración 2 Modelado del Colector Central en Autodesk Storm and Sanitary Analysis	27
Ilustración 3 Modelado del Colector Sur en Autodesk Storm and Sanitary Analysis	27
Ilustración 4 Tiempo de Retorno Versus Precipitación máxima de cada distribución.....	32
Ilustración 5 Curvas IDF determinadas con la información pluviométrica de la estación Bucaramanga IDEAM, por medio del método de Bell.	33
Ilustración 6 Vista en planta de la simulación en el Software Autodesk Storm and Sanitary Analysis.	35
Ilustración 7 Vista en perfil de la simulación en el Software Autodesk Storm and Sanitary Analysis	35
Ilustración 8 Topografía de la Zona del intercambiador en AutoCAD Civil 3D	40
Ilustración 9 Trazado de los colectores en AutoCAD Civil 3D.	40
Ilustración 10 Vista en Planta de la simulación del Nuevo Diseño en Autodesk Storm and Sanitary Analysis.	43
Ilustración 11 Vista tridimensional de la familia de pozos de Inspección y sumideros elaborados en Revit.....	44
Ilustración 12 Modelado de los colectores del diseño existente en Autodesk Revit.	44
Ilustración 13 Modelado de los colectores del nuevo diseño en Autodesk Revit. ...	45

LISTAS DE ANEXOS

ANEXO A Tabla del Reporte de Autodesk Storm And Sanitary Analysis en la simulación del evento máximo de lluvia para el diseño existente.	58
ANEXO B Tabla de Cálculo de parámetros Hidráulicos del nuevo Diseño	60
ANEXO C Tabla del Reporte de Autodesk Storm And Sanitary Analysis en la simulación del evento máximo de lluvia para el nuevo diseño.....	63
ANEXO D Perfiles de los colectores: Norte, Central y Sur.	65
ANEXO E Cálculo de los costos de los costos de construcción de los diseños analizados.....	69

RESUMEN

TITULO: USO DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA MODELAR Y SIMULAR SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL, CASO INTERCAMBIADOR DEL MESÓN DE LOS BÚCAROS*

AUTOR: YORLEYNIS MONTEJO RUIZ**

PALABRAS CLAVES: AUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS, ALCANTARILLADO PLUVIAL, COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.

DESCRIPCIÓN:

El uso de herramientas informáticas para el modelado avanzado de sistemas de alcantarillado pluvial se ha convertido en parte relevante y útil del análisis de diseños de sistemas de drenaje, ya que facilitan la simulación de metodologías hidrológicas e hidráulicas. Existe gran cantidad de software que permiten hacer el análisis preciso y detallado de las redes de drenaje pluvial; entre los cuales están, Autodesk Storm and Sanitary Analysis ligado con AutoCAD Civil 3D y la Ingeniería MEP de Autodesk Revit. El conjunto de este paquete de software fue elaborado por Autodesk y se utilizaron para el desarrollo de este proyecto.

El caso de estudio para dar a conocer las aplicaciones de estas herramientas computacionales es el intercambiador vial del Mesón de los Búcaros, proyecto que busca reducir la congestión vehicular en Bucaramanga. La complejidad de este nuevo proyecto de infraestructura vial en la ciudad implica un eficiente sistema de drenaje pluvial que permita la evacuación de aguas pluviales en eventos máximos de precipitación. En este sentido, en esta investigación se analizaron los diseños existentes del sistema de drenaje pluvial propuesto por el grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, por medio del modelado y la simulación en el software Autodesk Storm and Sanitary Analysis, que es una extensión del software AutoCAD Civil 3D. Además se propuso un nuevo diseño del alcantarillado pluvial por medio del paquete de software escogido, con el fin de hacer una comparación de los costos de construcción y efectividad de los sistemas de drenaje en un evento máximo de precipitación.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Mario García Solano, Ingeniero Civil M. Sc. Codirector: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil.

ABSTRACT

TITLE: USE OF COMPUTATIONAL TOOLS TO MODEL AND SIMULATE STORM SEWER SYSTEMS, CASE INTERCAMBIADOR DEL MESÓN DE LOS BÚCAROS*

AUTHOR: YORLEYNIS MONTEJO RUIZ**

KEYWORDS: AUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS, STORM SEWER, BUILDING COST.

DESCRIPTION:

The use of computer tools for an advanced modeling of storm sewer systems is a tendency nowadays as these allow a precise and detailed analysis of existing and planned designs of storm sewer systems. There are several software that allow this type of analysis including, Autodesk Storm and Sanitary Analysis in conjunction with AutoCAD Civil 3D and Autodesk Revit MEP Engineering, these software are part of the Autodesk technologies and these were used for the research project.

The case study that presents the applications of these computational tools is el intercambiador vial del Mesón de los Búcaros, a project that look for reducing traffic congestion in Bucaramanga. The complexity of this new project of road infrastructure in the city involves an efficient drainage system that allows evacuate rainwater of drainage in maximum precipitation events. In this research were analyzed the existing designs proposed by the Geomática Research Group, Gestión y Optimización de Sistemas of the Universidad Industrial de Santander, through modeling and simulation in the software Autodesk Storm and Sanitary Analysis, this is an extension of AutoCAD Civil 3D software. In addition, it proposed a new storm sewer design through software package chosen in order to make a comparison of construction costs and effectiveness of drainage systems in a maximum precipitation event.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Mario García Solano, Ingeniero Civil M. Sc. Codirector: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Ingeniero Civil.

INTRODUCCION

El uso de nuevas herramientas computacionales en la ingeniería ha sido la tendencia en los últimos años, ya que facilitan los procesos de diseño y evaluación de proyectos de manera rápida, eficiente y económica por medio del modelado y la simulación.

A través del tiempo se han desarrollado una gran cantidad de herramientas informáticas que facilitan el análisis y diseño de los proyectos de construcción que se elaboran en diferentes campos de la ingeniería civil como: La hidrología, la hidráulica, las estructuras, los suelos, la gestión de proyectos, las vías y el transporte, entre otros.

Con este proyecto de investigación se busca dar a conocer las nuevas herramientas computacionales que facilitan el análisis de la hidrología y la hidráulica, por medio del análisis del sistema de drenaje de alcantarillado pluvial del proyecto del Intercambiador vial del Mesón de los Búcaros.

El proyecto del Intercambiador Vial del Mesón de los Búcaros, es un proyecto que busca reducir la congestión vehicular que se presenta en el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, Santander en Colombia. El intercambiador consta de una intersección tipo glorieta a nivel, con un paso deprimido en un primer sótano sobre la carrera 27 en sentido sur-norte con desviación hacia el bulevar Bolívar, otro paso deprimido en un segundo sótano sobre la Avenida Quebrada Seca en sentido oriente-occidente, además de una plazoleta central sobre la glorieta. [1]

La complejidad del proyecto implica un eficiente sistema de drenaje pluvial que permita la evacuación de aguas pluviales en eventos máximos de precipitación. En este sentido, para la realización del objetivo general de este proyecto de investigación, que es el análisis del sistema de drenaje de aguas pluviales del proyecto del intercambiador vial del mesón de los búcaros con la utilización de herramientas informáticas, se emplean los programas: Autodesk Storm and Sanitary Analysis, Autodesk Revit y AutoCAD Civil 3D. Estos programas permiten modelar y simular los diseños del sistema de drenaje, con el fin de verificar su efectividad en un evento extremo de lluvia.

Autodesk Storm and Sanitary Analysis, Autodesk Revit y AutoCAD Civil 3D permiten incluir factores topográficos, hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos del terreno en el que se realizará el Intercambiador y además generar una serie de reportes que

permiten determinar y verificar velocidades, caudales y dimensiones de la red de tubería, pozos sépticos y puntos de desagüe. El desarrollo de la investigación se fundamenta en las normas de Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000 Título D.

Para llevar a cabo el objetivo general de este proyecto de investigación, se plantearon los siguientes seis objetivos específicos que serán desarrollados en este documento.

- ✓ Modelar y simular el sistema de drenaje pluvial diseñado por el equipo técnico de la Universidad Industrial de Santander para el Intercambiador del Mesón de los Búcaros en Bucaramanga por medio del software Autodesk Storm and Sanitary Analysis.
- ✓ Plantear, diseñar, modelar y simular un nuevo sistema de drenaje pluvial para el Intercambiador del Mesón de los Búcaros de la ciudad de Bucaramanga por medio del software Autodesk Storm and Sanitary Analysis.
- ✓ Elaborar un modelo en Autodesk Revit para los sistemas de drenaje pluvial analizados.
- ✓ Calcular los costos de construcción para el sistema de drenaje pluvial propuesto y el diseñado por el equipo técnico de la Universidad Industrial de Santander.
- ✓ Realizar una comparación de los costos de construcción del sistema de drenaje pluvial propuesto y el diseñado por el equipo técnico de la Universidad Industrial de Santander.
- ✓ Elaborar un material audiovisual para la enseñanza del manejo del software Autodesk Storm and Sanitary Analysis.

1. HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EMPLEADAS

1.1 AUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS

Autodesk® Storm and Sanitary Analysis es una aplicación para realizar análisis hidrológicos e hidráulicos. Ayuda a planificar y diseñar sistemas de desagüe urbanos, alcantarillado para aguas pluviales (sistemas de drenaje de carreteras incluidos) y sistemas de saneamiento. Este software integra el análisis de aguas pluviales y aguas residuales durante la planificación y el diseño. De este modo, contribuye a mejorar la productividad general del proyecto y a incrementar la capacidad de ingeniería. [2]

Autodesk Storm and Sanitary Analysis es una extensión hidráulica e hidrológica de AutoCAD Civil 3D que permite simular eventos de precipitaciones por diferentes metodologías desarrolladas en la hidrología, la hidráulica y otras herramientas computacionales como EPASWMM.

1.2 AUTOCAD CIVIL 3D

AutoCAD Civil 3D es una solución de diseño y documentación de ingeniería civil que admite flujos de trabajo de BIM (Building Information Modeling), ayuda a los profesionales de las infraestructuras a conocer mejor el rendimiento de los proyectos, a mantener datos y procesos más coherentes, y a reaccionar con mayor rapidez ante los cambios. [3]

AutoCAD Civil 3D permite el diseño y modelado de sistemas de tuberías para drenaje pluvial y sanitario con base en la topografía del terreno y con una serie de normas de diseño que permiten determinar las dimensiones, pendientes, elevaciones, etc. de los elementos que conforman a la red en cuestión.

1.3 AUTODESK REVIT

Revit® proporciona herramientas que facilitan el diseño arquitectónico, la ingeniería MEP, la ingeniería estructural y la construcción. Revit se ha diseñado especialmente para trabajar con BIM (Building Information Modeling) y dispone de exhaustivas

características que lo convierten en la solución ideal para todo el equipo de construcción. [4]

La ingeniería MEP (Mecánica, eléctrica y plomería) facilita el modelado de sistemas de redes de agua potable y alcantarillado en 3D. Con Revit es posible extraer cantidades de obra por unidades de volumen, área y longitud de los materiales y elementos empleados, para calcular los costos de construcción del proyecto modelado.

2. METODOLOGIA EMPLEADA EN EL ANALISIS DE LOS DISEÑOS DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL INTERCAMBIADOR.

2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS HISTORICOS

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM tiene estaciones meteorológicas que miden y registran información de diversas variables de control, por medio de diferentes instrumentos de medición, con el fin de evitar y controlar eventos extremos que puedan causar daños ambientales, sociales y económicos.

Los datos recopilados para el análisis de los diseños del proyecto del intercambiador vial del Mesón de los Búcaros son de la estación meteorológica-pluviográfica del IDEAM más cercana a la ubicación del proyecto, con las características de la Tabla No 1.

Una de las limitaciones del proyecto fue utilizar información pluviométrica para estimar el evento de la simulación, ya que no se logró obtener la información pluviográfica de la estación Bucaramanga IDEAM.

Tabla 1 Características de La Estación Bucaramanga IDEAM [23190830]

Área operativa	AO 08
Tipo	Convencional
Nombre:	Bucaramanga IDEAM [23190830]
Clase	Meteorológica
Departamento	Santander
Municipio	Bucaramanga
Categoría	Pluviográfica
Latitud	7,128333
Longitud:	-73,118333
Fecha de instalación	10/15/1996
Código estación	23190830
Altitud	1025
Estado	Activa

Fuente: Información tomada del IDEAM adaptada por el autor

Tabla 2 Datos de precipitaciones máximas mensuales anuales de la Estación:
Bucaramanga IDEAM en mm.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Max
1997	34,3	20,6	42,2	49,5	42,3	14,7	29,5	12,5	51,2	8,5	20,5	33,4	51,2
1998	24,2	44,9	41,3	30,5	65,8	20,5	51,7	22,3	8,8	45,7	12,9	45,8	65,8
1999	23,8	36,3	22,9	55,6	35,4	15,7	26,6	40,6	49,3	22,3	45,6	37,4	55,0
2000	56,5	27,6	70,8	20,5	30,7	35,2	43,8	29,2	43,4	13,7	53,7	7,8	70,0
2001	63,5	20,6	58,5	9,3	74,5	36,3	11,6	11,1	46,5	20,4	76,4	22,9	76,0
2002	16,6	26,7	140,9	44,1	73,1	58,0	53,3	8,2	11,8	32,4	59,3	10,5	140,9
2003	17,6	32,1	70,2	57,9	43,8	83,2	21,3	18,5	65,8	55,2	34,8	34,8	83,2
2004	27,1	41,1	38,8	28,5	55,2	9,1	22,7	30,7	15,5	39,7	28,5	95,3	95,3
2005	18,1	93,3	22,2	22,1	49,1	11,9	14,9	10,8	85,7	39,3	36,6	38,6	93,3
2006	27,5	31,9	50,8	42,9	20,1	18,9	39,8	14,8	19,2	57,6	18,6	34,5	57,6
2007	17,5	10,6	48,9	19,8	23,6	10,8	18,3	38,1	18,3	32,2	11,9	16,3	48,0
2008	23,3	73,4	47,9	29,8	49,7	19,5	12,9	20,7	18,6	38,5	50,4	8,8	73,4
2009	55,2	40,5	66,8	17,7	19,9	12,5	29,7	26,1	3,1	80,9	60,5	9,7	80,9
2010	21,5	43,2											43,2

Fuente: Información tomada del IDEAM adaptada por el autor

2.2 METODOLOGIA HIRAÚLICA

Suponiendo un flujo uniforme en el conducto, para el dimensionamiento de la sección transversal de la tubería del sistema de drenaje pluvial de intercambiador, se puede utilizar la ecuación general de Manning.

$$Q = \frac{K}{n} * D^{8/3} * S^{1/2}$$

$$K = f(\theta) = g\left(\frac{y}{D}\right)$$

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

Q = Caudal del tubo (m³/s).

D = Diámetro del conducto

S = Pendiente longitudinal de la tubería (m/m).

2.3 METODOLOGIA HIDROLOGICA

2.3.1 Método Racional: El método hidrológico empleado para calcular los caudales que permiten dimensionar los conductos en los diseños del sistema de alcantarillado pluvial del Intercambiador del Mesón de los Búcaros es el Método Racional, que matemáticamente se expresa así:

$$Q = C * I * A$$

Q: Descarga estimada en un sitio determinado [Lps].

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad de la lluvia [Lps/ha]

A: Área de drenaje en hectáreas [ha]

2.3.2 Coeficiente de Escorrentía: Según el RAS, el coeficiente de escorrentía es un valor que depende del tipo de suelo, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y otros factores que determinan la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía. En su determinación deben considerarse las pérdidas por infiltración en el suelo y otros efectos retardadores de la escorrentía.

2.3.3 Áreas de Drenaje: Según el RAS, el trazado de la red de drenaje de aguas lluvias debe, en general, seguir las calles de la localidad. La extensión y el tipo de áreas tributarias deben determinarse para cada tramo por diseñar. El área aferente debe incluir el área tributaria propia del tramo en consideración. Las áreas de drenaje deben ser determinadas por medición directa en planos, y su delimitación debe ser consistente con las redes de drenaje natural.

2.3.4 Intensidad de Precipitación: Según el RAS, la intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal pico de aguas lluvias corresponde a la intensidad media de precipitación dada por las curvas IDF (Intensidad, Duración y Frecuencia) para el periodo de retorno definido.

2.3.5 Periodo de Retorno de Diseño: Según el RAS, El periodo 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, tráfico vehicular, comercio, industria, etc. La selección del periodo de retorno está asociada entonces con las características de protección e importancia del área de estudio.

2.3.6 Curvas Intensidad Duración Y Frecuencia: Según el RAS, 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 periodos de retorno específicos.

De acuerdo al RAS 2000 título D, numeral 4.3.3 Las curvas IDF pueden ser estimadas por métodos sintéticos, preferiblemente con información pluviográfica, pero no limita al diseñador el utilizar información pluviométrica. En este sentido, debido a la limitación del proyecto de no obtener la información pluviográfica, se investigó una metodología llamada, Método de Bell que permite calcular las curvas IDF a partir de los datos disponibles para la realización de este proyecto que son valores máximos anuales de precipitación.

Según la UNESCO, A nivel mundial, diversos autores se han preocupado por estudiar la relación existente entre la lluvia caída y su duración. En 1969, Frederick Bell estudió las razones entre lluvias de distinta duración e igual período de retorno, y también la razón entre lluvias de diferentes períodos de retorno e igual duración. Para ello utilizó datos de un gran número de estaciones ubicadas en Estados Unidos Continental, Australia, Alaska, Rusia, Hawái, Puerto Rico y África. Dicho autor concluyó a partir de su estudio que las razones entre lluvias de distinta duración e igual período de retorno y la razón entre lluvias de diferentes períodos de retorno e igual duración son muy constantes en todos los puntos estudiados debido a que las grandes intensidades se producen en tormentas convectivas, las cuales tienen gran independencia geográfica y regional. [6]

Según la UNESCO, Los resultados obtenidos por Bell son válidos para lluvias con duraciones entre 10 minutos y 2 horas. Bell establece que las razones, entre lluvias de distinta duración y/o distinto período de retorno, se denominan: coeficientes de duración y coeficientes de frecuencia, respectivamente.

Los coeficientes de duración y de frecuencia propuestos por Bell cumplen las siguientes relaciones, para períodos de retorno entre 2 y 100 años.

$$CF^T = 0.21 * \ln(T) + 0.52$$

Donde T es el período de retorno en años. Notar que para $t = 10$ años se obtiene $CF = 1,00$.

Además el coeficiente de duración, CD, en relación a la lluvia de una hora de duración, está dado por:

$$CD_t = 0.54 * t^{0.25} - 0.5$$

Entonces la precipitación de duración t , entre 5 y 120 minutos, y periodo de retorno T , entre 2 y 100 años, se puede estimar en base a la precipitación de una hora, 60 minutos, y 10 años de periodo de retorno, P_{60}^{10} como:

$$P_t^T = (0.21 * \ln(T) + 0.52) * (0.54 * t^{0.25} - 0.5) * P_{60}^{10}$$

$$I_t^T = P_t^T / t$$

P_t^T Lluvia en mm de duración t minutos y T años de período de retorno.

T Período de retorno en años.

t Duración de la lluvia en minutos.

P_{60}^{10} Precipitación de una hora y 10 años de periodo de retorno, en mm.

I_t^T Intensidad en mm/hora

T años de periodo de retorno.

2.4 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD EMPLEADAS

En la estadística existen decenas de funciones de distribución de probabilidad teóricas; para este análisis se estudiaron las siguientes funciones de distribución de probabilidad, con el fin de determinar la precipitación requerida para el cálculo de las curvas IDF por el método de Bell.

2.3.1 Distribución Gumbel (Máximos)

2.3.2 Distribución Log Normal

2.3.3 Distribución Frechet

2.4.1 Distribución Gumbel (Máximos):

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

La función de densidad de probabilidad es entonces:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

Donde a partir de $var(x)$ y $E[x]$ que son respectivamente la Varianza y el promedio de los datos se pueden determinar los parámetros de la distribución α y β con las siguientes formulas:

$$var(x) = \delta^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2}$$

$$E[x] = \mu = \beta - \frac{0,5772}{\alpha}$$

2.4.2 Distribución Log Normal:

En esta función los logaritmos naturales de la variable aleatoria se distribuyen normalmente. La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} * \frac{1}{x * \sigma_{\ln x}} e^{-\frac{1}{2} * \left(\frac{\ln(x) - \mu_{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}\right)^2}$$

Donde $\mu_{\ln x}$ y $\sigma_{\ln x}$ son los parámetros de la distribución y respectivamente son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria.

$$\mu_{x=e} = \mu_{\ln x + \frac{1}{2}\sigma^2_{\ln x}} \quad v_x = \sqrt{e^{\sigma^2_{\ln x}} - 1}$$

$$\sigma^2_x = \mu^2_x [e^{\sigma^2_{\ln x}} - 1]$$

La variable estandarizada se define como:

$$z = \frac{\ln(x) - \mu_{\ln x}}{\sigma_{\ln x}}$$

2.4.3 Distribución Frechet:

En esta función se estandariza a la función gamma que está dada por:

$$\Gamma(r) = \int_0^{\infty} t^{r-1} e^{-t} dt$$

La función de densidad de probabilidad es:

$$F(x) = e^{-\left(\frac{U}{x}\right)^k}$$

Donde U y k se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$Vx^2 = \frac{\Gamma\left(1 - \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 - \frac{1}{k}\right)} - 1 \quad E(x) = \mu = U \Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right)$$

2.5 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE

Con el fin de determinar cuál de las tres distribuciones de probabilidad se ajusta más a los datos de precipitación mostrados en la tabla No 2, se realiza la prueba de bondad y ajuste de χ^2 (chi-cuadrado). La prueba de bondad y ajuste de χ^2 (chi-cuadrado) fue propuesta por Karl Pearson en 1990; según la teoría estadística consiste en determinar si la serie de datos se ajustan a una distribución, por medio de una prueba de hipótesis en donde:

H_0 = Hipótesis: Los datos se ajustan a una distribución

H_a = Hipótesis: Los datos No se ajustan a una distribución

K = Número de intervalos de análisis

P = Número de parámetros estimados a partir de la muestra

N = Numero de datos

$F(X)$ = Probabilidad ajustada de cada distribución

α = Nivel de significancia

K = Número de intervalos

P = Parámetros extraídos de la muestra

$$\chi_{cal}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_{ij} - e_i)^2}{e_i}$$

$$e_i = N * F(X)$$

$$\chi_{teo}^2 = (\alpha, K - P - 1)$$

3. MODELADO Y SIMULACION DEL DISEÑO EXISTENTE DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL INTERCAMBIADOR DEL MESÓN DE LOS BUCAROS.

3.1 DESCRIPCION Y MODELADO DEL DISEÑO EXISTENTE

Los diseños y estudios de las redes de aguas lluvias existentes del Intercambiador vial del Mesón de los Búcaros fueron realizados por el grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander.

El procedimiento de cálculo para este diseño se basó en suponer que el flujo es uniforme en el conducto y como tal su análisis se puede realizar utilizando la fórmula de Manning. El trazado de las redes y las dimensiones de los elementos como diámetros de la tubería, pendientes, elevaciones etc. se encuentran en el plano realizado por Geomática, anexo a este documento como el plano 1:2.

El diseño existente del alcantarillado pluvial se divide en 3 colectores llamados: Colector Norte, Colector Sur y Colector Central.

Exportado el plano 1:2 al software Autodesk Storm and Sanitary Analysis se modelan los 3 colectores, como se ilustra en las figuras No 1, No 2, No 3.

En estas figuras, la zona morada indica las áreas de drenaje que le llegan al colector norte, la zona azul indica las áreas de drenaje que le llegan al colector central y la zona rosa indica las áreas de drenaje que le llegan al colector sur.

Los puntos rojos son los pozos de inspección, las líneas negras son las tuberías que hacen parte del sistema y los rectángulos verdes definen las cuencas modeladas en el software Autodesk Storm and Sanitary Analysis.

Una vez modelado los 3 colectores, se configuran los parámetros hidráulicos requeridos por el software para realizar el análisis que se resumen en las Tablas No 3, No 4, No 5.

Ilustración 1 Modelado del Colector Norte en Autodesk Storm and Sanitary Analysis

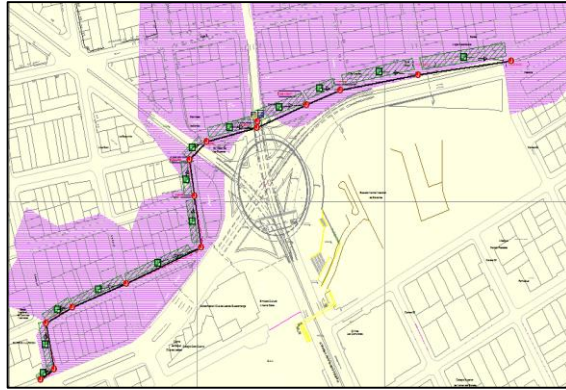


Ilustración 2 Modelado del Colector Central en Autodesk Storm and Sanitary Analysis

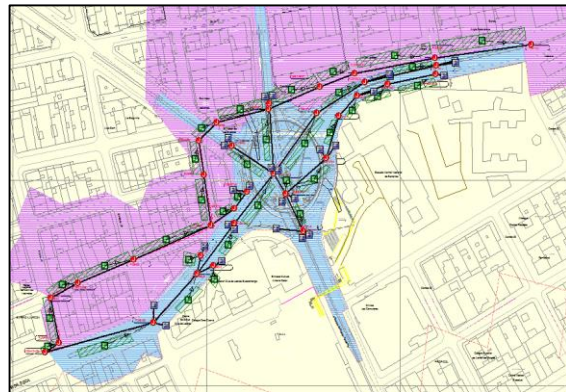


Ilustración 3 Modelado del Colector Sur en Autodesk Storm and Sanitary Analysis

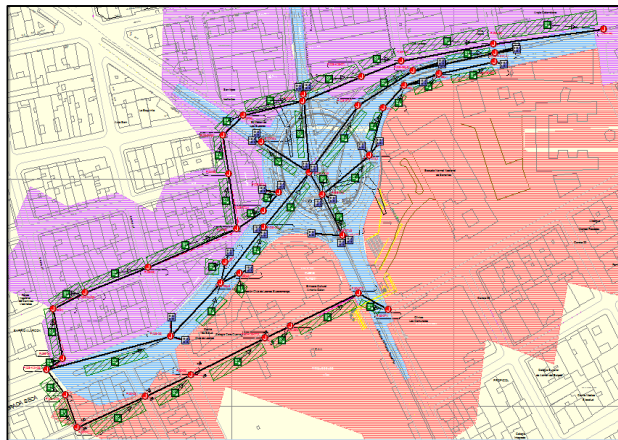


Tabla 3 Parámetros hidráulicos para el Colector Norte del diseño de alcantarillado pluvial existente

TRAMO		Dia Col	Long /Pozos	Pend Cole	Cota Rasant	Batea Entra	Batea Salida
DE	A	M	M	%	M	M	M
P(QS-30)	P(QS-29)	1,70	99,81	3,70	1006,4	1001,6	997,95
P(QS-29)	P(QS-28)1	1,70	84,56	2,70	1003,3	997,95	995,67
P(QS-28)1	P(QS-K28-27)	1,70	38,21	5,99	1000,6	995,67	993,38
P(QS-K28-27)	P(22-27)	1,70	57,76	6,99	1000,3	993,38	989,34
P(22-27)	P(22-26)	1,70	54,18	1,99	992,50	989,34	988,26
P(22-26)	P(22-24-26)	1,70	25,31	2,02	995,76	988,26	987,75
P(22-24-26)	P(24-26)	1,70	34,34	2,01	995,00	987,75	987,06
P(24-26)	P(28-26)	1,70	48,89	2,00	995,04	987,06	986,08
P(28-26)	P(28-25)	1,70	87,01	2,00	994,00	986,08	984,34
P(28-25)	P(28-K24-25)	1,70	60,40	2,00	990,39	984,34	983,13
P(28-K24-25)	P(28-24)	1,70	34,74	1,99	987,86	983,13	982,44
P(28-24)	P(QS-24)	1,70	49,77	2,99	986,43	982,44	980,95
P(QS-24)	P(QS-K24-23)	1,70	18,78	3,99	985,53	980,95	980,20
P(QS-K24-23)	P(QS-23)	1,70	81,71	3,29	985,10	974,77	972,08

Fuente: Grupo de Investigación, Geomática.

Tabla 4 Parámetros hidráulicos para el Colector Sur del diseño de alcantarillado pluvial existente

TRAMO		Dia Col	Long /Pozos	Pend Cole	Cota Rasant	Batea Entrad	Batea Salida
DE	A	Min	Ha	Ha	Min	Ha	Min
P(30-27)1	P(30-27)2	1,00	30,67	3,70	1000,8	995,2	994,6
P(30-27)2	P(30-K26-27)1	1,00	67,62	2,70	1000,0	994,6	993,2
P(30-K26-27)1	P(30-K26-27)2	1,00	25,57	5,99	996,9	993,2	992,7
P(30-K26-27)2	P(30-26)	1,00	73,91	6,99	995,6	989,2	987,4
P(30-26)	P(30-25)	1,00	45,61	1,99	991,6	987,4	985,1
P(30-25)	P(30-24)	1,00	64,94	2,02	988,5	985,1	981,9
P(30-24)	P(QS-24)2	1,00	28,53	2,01	985,6	981,0	980,1
P(QS-24)2	P(QS-K24-23)	1,00	28,86	2,00	985,1	981,9	981,0

Fuente: Grupo de Investigación, Geomática.

Tabla 5 Parámetros hidráulicos para el Colector Central del diseño de alcantarillado pluvial existente

TRAMO		Dia col	Long/ Pozos	Pend Colec	Cota Rasante	Batea Entrada	Batea Salida
DE	A	M	M	%	M	M	M
P(QS - 29)L1	P(QS - 28)L3	280	75,74	9,30	998,52	997,04	989,99
P(QS - 28)L3	P(QS - 27)L5	280	58,37	7,00	991,49	989,60	985,51
P(QS - 27)L5	P(QS - 27)L4	280	73,67	2,50	987,47	985,51	983,67
P(QS - 29)L2	P(QS - 28)L1	280	50,82	3,35	1003,20	1001,72	1000,0
P(QS - 28)L1	P(QS - 28)L2	280	32,97	2,50	1001,5	1000,0	999,19
P(QS - 28)L2	P(QS - 27)L1	280	27,06	3,30	1000,4	998,90	998,01
P(QS - 27)L1	P(QS - 27)L2	280	43,65	5,00	999,51	998,01	995,83
P(QS - 27)L2	P(BB- 27)L	280	54,83	8,00	999,00	994,02	989,63
P(QS-27)L3	P(BB- 27)L	280	40,67	2,00	992,21	990,73	989,91
P(BB- 27)L	P(QS - 27)L4	280	22,58	18,0	991,68	987,34	983,28
P(22 - 26)L	P(QS - 27)L4	280	48,78	14,0	992,06	990,00	983,17
P(QS - 27)L4	P(QS - 26)L1	600	63,13	1,00	985,30	982,11	981,48
P(QS - 26)L1	P(QS - 26)L3	600	62,00	1,00	987,54	981,48	980,86
P(QS - 26)L4	P(QS - 26)L3	600	18,27	43,00	994,31	992,83	984,97
P(QS - 26)L2	P(QS - 26)L3	600	18,72	43,00	994,00	992,52	984,47
P(QS - 26)L3	P(QS - 25)	280	66,65	1,00	990,92	980,86	980,19
P(QS - 25)	P(QS-K24-23)	280	114,39	1,00	990,50	980,19	979,05

Fuente: Grupo de Investigación, Geomática.

Definidos los parámetros hidráulicos se establece el método hidrológico por el cual se analizará el sistema, en este caso el método racional. De acuerdo a esto, el software requiere de las áreas de drenaje, tiempos de concentración e intensidades de lluvia.

Las áreas de drenaje y tiempos de concentración se resumen en las Tablas No 6, No 7 y No 8 para cada colector.

Tabla 6 Áreas de drenaje y tiempos de concentración para el Colector Norte del alcantarillado pluvial Existente del intercambiador.

TRAMO		Área Parcial	Área Total	Tiempo Conc
DE	A			
		Ha	Ha	Min
P(QS-30)	P(QS-29)	30,43	30,43	12,60
P(QS-29)	P(QS-28)1	4,39	34,82	12,83
P(QS-28)1	P(QS-K28-27)	0,93	35,75	13,03
P(QS-K28-27)	P(22-27)	0,00	35,75	13,10
P(22-27)	P(22-26)	0,18	35,93	13,20
P(22-26)	P(22-24-26)	0,16	36,09	13,35
P(22-24-26)	P(24-26)	0,23	36,32	13,42
P(24-26)	P(28-26)	0,46	36,78	13,51
P(28-26)	P(28-25)	0,12	36,90	13,64
P(28-25)	P(28-K24-25)	1,38	38,28	13,88
P(28-K24-25)	P(28-24)	0,24	38,52	14,04
P(28-24)	P(QS-24)	1,39	39,91	14,13
P(QS-24)	P(QS-K24-23)	0,57	40,48	14,24
P(QS-K24-23)	P(QS-23)	0,00	40,48	14,28

Fuente: Grupo de Investigación, Geomática.

Tabla 7 Áreas de drenaje y tiempos de concentración para el Colector Sur del alcantarillado pluvial existente del intercambiador.

TRAMO		Area Parcial	Area Total	Tiempo Conc
DE	A			
		Ha	Ha	Min
P(30-27)1	P(30-27)2	9,29	9,29	12,10
P(30-27)2	P(30-K26-27)1	0,52	9,81	12,22
P(30-K26-27)1	P(30-K26-27)2	0,17	9,98	12,48
P(30-K26-27)2	P(30-26)	0,49	10,47	12,58
P(30-26)	P(30-25)	0,17	10,64	12,84
P(30-25)	P(30-24)	0,72	11,36	12,96
P(30-24)	P(QS-24)2	0,24	11,60	13,13
P(QS-24)2	P(QS-K24-23)	0,00	11,60	13,22

Fuente: Grupo de Investigación, Geomática.

Tabla 8 Áreas de drenaje y tiempos de concentración para el Colector Central del alcantarillado pluvial Existente del intercambiador.

TRAMO		Area Parcial	Area Total	Tiempo Conc
DE	A			
		Ha	Ha	Min
P(QS - 29)L1	P(QS - 28)L3	0,07	0,07	8,00
P(QS - 28)L3	P(QS - 27)L5	0,15	0,22	8,57
P(QS - 27)L5	P(QS - 27)L4	0,00	0,22	8,90
P(QS - 29)L2	P(QS - 28)L1	0,07	0,29	8,00
P(QS - 28)L1	P(QS - 28)L2	0,00	0,29	8,51
P(QS - 28)L2	P(QS - 27)L1	0,07	0,37	8,86
P(QS - 27)L1	P(QS - 27)L2	0,00	0,37	9,09
P(QS - 27)L2	P(BB- 27)L	0,61	0,98	9,41
P(QS-27)L3	P(BB- 27)L	0,14	1,12	8,00
P(BB- 27)L	P(QS - 27)L4	0,00	1,12	9,61
P(22 - 26)L	P(QS - 27)L4	0,10	1,23	8,00
P(QS - 27)L4	P(QS - 26)L1	0,21	1,44	9,67
P(QS - 26)L1	P(QS - 26)L3	0,12	1,55	10,10
P(QS - 26)L4	P(QS - 26)L3	0,05	1,60	8,00
P(QS - 26)L2	P(QS - 26)L3	0,05	1,65	8,00
P(QS - 26)L3	P(QS - 25)	0,00	1,65	10,52
P(QS - 25)	P(QS-K24-23)	0,11	1,76	10,97

Fuente: Grupo de Investigación, Geomática.

Para el cálculo de las curvas IDF por el método de Bell, se requiere de un análisis de valores extremos de los datos empleados, valores máximos mensuales anuales de la estación Bucaramanga IDEAM por medio de distribuciones de probabilidad.

Las tormentas de diseño de los eventos calculados por las distribuciones descritas Gumbel, Frechet y Log Normal se resumen en la siguiente tabla para tres tiempos de retorno 10, 15 y 20 años.

Tabla 9 Precipitaciones Máximas vs Tiempo de retorno

Tr [años]	10	15	20
Gumbel	131,67	140,85	147,28
Frechet	99,35	109,86	117,88
Log normal	107,01	115,12	122,46

Con la aplicación de la prueba de Bondad y ajuste de χ^2 (chi-cuadrado) a los datos con que se determinaron las tormentas de diseño, se obtiene que la distribución de probabilidad que más se ajusta a la serie de datos es la distribución de Log Normal con un valor aceptable de probabilidad que puede ser comparado con las otras distribuciones por medio de la siguiente tabla.

Tabla 10 Valores de probabilidad por la prueba de bondad y ajuste de (chi-cuadrado) χ^2

Distribución	Valor P
Gumbel	2.04E-13
Frechet	0,155675
Log Normal	0,740221

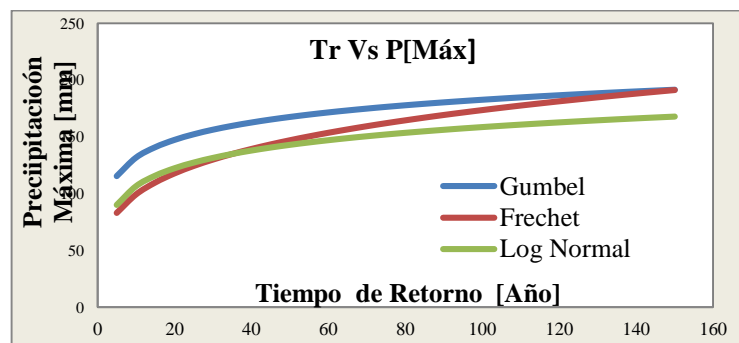
A partir de los resultados que se muestran en la tabla No 10, la distribución para determinar la lluvia de diseño a emplear en el análisis del sistema durante la simulación es Log Normal con un valor aceptable de probabilidad de 0.74

Tabla 11 Precipitación máxima en un tiempo de retorno

Distribución	Log Normal				
Tr Años	5	10	15	25	50
P Max [mm]	92,44	107,01	115,12	125,09	138,36

En la figura No 4 se puede ver como varia la precipitación máxima con respecto al tiempo de retorno de las tres distribuciones estudiadas.

Ilustración 4 Tiempo de Retorno Versus Precipitación máxima de cada distribución.

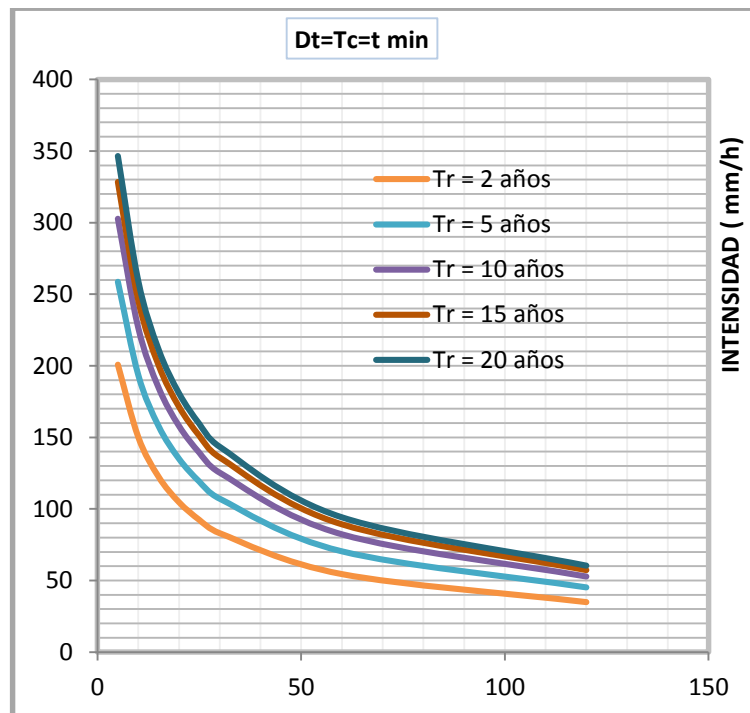


En la tabla No 12 se muestran los valores obtenidos para graficar las curvas IDF, luego de aplicar el método de Bell a los datos pluviométricos utilizados.

Tabla 12 Datos para graficar las curvas IDF obtenidos por el método de Bell en [mm/h]

Dt = t [min]	TR, AÑOS				
	5	10	15	25	50
5	258,76	302,66	328,34	360,69	404,59
10	193,66	226,52	245,74	269,95	302,81
15	157,85	184,62	200,29	220,03	246,80
20	135,06	157,97	171,37	188,26	211,17
25	119,07	139,27	151,09	165,98	186,18
30	107,12	125,30	135,93	149,32	167,50
60	70,33	82,26	89,24	98,04	109,97
120	45,14	52,79	57,27	62,92	70,57

Ilustración 5 Curvas IDF determinadas con la información pluviométrica de la estación Bucaramanga IDEAM, por medio del método de Bell.



Las curvas IDF estimadas se modelan en el software, con el fin de hacer una simulación de una lluvia de duración de 30 minutos y un periodo de retorno de 10 años. Este evento se escoge porque los diseños existentes fueron elaborados con una lluvia de diseño de esta duración.

Las curvas IDF estimadas por el método de Bell en este documento presentan intensidades mayores en un 30% con respecto a las curvas empleadas en el diseño existente que son las curvas IDF permitidas por la CDMB para el diseño de alcantarillado pluvial.

3.2 RESULTADOS DE LA SIMULACION.

Luego de correr el programa y generar los reportes se obtiene una tabla de resultados que permite identificar las ineficiencias del sistema durante la simulación. **[Anexo A]**

En la figura No 6, las líneas rojas identifican las tuberías que trabajan sobre recargadas, y los puntos azules identifican los pozos de inspección que exceden su capacidad.

En la figura No 7 se muestra el perfil del pozo P (22-27) que durante la simulación excede su capacidad, esta imagen puede verse con más detalle en **[Anexo D]**

De acuerdo a los reportes generados, durante la simulación del evento extremo de precipitación asumido con un periodo de retorno de 10 años y una duración de lluvia de 30 minutos, el diseño existente del sistema de drenaje pluvial del Intercambiador vial del Mesón de los Búcaros tiene inestabilidad de flujo en algunas de las tuberías y ocurre un desbordamiento en el pozo P (22-27).

Ilustración 6 Vista en planta de la simulación en el Software Autodesk Storm and Sanitary Analysis.

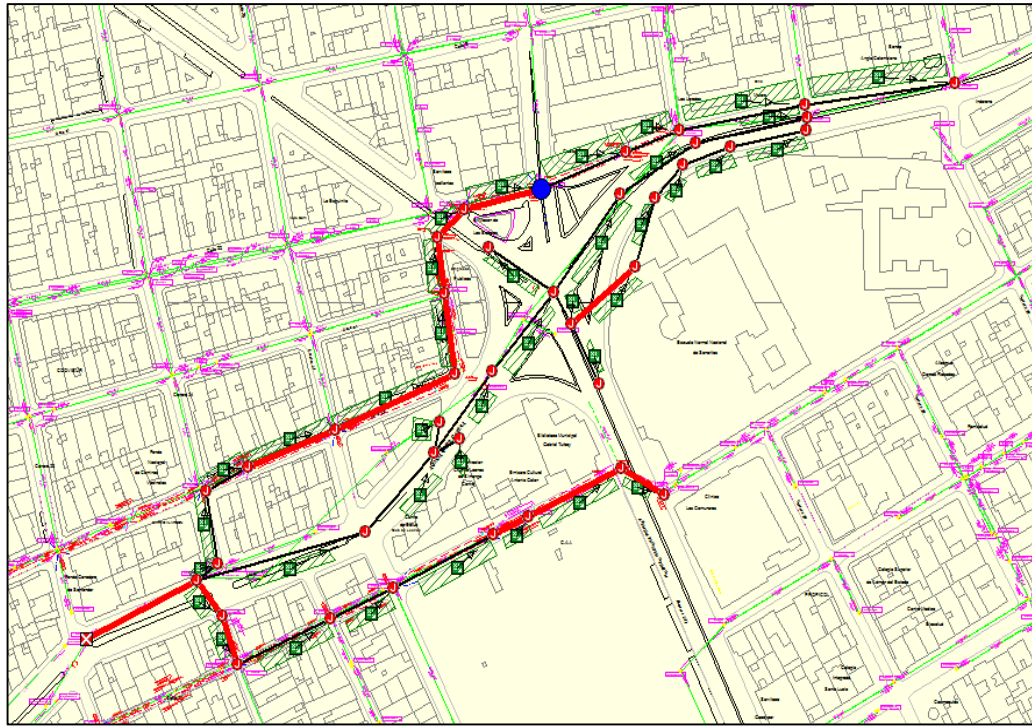
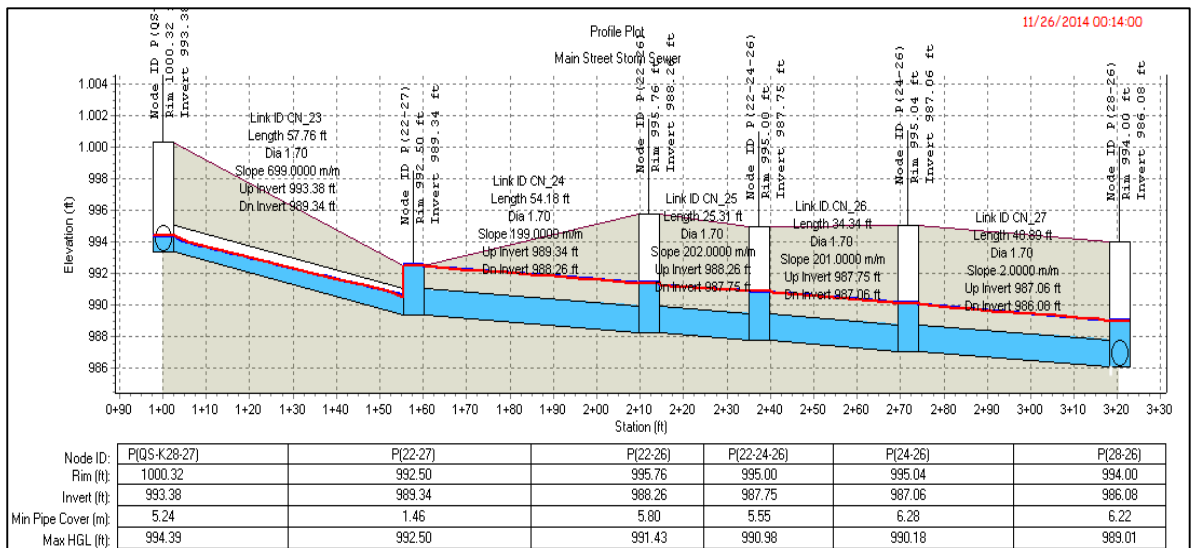


Ilustración 7 Vista en perfil de la simulación en el Software Autodesk Storm and Sanitary Analysis



4. DISEÑO, MODELADO Y SIMULACION DEL NUEVO SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL DEL INTERCAMBIADOR.

4.1 PARAMETROS DE DISEÑO DE LAS REDES

4.1.1 Diámetro mínimo:

Según el RAS, en las redes de recolección y evacuación de aguas lluvias, y principalmente en los primeros tramos, el diámetro nominal mínimo permitido en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias es 250 mm. (10"). Sin embargo, en casos especiales, en particular para niveles de complejidad del sistema bajo y medio, y con plena justificación por parte del diseñador, puede reducirse en los tramos iniciales a 200 mm (8").

Para este diseño propuesto el diámetro mínimo en las redes de recolección es de 250 mm (10")

4.1.2 Velocidad mínima:

Según el RAS se debe disponer de una velocidad suficiente para lavar los sólidos depositados durante periodos de caudal bajo y la velocidad mínima real permitida en el colector es de 0,75 m/s para el caudal de diseño

4.1.3 Velocidad máxima:

Según la tabla D.4.8 Velocidades máximas permisibles del RAS se establece que la velocidad máxima depende del material empleado en la recolección de aguas. Para este diseño la tubería es de PVC y concreto, para estos materiales la velocidad máxima permisible es de 10 m/s.

4.1.4 Pendiente mínima:

El valor de la pendiente mínima del colector debe ser aquel que permita tener condiciones de auto limpieza según los criterios de velocidad mínima especificados en el RAS.

4.1.5 Pendiente máxima:

El valor de la pendiente máxima admisible es aquella para la cual se tenga una velocidad máxima real según el RAS.

4.1.6 Profundidad hidráulica máxima:

Según el RAS, La profundidad hidráulica máxima en colectores de aguas lluvias puede ser la correspondiente a flujo lleno.

4.1.7 Profundidad mínima a la cota clave:

Según la Tabla D.3.11 del RAS, Los colectores deben estar a una profundidad mínima a cota clave de 1,20 m cuando se encuentren bajo vías vehiculares y a 0,75 m en vías peatonales.

4.1.8 Profundidad Máxima a la Cota Clave:

Según el RAS, en general la máxima profundidad de los colectores es del orden de 5 m, aunque puede ser mayor siempre y cuando se garanticen los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y estructurales de los materiales y colectores durante y después de su construcción.

4.2 PARAMETROS DE DISEÑO DE LOS POZOS DE INSPECCION.

4.2.1 Diámetro:

Según el RAS, en los pozos comunes el diámetro interior es generalmente de 1,2 m. Para casos especiales, el diámetro debe estar 1,5 m a 2 m dependiendo de las dimensiones de los colectores afluentes. Para este diseño el diámetro interior de los pozos es de 1,2 m.

4.2.2 Profundidad:

Según el RAS, La profundidad mínima de los pozos de inspección debe ser 1 m sobre la cota clave del colector afluente más superficial.

4.2.3 Diámetro de acceso:

El diámetro del orificio de entrada es generalmente 0,6 m. Sin embargo, si la altura del pozo es menor que 1,8 m, el cuerpo del cilindro puede ser extendido hasta la superficie, donde debe disponerse de una losa como acceso de acuerdo al RAS.

4.2.4 Distancia entre pozos:

La distancia entre pozos está directamente relacionada con el urbanismo y con la utilización de equipos y métodos de limpieza de los colectores, sean éstos manuales o mecanizados. Si los métodos son manuales las distancias entre pozos son menores en relación con los métodos mecánicos. La distancia máxima entre pozos, para los primeros, está entre 100 y 120 m, y para métodos mecánicos o hidráulicos puede llegar a los 200 m de acuerdo al RAS.

4.3 PARAMETROS DE DISEÑO DE LOS SUMIDEROS.

El dimensionamiento de la tubería de conexión del sumidero al sistema de alcantarillado, ya sea un pozo o fuentes receptoras, debe tener un diámetro mínimo de 200 mm, pendiente superior al 2% y, en general, no debe tener una longitud mayor de 15 m.

Los sumideros para este proyecto son sumideros laterales o de ventana. En Bucaramanga la CDMB ha reglamentado para la ciudad tres tipos de sumideros laterales, los cuales se construyen siguiendo el alineamiento de los andenes. [7]

La CDMB Expresa que estos tipos de sumideros se denominaran “SL” y que de acuerdo con la dimensión longitudinal del orificio de captación se denominan así:

SL-200: sumidero Lateral con 2m de captación

SL-400: sumidero Lateral con 4m de captación

SL-600: sumidero Lateral con 6m de captación

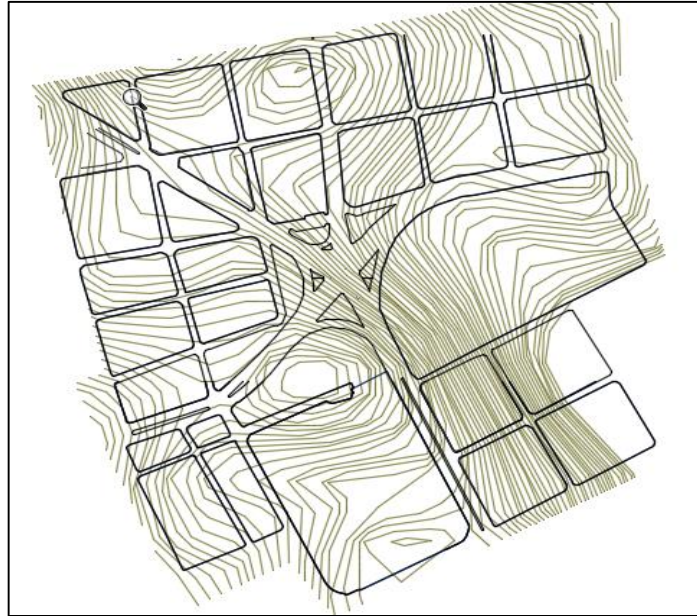
4.4 NUEVO DISEÑO EN AUTOCAD CIVIL 3D

4.4.1 Topografía:

Las curvas de nivel que se utilizaron para el diseño del nuevo sistema de alcantarillado pluvial del intercambiador vial del mesón de los búcaros, fueron generadas por medio de la aplicación Global Mapper en conjunto con Google Earth y AutoCAD Civil 3D, que son herramientas fáciles de usar y asequibles en internet.

Con estas herramientas se extrapolaron unas curvas de nivel a partir de fotografía satelital, dado que no se tenía la información topográfica del terreno donde se construirá el intercambiador, esto constituye una limitación de información en el desarrollo del proyecto.

Ilustración 8 Topografía de la Zona del intercambiador en AutoCAD Civil 3D



4.4.2 Trazado de la Red

El trazado del sistema de drenaje pluvial se dividió en tres colectores: Colector Norte, Colector Sur y Colector Central para hacer las respectivas comparaciones en los modelados.

Ilustración 9 Trazado de los colectores en AutoCAD Civil 3D.



4.5 PARAMETROS CALCULADOS DE DISEÑO

Para facilitar el proceso del cálculo de los parámetros hidráulicos del nuevo diseño del alcantarillado pluvial del intercambiador del Mesón de los Búcaros, se elaboró una hoja de cálculo en Excel que puede verse en el [Anexo B]

Con el trazado y las cotas de pavimentos del intercambiador se calculan por medio de la hoja de cálculo de Excel programada los diferentes parámetros para modelar el nuevo diseño. Los más importantes para el modelado se encuentran resumidos en la siguientes tablas divididas por colector.

Las curvas IDF utilizadas para el análisis y planteamiento del nuevo diseño del alcantarillado pluvial del intercambiador del Mesón de los búcaros en el software Autodesk Storm and Sanitary Analysis fueron las mismas estimadas con la información pluviométrica de la estación Bucaramanga IDEAM empleadas para el análisis del diseño existente, Figura No 2.

Tabla 13 Parámetros hidráulicos para el Colector Norte del alcantarillado pluvial del intercambiador.

TRAMO		Dia Col	Long/ Pozos	Pend Cole	Cota Rasant	Batea Entrada	Batea Salida
DE	A	Mm	M	%	M	M	M
P(QS-30)	P(QS-29)	1800	99,81	4,00	1006,4	1000,0	996,01
P(QS-29)	P(QS-28)1	1800	84,56	4,00	1003,3	996,01	992,63
P(QS-28)1	P(QS-K28-27)	1800	38,21	4,00	1000,6	992,63	991,10
P(QS-K28-27)	P(22-27)	1800	57,76	4,90	1000,3	991,10	988,27
P(22-27)	P(22-26)	2000	54,18	2,60	992,50	988,27	986,86
P(22-26)	P(22-24-26)	2400	25,31	3,00	995,76	986,86	986,10
P(22-24-26)	P(24-26)	2400	34,34	3,00	995,00	986,10	985,07
P(24-26)	P(28-26)	2400	48,89	3,00	995,04	985,07	983,60
P(28-26)	P(28-25)	2400	87,01	4,00	994,00	983,60	980,12
P(28-25)	P(28-K24-25)	2400	60,40	3,00	990,39	980,12	978,31
P(28-K24-25)	P(28-24)	2400	34,74	3,00	987,86	978,31	977,27
P(28-24)	P(QS-24)	2400	49,77	4,00	986,43	977,27	975,28
P(QS-24)	P(QS-K24-23)	2400	18,78	3,20	985,53	975,28	974,68
P(QS-K24-23)	P(QS-23)	2400	81,71	3,18	985,10	974,68	972,08

Tabla 14 Parámetros hidráulicos para el Colector Central del alcantarillado pluvial del intercambiador

TRAMO		Dia Col	Long/ Pozos	Pend Colec	Cota Rasant	Batea Entrad	Batea Salida
DE	A	M	M	%	M	m	M
P(QS - 29)L1	P(QS - 28)L3	250	75,74	9,80	998,52	995,52	988,10
P(QS - 28)L3	P(QS - 27)L5	250	58,37	9,90	991,49	988,10	982,32
P(QS - 27)L5	P(QS - 27)L4	300	73,67	6,00	987,47	982,32	980,88
P(QS - 29)L2	P(QS - 28)L1	250	50,82	2,99	1003,2	1001,7	1000,2
P(QS - 28)L1	P(QS - 28)L2	350	32,97	3,00	1001,5	1000,2	999,21
P(QS - 28)L2	P(QS - 27)L1	250	27,06	3,03	1000,4	999,21	998,39
P(QS - 27)L1	P(QS - 27)L2	350	43,65	1,17	999,51	998,39	997,88
P(QS - 27)L2	P(BB- 27)L	350	54,83	13,50	999,00	997,88	990,48
P(QS-27)L3	P(BB- 27)L	350	40,67	3,00	992,21	990,73	989,51
P(BB- 27)L	P(QS - 27)L4	500	22,58	10,01	991,68	989,51	987,25
P(22 - 26)L	P(QS - 27)L4	250	48,78	13,86	992,06	990,58	983,82
P(QS - 27)L4	P(QS - 26)L1	700	63,13	1,00	985,30	980,88	980,25
P(QS - 26)L1	P(QS - 26)L3	700	62,00	1,00	987,54	980,25	979,63
P(QS - 26)L4	P(QS - 26)L3	200	18,27	2,03	994,31	992,83	992,46
P(QS - 26)L2	P(QS - 26)L3	200	18,72	1,98	994,00	992,52	992,15
P(QS - 26)L3	P(QS - 25)	700	66,65	0,90	990,92	979,63	979,03
P(QS - 25)	P(QS-K24-23)	700	114,39	0,90	990,50	979,03	978,00

Tabla 15 Parámetros hidráulicos del colector Sur del alcantarillado pluvial del intercambiador

TRAMO		Dia col	Long /Pozo	Pend Cole	Cota Rasant	Batea Entrad	Batea Salid
DE	A	M	M	%	M	M	M
P(30-27)1	P(30-27)2	975	30,67	2,78	1000,8	995,2	994,3
P(30-27)2	P(30-K26-27)1	975	67,62	4,60	1000,0	994,3	991,2
P(30-K26-27)1	P(30-K26-27)2	975	25,57	5,16	996,9	991,2	989,9
P(30-K26-27)2	P(30-26)	975	73,91	5,39	995,6	989,9	985,9
P(30-26)	P(30-25)	975	45,61	6,50	991,6	985,9	982,9
P(30-25)	P(30-24)	975	64,94	4,54	988,5	982,9	980,0
P(30-24)	P(QS-24)2	1200	28,53	3,80	985,6	980,0	978,9
P(QS-24)2	P(QS-K24-23)	1200	28,86	3,80	985,1	978,9	977,8

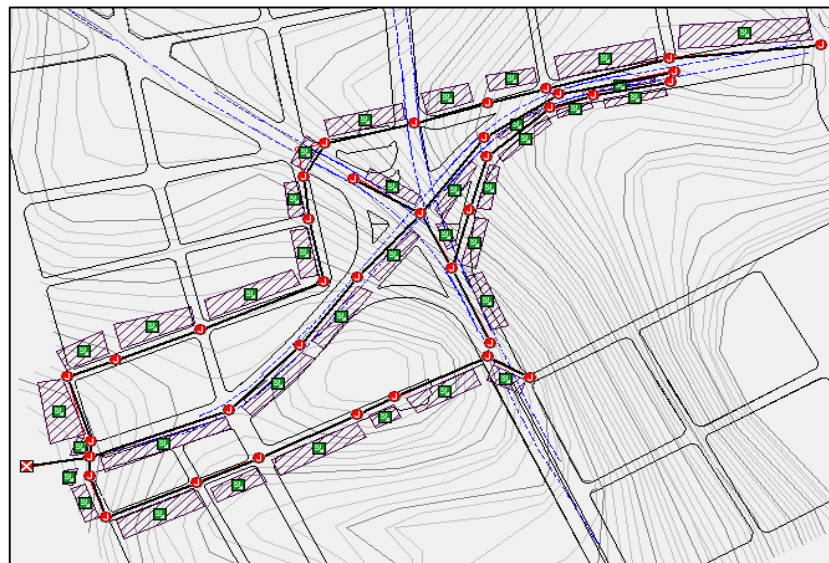
4.6 MODELADO Y SIMULACION DEL NUEVO DISEÑO EN AUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS.

El Nuevo diseño del alcantarillado pluvial de intercambiador del Mesón de los Búcaros se modela con los parámetros hidráulicos calculados. **[Anexo B]**.

Para la simulación del evento extremo de lluvia se usan las mismas áreas de drenaje y tiempos de concentración del diseño existente del alcantarillado pluvial. Esta información puede verse en las tablas No 7, No 8 y No 9 de este documento.

El evento de precipitación simulado en el nuevo diseño del alcantarillado pluvial del intercambiador es el mismo asumido en la simulación del diseño existente con un periodo de retorno de 10 años y una duración de lluvia de 30 minutos. Luego de correr el programa y generar los reportes se obtiene la tabla de resultados que puede verse en el **[Anexo C]**

Ilustración 10 Vista en Planta de la simulación del Nuevo Diseño en Autodesk Storm and Sanitary Analysis.



La vista en perfil de los tres colectores del nuevo diseño y el diseño existente se muestra en el **[Anexo D]**.

5. MODELADO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EN AUTODESK REVIT.

Modelado de las familias de pozos, tuberías y sumideros con sus respectivas especificaciones según los planos.

Ilustración 11 Vista tridimensional de la familia de pozos de Inspección y sumideros elaborados en Revit.

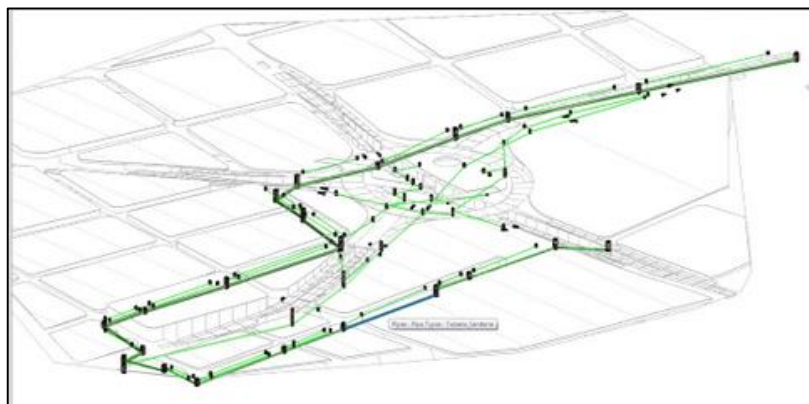


Fuente: Grupo de Investigación, Geomática.

5.1 MODELADO DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL EXISTENTE.

Por medio de las especificaciones y planos de los diseños existentes se elabora el modelo en Autodesk Revit.

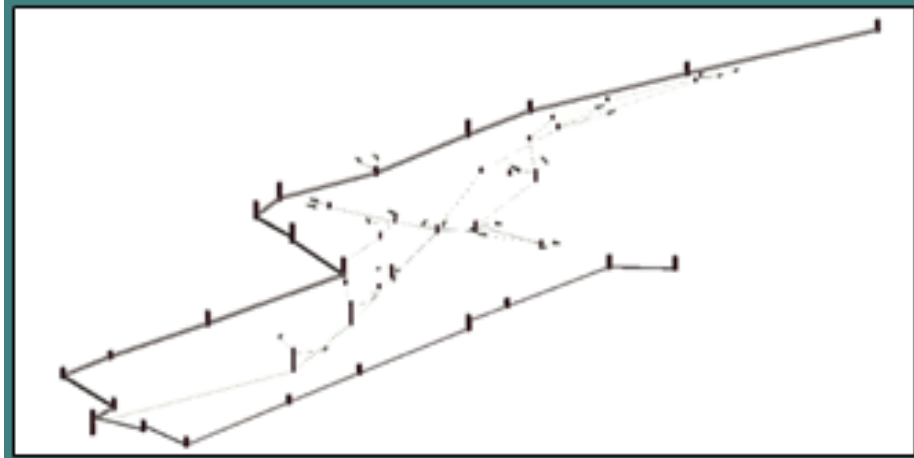
Ilustración 12 Modelado de los colectores del diseño existente en Autodesk Revit.



5.2 MODELADO DEL NUEVO SISTEMA DEL DRENAJE PLUVIAL.

Con las especificaciones y planos del nuevo diseño se elabora el modelo en Autodesk Revit.

Ilustración 13 Modelado de los colectores del nuevo diseño en Autodesk Revit.



6. CALCULO DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

6.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Para el cálculo de los costos de construcción se realizaron análisis de precios unitarios para cada actividad que debe realizarse en el movimiento de tierra y la construcción e instalación de los elementos que hacen parte del sistema de alcantarillado pluvial de ambos diseños.

6.2 CALCULO DE CANTIDADES

Por medio de Autodesk Revit es posible obtener tablas de cantidades de los materiales y elementos presentes en ambos modelos. El software calcula a partir de las dimensiones dadas, volúmenes, áreas, longitudes y cantidades totales.

Con la información suministrada por Revit y los análisis de precios unitarios de materiales y elementos empleados se determinaron los costos de construcción para ambos sistemas de drenaje pluvial del intercambiador.

7. COMPARACIÓN DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE PLUVIAL.

Tabla 16 Ítem: Excavación Mecánica en material Común (Incluye Cargue, Transporte y Disposición Final)

	Existente	Nuevo
Colector Norte	\$ 139.825.981,68	\$ 210.727.321,27
Colector Sur	\$ 32.339.345,04	\$ 39.313.506,58
Colector Central	\$ 20.752.059,55	\$ 38.987.065,07
Total	\$ 192.917.386,27	\$ 289.027.892,92
Diferencia	\$96.110.506,65	

Tabla 17 Ítem: Relleno con material seleccionado de la excavación y Recebo, compactado manual [capas/10 cm]

	Existente	Nuevo
Colector Norte	\$ 185.759.086,12	\$ 280.572.835,11
Colector Sur	\$ 39.109.096,32	\$ 47.345.588,32
Colector Central	\$ 27.369.959,25	\$ 52.609.524,93
Total	\$ 252.238.141,69	\$ 380.527.948,36
Diferencia	\$128.289.806,68	

Tabla 18 Ítem: Sumideros

	Existente	Nuevo
Total	\$ 14.103.570,88	\$ 14.103.570,88
Diferencia	\$0,00	

Tabla 19 Ítem: Red de Alcantarillado Pluvial

	Existente	Nuevo
Colector Norte	\$ 801.308.660,40	\$ 886.205.868,03
Colector Sur	\$ 184.945.764,07	\$ 43.062.798,49
Colector Central	\$ 30.118.031,12	\$ 23.207.234,57
Total	\$ 1.016.372.455,59	\$ 952.475.901,09
Diferencia	\$63.896.554,49	

Tabla 20. Ítem: Pozos de Inspección

	Existente	Nuevo
Colector Norte	\$ 12.158.682,24	\$ 12.366.962,81
Colector Sur	\$ 6.922.295,72	\$ 6.982.811,05
Colector Central	\$ 14.404.100,88	\$ 14.416.826,48
Total	\$ 33.485.078,84	\$ 33.766.600,34
Diferencia	\$281.521,50	

El Resumen del análisis completo de los presupuestos calculados para cada diseño se puede ver en el **[Anexo E]**.

- De acuerdo al análisis de los costos de construcción de los diseños del sistema de alcantarillado del intercambiador vial del mesón de los búcaros, el costo del nuevo diseño está por encima del costo del diseño existente por \$160.785.280,33.
- La diferencia del costo de construcción del nuevo diseño con respecto al diseño existente se debe al tiempo de retorno empleado en el cálculo de los parámetros hidráulicos y a la intensidad de lluvia escogida.

- El tiempo de retorno empleado en el nuevo diseño es de 10 años para todos los colectores mientras que en el diseño existente, para el colector Norte es de 10 años, para el colector central es de 2 años y para el colector sur varía entre 5 y 10 años.
- La intensidad de lluvia utilizada para el Nuevo diseño del sistema de drenaje pluvial fue escogida de las curvas IDF calculadas en este documento mientras que la intensidad de lluvia escogida para el diseño Existente se extrajo de las curvas IDF para Bucaramanga de la CDMB.
- Las curvas IDF calculadas en este documento por medio de la metodología de Bell con los datos de precipitación máxima de lluvia facilitados por el IDEAM de la estación más cercana al intercambiador dan como resultado intensidades de lluvia en un 30% más elevadas que las intensidades de lluvias permitidas para el diseño por la CDMB.
- De acuerdo al análisis del software Autodesk Storm and Sanitary Analysis durante una simulación de una lluvia de duración de 30 minutos con un periodo de retorno de 10 años, el nuevo diseño puede evacuar sin ningún problema la lluvia caída, mientras que en el Diseño existente se presenta el desbordamiento de un pozo de inspección, P (22-27) y además existe inestabilidad de flujo en algunas de la tuberías ya que trabajan sobre recargadas o con exceso de capacidad.

8. MATERIAL AUDIOVISUAL PARA LA ENSEÑANZA DEL MANEJO DEL SOFTWARE SUTODESK STORM AND SANITARY ANALYSIS.

El software Autodesk Storm and Sanitary Analysis es una herramienta computacional que facilita el análisis y diseños de sistemas de alcantarillado pluvial. Este programa es una extensión del software AutoCAD Civil 3D que permite verificar la efectividad de los diseños de un alcantarillado por medio de la simulación de un evento extremo de lluvia.

Por ser una herramienta poco conocida e investigada se realizó un material audiovisual que permite conocer para qué sirve el programa y el interface del software junto con sus herramientas. Además se planteó un ejemplo en el cual se modela y analiza el sistema de un alcantarillado pluvial por medio de la simulación de un evento extremo de precipitación. Este video puede encontrarse en el CD **[Anexo F]** de este documento.

9. CONCLUSIONES

- Durante la simulación del evento máximo calculado y modelado en el Software Autodesk Storm and Sanitary Analysis, el diseño existente del sistema de alcantarillado pluvial del intercambiador vial del Mesón de los Búcaros presenta algunas ineficiencias.
- Las ineficiencias en el diseño existente luego de la simulación pueden presentarse por la intensidad de lluvia simulada en el modelo, ya que la intensidad simulada es mayor en un 30% a la intensidad de diseño del sistema.
- Según el reporte generado por el Software Autodesk Storm and Sanitary analysis de la simulación modelada, la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno en algunas tuberías del diseño existente del alcantarillado pluvial excede el valor de 1; lo que indica que esas redes trabajan a presión durante la simulación, puesto que exceden su capacidad o trabajan sobre recargadas.
- De acuerdo al reporte generado por el Software Autodesk Storm and Sanitary analysis de la simulación modelada, la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno en las tuberías no exceden el valor de 0,85 en el nuevo diseño del alcantarillado pluvial, lo que indica que las redes trabajan a flujo libre durante el evento extremo de lluvia simulado y no presenta problemas de inestabilidad de flujo.
- Según el presupuesto calculado, la ejecución del diseño existente del sistema de alcantarillado pluvial del intercambiador vial del Mesón de los Búcaros tiene un costo de construcción de \$1.509.116.633,27.
- Según el presupuesto calculado, la ejecución del nuevo diseño planteado del sistema de alcantarillado pluvial del intercambiador vial del Mesón de los Búcaros tiene un costo de construcción de \$1.669.901.913,60.

- De acuerdo a la comparación de los presupuestos calculados de los sistemas de drenaje pluvial, el costo del nuevo diseño está por encima del costo del diseño existente por \$160.785.280,33.
- Este proyecto de investigación se trató de un ejercicio académico con el fin de dar a conocer las herramientas computacionales empleadas en el mismo. Fue realizado con limitación de información hidrológica y topográfica; por lo cual los resultados deben interpretarse de acuerdo a esas limitaciones.

REFERENCIAS

[1] Grupo de Gestión y Optimización de Sistemas. Contrato Interadministrativo 027/2009 – Alcaldía de Bucaramanga – UIS Intercambiador mesón de los búcaros, diseño de redes de alcantarillado y pluvial [Enero 2010].

[2] ¿Qué es Autodesk Storm and Sanitary Analysis?: <http://knowledge.autodesk.com/support/autocad/learn-explore/caas/documentation/INSTALL-LICENSE/2014/ESP/Autodesk-Installation-Help/files/GUID-A4080DA5-3C5C-47E3-9396-F42FD24DBF2C-hm.html> [Citado en Febrero 2014]

[3] AutoCAD Civil 3d Software para diseño de ingeniería civil: <http://www.autodesk.es/products/autocad-civil-3d/overview> [Citado en Febrero 2014]

[4] REVIT Software de construcción y diseño de edificios: <http://www.autodesk.es/products/revit-family/features/software-for-bim/all/gallery-view> [Citado en Febrero 2014]

[5] Gastón C. García C. Análisis estadístico descriptivo sobre serie hidrológicas históricas del embalse san roque (periodo 1947-2009): http://www.ucc.edu.ar/portallucc/archivos/File/Ingenieria/Grupos_Investigacion/EH_CPA/2010/analissserieshidrologicasembalsesanroque.pdf [Citado en Marzo 2014]

[6] UNESCO, 2007. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia, para la zona centro sur de Chile. Roberto Pizarro Tapia, Dayanna Aravena Garrido, Karina Macaya Pérez, Alejandro Abarza Martínez, Mariela Cornejo Espinoza, Mauricio Labra Lorca, Marcelo Pavez Vidal, Leonardo Román Arellano. Editorial Universidad de Talca, Chile. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°7.

[7] Castañeda Galvis Luis Fernando; Propuesta metodológica para la ubicación y dimensionamiento de sumideros de captación de escorrentía superficial y análisis de su comportamiento hidráulico Tesis (Pregrado) Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2004.

BIBLIOGRAFIA

Córdoba Cataño Cristian Fernando; Diseño de la red de Alcantarillado del Barrio Centro Poblado Pasoancho situado en el municipio de Zipaquirá; Universidad Católica de Colombia, programa de Ingeniería Civil; Tesis (Pregrado); Bogotá D.C 2013.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB, Normas técnicas para diseño de alcantarillado, 1994.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAB - ESP, Diseño, construcción y materiales de alcantarillado, 1985.

Empresas Públicas de Medellín, Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM. 2009.

Gajardo Ossa Gonzalo Javier; parques inundables: solución con aportes paisajísticos y urbanos a problemas de inundaciones en la ciudad de Temuco.”; Universidad Austral de Chile, Tesis (Pregrado); Valdivia 2009.

Morales Martínez, Hollman Yair; Rueda Villar, Omar Alberto; Dir. García Solano Mario; Propuesta de diseño del alcantarillado pluvial del municipio de Valle San José Santander; Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería civil. tesis (pregrado); Bucaramanga 2014.

Morales Uchofen Walter; Copia de Ponencia sobre Ecuaciones- Graficas para calcular intensidades de precipitación para uso en proyectos de drenaje pluvial en la provincia de Lambayeque, utilizando información de precipitaciones máximas en 24 horas; Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Civil de Sistemas y Arquitectura; Lambayeque Perú 2011.

Padilla Santamaría Maira Alejandra; Diseño de la red de alcantarillado sanitario y pluvial del corregimiento de la mesa – cesar Tesis (Pregrado); Universidad De La Salle; Bogotá 2009.

Polanco Sánchez Lina Marithza; Análisis de Rendimiento de mano de obra para actividades de construcción – Estudio de caso Edificio J UPB; Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería y Administración; Tesis de Pregrado, Bucaramanga 2009.

Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – RAS. (2000). *Títulos D*; Bogotá, Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico.

Rocha Felices Arturo; Hidráulica de Tuberías y Canales; Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil; Lima Perú en: <http://civilgeeks.com/2010/07/23/libro-completo-de-hidraulica-de-tuberias-y-canales-dr-arturo-rocha/>

Vente Chow David R. Maidment Larry W. Mays; Hidrología Aplicada; Martha Edna Suarez R.; McGraw W-Hill Interamericana S.A; Enero 2000; Bogotá Colombia. Capítulo 11; p. 361-382

ANEXOS

ANEXO A Tabla del Reporte de
Autodesk Storm And Sanitary
Analysis en la simulación del evento
máximo de lluvia para el diseño
existente.

TRAMO		Long	Cota Batea Entrada	Cota Batea Salida	Precip Total	Pend	Pipe	Diam	N	Q pico	T Pico	Vel Max	Q	q/Q	y/d	Tiemp Recar	Max prof flujo	Condición Reportada
DE	A	M	M	M	M	%		M		lps	d/h/m	m/s	Lps			Min	M	
P(Qs-29)L1	P(QS-28)L3	75,74	997,04	989,99	7,05	9,31	Circular	0,280	0,010	044,15	0 00:08	3,63	331,40	0,13	0,25	-	0,07	Calculated
P(QS-29)L2	P(QS-28)L1	50,82	1.001,72	1.000,01	1,71	3,36	Circular	0,280	0,010	045,18	0 00:08	2,43	199,25	0,23	0,34	-	0,10	Calculated
P(QS-28)L1	P(QS-28)L2	32,97	1.000,01	999,19	0,82	2,49	Circular	0,280	0,010	044,52	0 00:08	2,27	171,31	0,26	0,35	-	0,10	Calculated
P(QS-28)L2	P(QS-27)L1	27,06	998,89	998,00	0,89	3,29	Circular	0,280	0,010	085,35	0 00:09	3,19	197,00	0,43	0,44	-	0,12	Calculated
P(QS-27)L1	P(QS-27)L2	43,65	998,00	995,83	2,17	4,97	Circular	0,280	0,010	085,06	0 00:09	3,49	242,19	0,35	0,41	-	0,12	Calculated
P(QS-27)L2	P(BB-27)L	54,83	994,02	989,63	4,39	8,01	Circular	0,280	0,010	356,43	0 00:11	5,81	307,36	1,16	1,00	7,00	0,28	SURCHARGED
P(QS-27)L3	P(BB-27)L	40,67	990,73	989,91	0,82	2,02	Circular	0,280	0,010	085,38	0 00:08	2,50	154,24	0,55	0,53	-	0,15	Calculated
P(BB-27)L	P(QS-27)L4	22,58	987,34	983,28	4,06	17,98	Circular	0,280	0,010	417,95	0 00:10	8,30	460,60	0,91	0,75	-	0,21	Calculated
P(22-26)L	P(QS-27)L4	48,78	990,00	983,17	6,83	14,00	Circular	0,280	0,010	060,73	0 00:08	4,61	406,46	0,15	0,26	-	0,07	Calculated
P(QS-28)L3	P(QS-27)L5	58,37	989,60	985,51	4,09	7,01	Circular	0,280	0,010	132,77	0 00:08	3,62	287,54	0,46	0,56	-	0,16	Calculated
P(QS-27)L5	P(QS-27)L4	73,67	985,51	983,67	1,84	2,50	Circular	0,280	0,010	130,43	0 00:09	2,98	171,67	0,76	0,65	-	0,19	Calculated
P(QS-27)L4	P(QS-26)L1	63,13	982,11	981,48	0,63	1,00	Circular	0,600	0,010	712,46	0 00:09	3,04	783,34	0,91	0,79	-	0,47	Calculated
P(QS-26)L1	P(QS-26)L3	62,00	981,48	980,86	0,62	1,00	Circular	0,600	0,010	774,49	0 00:10	3,07	784,15	0,99	0,85	-	0,51	Calculated
P(QS-26)L3	P(QS-25)	66,65	980,86	980,19	0,67	1,01	Circular	0,600	0,010	816,35	0 00:10	3,16	786,21	1,04	0,94	-	0,56	> CAPACITY
P(QS-25)	P(QS_K24-23)	114,39	980,19	979,05	1,14	1,00	Circular	0,600	0,010	840,35	0 00:10	3,27	782,81	1,07	0,97	-	0,58	> CAPACITY
P(QS-26)L2	P(QS-26)L3	18,72	992,52	984,47	8,05	43,00	Circular	0,280	0,010	028,46	0 00:08	5,48	712,31	0,04	0,14	-	0,04	Calculated
P(QS-26)L4	P(QS-26)L3	18,27	992,83	984,97	7,86	43,02	Circular	0,280	0,010	027,87	0 00:08	5,44	712,47	0,04	0,14	-	0,04	Calculated
P(QS-30)	P(QS-29)	99,81	1.001,64	997,95	3,69	3,70	Circular	1,700	0,013	13.451,55	0 00:12	7,88	18.978,24	0,71	0,70	-	1,20	Calculated
P(QS-29)	P(QS-28)	84,56	997,95	995,67	2,28	2,70	Circular	1,700	0,013	15.430,14	0 00:13	9,24	16.207,45	0,95	0,70	-	1,19	Calculated
P(QS-28)	P(QS-K28-27)	38,21	995,67	993,38	2,29	5,99	Circular	1,700	0,013	16.014,71	0 00:13	11,50	24.163,45	0,66	0,59	-	1,00	Calculated
P(QS-K28-27)	P(22-27)	57,76	993,38	989,34	4,04	6,99	Circular	1,700	0,013	15.464,49	0 00:13	8,41	26.103,99	0,59	0,80	-	1,36	Calculated
P(22-27)	P(22-26)	54,18	989,34	988,26	1,08	1,99	Circular	1,700	0,013	15.489,06	0 00:13	6,86	13.935,49	1,11	1,00	2,00	1,70	SURCHARGED
P(22-26)	P(22-24-26)	25,31	988,26	987,75	0,51	2,02	Circular	1,700	0,013	15.547,95	0 00:13	6,86	14.010,99	1,11	1,00	2,00	1,70	SURCHARGED
P(22-24-26)	P(24-26)	34,34	987,75	987,06	0,69	2,01	Circular	1,700	0,013	15.663,76	0 00:13	6,92	13.991,18	1,12	1,00	3,00	1,70	SURCHARGED
P(24-26)	P(28-26)	48,89	987,06	986,08	0,98	2,00	Circular	1,700	0,013	15.762,68	0 00:13	6,96	13.974,39	1,13	1,00	3,00	1,70	SURCHARGED
P(28-26)	P(28-25)	87,01	986,08	984,34	1,74	2,00	Circular	1,700	0,013	15.466,54	0 00:13	6,84	13.957,89	1,11	1,00	3,00	1,70	SURCHARGED
P(28-25)	P(28-K24-25)	60,40	984,34	983,13	1,21	2,00	Circular	1,700	0,013	16.046,10	0 00:14	7,08	13.970,25	1,15	1,00	-	1,70	SURCHARGED
P(28-K24-25)	P(28-24)	34,74	983,13	982,44	0,69	1,99	Circular	1,700	0,013	16.251,03	0 00:14	7,55	13.910,39	1,17	0,92	-	1,56	> CAPACITY
P(28-24)	P(QS-24)	49,77	982,44	980,95	1,49	2,99	Circular	1,700	0,013	17.056,54	0 00:14	9,73	17.078,08	1,00	0,79	-	1,35	Calculated
P(QS-24)	P(QS_K24-23)	18,78	980,95	980,20	0,75	3,99	Circular	1,700	0,013	17.349,51	0 00:15	11,93	19.724,80	0,88	0,74	-	1,26	Calculated
P(30-27)1	P(30-27)2	30,67	995,17	994,56	0,61	1,99	Circular	1,000	0,013	4.093,26	0 00:12	5,21	3.381,48	1,21	1,00	4,00	1,00	SURCHARGED
P(30-27)2	P(30-K26-27)1	67,62	994,56	993,21	1,35	2,00	Circular	1,000	0,013	4.322,88	0 00:12	5,50	3.387,88	1,28	1,00	4,00	1,00	SURCHARGED
P(30-K26-27)1	P(30-K26-27)2	25,57	993,21	992,70	0,51	1,99	Circular	1,000	0,013	4.397,36	0 00:12	5,60	3.386,25	1,30	1,00	5,00	1,00	SURCHARGED
P(30-K26-27)2	P(30-26)	73,91	989,24	987,39	1,85	2,50	Circular	1,000	0,013	4.529,15	0 00:12	6,30	3.793,44	1,19	0,86	-	0,86	> CAPACITY
P(30-26)	P(30-25)	45,61	987,39	985,11	2,28	5,00	Circular	1,000	0,013	4.628,66	0 00:12	7,41	5.360,89	0,86	0,79	-	0,79	Calculated
P(30-25)	P(30-24)	64,94	985,11	981,86	3,25	5,00	Circular	1,000	0,013	4.859,90	0 00:13	6,62	5.363,95	0,91	0,94	-	0,94	Calculated
P(QS-24)2	P(QS_K24-23)	28,86	981,00	980,13	0,87	3,01	Circular	1,000	0,013	4.958,07	0 00:13	6,31	4.163,04	1,19	1,00	3,00	1,00	SURCHARGED
P(30-24)	P(QS-24)2	28,53	981,86	981,00	0,86	3,01	Circular	1,000	0,013	4.957,12	0 00:13	6,31	4.162,92	1,19	1,00	3,00	1,00	SURCHARGED
P(QS_K24-23)	Out-03	81,71	974,77	972,08	2,69	3,29	Circular	1,700	0,013	22.216,81	0 00:15	9,79	17.908,88	1,24	1,00	-	1,70	SURCHARGED

ANEXO B Tabla de Cálculo de parámetros Hidráulicos del nuevo Diseño

Tabla de Cálculo de parámetros hidráulicos del nuevo Diseño

TRAMO		Area Parcial	Area Total	Tiempo Conce	Coef. Esco	Tr	Intensidad	Caudal Diseño	Cota Rasante	Longitud Tramo	Coef Manning	Pendiente	Diame	Diam Asumido	N	V	Q	Q	q/Q
DE	A	Ha	Ha	min		Años	l/s	l/s	m	M		%	M	mm	mm	m/s	l/s	m3/s	<=0,85
COLECTOR NORTE																			
P(QS-30)	P(QS-29)	30,43	30,43	12,60	0,8	10	561,80	13676,826	0,00	99,81	0,013	4,00	1,48147	1800	0,013	9,03	22989,52	22,99	0,59
P(QS-29)	P(QS-28)1	4,39	34,82	12,83	0,8	10	556,71	15508,665	1003,36	84,56	0,013	4,00	1,55297	1800	0,013	9,03	22989,52	22,99	0,67
P(QS-28)1	P(QS-K28-27)	0,93	35,75	13,03	0,8	10	552,18	15793,257	1000,60	38,21	0,013	4,00	1,56360	1800	0,013	9,03	22989,52	22,99	0,69
P(QS-K28-27)	P(22-27)	0,00	35,75	13,10	0,8	10	550,67	15750,189	1000,32	57,76	0,013	4,90	1,50368	1800	0,013	10,00	25444,73	25,44	0,62
P(22-27)	P(22-26)	0,18	35,93	13,20	0,8	10	548,52	15767,542	992,50	54,18	0,013	2,60	1,69410	2000	0,013	7,81	24547,46	24,55	0,64
P(22-26)	P(22-24-26)	0,16	36,09	13,35	0,8	10	545,42	15748,149	995,76	25,31	0,013	3,00	1,64848	2400	0,013	9,48	42877,60	42,88	0,37
P(22-24-26)	P(24-26)	0,23	36,32	13,42	0,8	10	543,98	15806,823	995,00	34,34	0,013	3,00	1,65078	2400	0,013	7,82	19909,51	19,91	0,79
P(24-26)	P(28-26)	0,46	36,78	13,51	0,8	10	542,06	15950,401	995,04	48,89	0,013	3,00	1,65639	2400	0,013	7,82	19909,51	19,91	0,80
P(28-26)	P(28-25)	0,12	36,90	13,64	0,8	10	539,35	15922,586	994,00	87,01	0,013	4,00	1,56839	2400	0,013	9,03	22989,52	22,99	0,69
P(28-25)	P(28-K24-25)	1,38	38,28	13,88	0,8	10	534,61	16372,894	990,39	60,40	0,013	3,00	1,67271	2400	0,013	7,82	19909,51	19,91	0,82
P(28-K24-25)	P(28-24)	0,24	38,52	14,04	0,8	10	531,41	16376,906	987,86	34,74	0,013	3,00	1,67286	2400	0,013	7,82	19909,51	19,91	0,82
P(28-24)	P(QS-24)	1,39	39,91	14,13	0,8	10	529,59	16909,76	986,43	49,77	0,013	4,00	1,60417	2400	0,013	9,37	26554,99	26,55	0,64
P(QS-24)	P(QS-K24-23)	0,57	40,48	14,24	0,8	10	527,38	17079,549	985,53	18,78	0,013	3,20	1,67899	2400	0,013	8,67	27232,96	27,23	0,63
P(QS-K24-23)	P(QS-23)	0,00	40,48	14,28	0,8	10	526,63	17055,307	985,10	81,71	0,013	3,18	1,68042	2400	0,013	8,64	27132,24	27,13	0,63
COLECTOR SUR																			
P(30-27)1	P(30-27)2	9,290	9,29	12,10	0,78	10	573,43	4139,02	1000,81	30,67	0,010	2,78	0,91819	975	0,01	6,51	4857,56	4,86	0,85
P(30-27)2	P(30-K26-27)1	0,520	9,81	12,22	0,77	10	570,56	4296,32	1000,00	67,62	0,010	4,60	0,84723	975	0,01	8,37	6248,48	6,25	0,69
P(30-K26-27)1	P(30-K26-27)2	0,170	9,98	12,48	0,76	10	564,43	4302,65	996,89	25,57	0,010	5,16	0,82963	975	0,01	8,86	6617,90	6,62	0,65
P(30-K26-27)2	P(30-26)	0,490	10,47	12,58	0,75	10	562,15	4438,77	995,57	73,91	0,010	5,39	0,83254	975	0,01	9,06	6763,79	6,76	0,66
P(30-26)	P(30-25)	0,170	10,64	12,84	0,75	10	556,51	4469,87	991,59	45,61	0,010	6,50	0,80592	975	0,01	9,95	7427,66	7,43	0,60
P(30-25)	P(30-24)	0,720	11,36	12,96	0,76	10	553,83	4767,36	988,51	64,94	0,010	4,54	0,88310	975	0,01	8,31	6207,60	6,21	0,77
P(30-24)	P(QS-24)2	0,240	11,60	13,13	0,76	10	550,14	4841,26	985,56	28,53	0,010	3,80	0,91834	1200	0,01	8,74	9880,03	9,88	0,49
P(QS-24)2	P(QS-K24-23)	0,000	11,60	13,22	0,76	10	548,24	4824,54	985,10	28,86	0,010	3,80	0,91715	1200	0,01	8,74	9880,03	9,88	0,49
COLECTOR CENTRAL																			
P(QS - 29)L1	P(QS - 28)L3	0,073	0,07	8,00	0,90	10	698,05	45,55	998,52	75,74	0,010	9,80	0,13364	250	0,01	4,93	242,01	0,24	0,19
P(QS - 28)L3	P(QS - 27)L5	0,147	0,22	8,57	0,90	10	676,91	133,60	991,49	58,37	0,010	9,90	0,19969	250	0,01	4,96	243,24	0,24	0,55
P(QS - 27)L5	P(QS - 27)L4	0,000	0,22	8,90	0,90	10	665,04	131,26	987,47	73,67	0,010	6,00	0,21790	300	0,01	4,36	307,93	0,31	0,43
P(QS - 29)L2	P(QS - 28)L1	0,074	0,07	8,00	0,90	10	698,05	46,76	1003,20	50,82	0,010	2,99	0,16861	250	0,01	2,72	133,68	0,13	0,35
P(QS - 28)L1	P(QS - 28)L2	0,000	0,07	8,51	0,90	10	679,12	45,49	1001,51	32,97	0,010	3,00	0,16677	350	0,01	3,41	328,44	0,33	0,14
P(QS - 28)L2	P(QS - 27)L1	0,072	0,15	8,86	0,90	10	666,39	87,61	1000,41	27,06	0,010	3,03	0,21283	250	0,01	2,74	134,57	0,13	0,65
P(QS - 27)L1	P(QS - 27)L2	0,000	0,15	9,09	0,90	10	658,62	86,59	999,51	43,65	0,010	1,17	0,25329	350	0,01	2,13	205,11	0,21	0,42
P(QS - 27)L2	P(BB- 27)L	0,613	0,76	9,41	0,90	10	648,29	442,66	999,00	54,83	0,010	13,50	0,29525	350	0,01	7,24	696,73	0,70	0,64
P(QS-27)L3	P(BB- 27)L	0,144	0,14	8,00	0,90	10	698,05	90,66	992,21	40,67	0,010	3,00	0,21598	350	0,01	3,41	328,44	0,33	0,28
P(BB- 27)L	P(QS - 27)L4	0,000	0,90	9,61	0,90	10	641,83	521,60	991,68	22,58	0,010	10,01	0,33211	500	0,01	7,91	1553,06	1,55	0,34
P(22 - 26)L	P(QS - 27)L4	0,104	0,10	8,00	0,90	10	698,05	65,53	992,06	48,78	0,010	13,86	0,14353	250	0,01	5,86	287,81	0,29	0,23
P(QS - 27)L4	P(QS - 26)L1	0,209	1,48	9,67	0,90	10	639,95	850,44	985,30	63,13	0,010	1,00	0,61443	700	0,01	3,13	1204,05	1,20	0,71
P(QS - 26)L1	P(QS - 26)L3	0,119	1,60	10,10	0,90	10	626,73	899,71	987,54	62,00	0,010	1,00	0,62754	700	0,01	3,13	1204,05	1,20	0,75
P(QS - 26)L4	P(QS - 26)L3	0,046	0,05	8,00	0,90	10	698,05	28,71	994,31	18,27	0,010	2,03	0,15100	200	0,01	1,93	60,75	0,06	0,47
P(QS - 26)L2	P(QS - 26)L3	0,047	0,05	8,00	0,90	10	698,05	29,34	994,00	18,72	0,010	1,98	0,15294	200	0,01	1,91	60,00	0,06	0,49
P(QS - 26)L3	P(QS - 25)	0,000	1,69	10,52	0,90	10	614,53	933,31	990,92	66,65	0,010	0,90	0,64892	700	0,01	2,97	1142,26	1,14	0,82
P(QS - 25)	P(QS-K24-23)	0,114	1,80	10,97	0,90	10	602,20	976,36	990,50	114,39	0,010	0,90	0,65999	700	0,01	2,97	1142,26	1,14	0,85

Tabla de Cálculo de parámetros hidráulicos del nuevo Diseño

TRAMO			V/Vo	D/Do	teta	R	Y REAL	V REAL	D REAL	Froude	FUERZA TRACTIVA $\tau_{>=0,15}$ Kg/m ²	CAIDA DEL TRAMO	V ² /2g	ENERGIA ESPECIFICA	Ø	Yc	AreaC	Vc	ENTRADA SUMERGIDA	Hc	He	K	Hw	Cota Rasante Pozo Entrada	Cota Rasante Pozo Salida	Cota Batea Pozo Entrada	Cota Batea Pozo Salida	Cota Clave Pozo Entrada	Cota Clave Pozo Salida		
DE	A																													m	M
COLECTOR NORTE																															
P(QS-30)	P(QS-29)	0,62	0,92	0,94	3,606	506	1114,20	8,26639	1692,00	2,03	20,2348	3,99	3,48284	1117,683	3,61	1,11	3,28	7,00	NO SUMERGIDA	3,61	0,00	1,50	5,41	1006,44	1003,36	1000,00	996,01	1001,80	997,81		
P(QS-29)	P(QS-28)1	0,67	0,94	1,03	3,835	525	1206,00	8,51032	1848,60	2,00	21,0012	3,38	3,69141	1209,691	3,84	1,21	3,62	6,34	NO SUMERGIDA	3,26	0,00	1,50	4,88	1003,36	1000,60	996,01	992,63	997,81	994,43		
P(QS-28)1	P(QS-K28-27)	0,68	0,94	1,03	3,857	527	1216,80	8,51032	1848,60	2,00	21,0604	1,53	3,69141	1220,491	3,86	1,21	3,66	6,29	NO SUMERGIDA	3,23	0,00	1,50	4,85	1000,60	1000,32	992,63	991,10	994,43	992,90		
P(QS-K28-27)	P(22-27)	0,63	0,92	0,97	3,647	510	1137,60	9,23921	1738,80	2,24	24,9771	2,83	4,35082	1141,951	3,65	1,12	3,35	7,60	NO SUMERGIDA	4,07	0,00	1,50	6,11	1000,32	992,50	991,10	988,27	992,90	990,07		
P(22-27)	P(22-26)	0,65	0,93	1,00	3,751	576	1302,00	7,29018	1990,00	1,65	14,9837	1,41	2,70880	1304,709	3,75	1,30	4,32	5,68	NO SUMERGIDA	2,94	0,00	1,50	4,41	992,50	995,76	988,27	986,86	990,27	988,86		
P(22-26)	P(22-24-26)	0,47	0,85	0,80	3,001	572	1123,20	8,01841	1915,20	1,85	17,1625	0,76	3,27701	1126,477	3	1,12	4,12	10,40	NO SUMERGIDA	6,63	0,00	1,50	9,95	995,76	995,00	986,86	986,10	989,26	988,50		
P(22-24-26)	P(24-26)	0,75	0,97	1,15	4,166	542	1346,40	7,59705	2068,20	1,69	16,2685	1,03	2,94165	1349,342	4,17	1,34	4,07	4,90	NO SUMERGIDA	2,56	0,00	1,50	3,84	995,00	995,04	986,10	985,07	987,90	986,87		
P(24-26)	P(28-26)	0,76	0,98	1,15	4,212	544	1359,00	7,62834	2068,20	1,69	16,3121	1,47	2,96593	1361,966	4,21	1,36	4,12	4,83	NO SUMERGIDA	2,55	0,00	1,50	3,82	995,04	994,00	985,07	983,60	986,87	985,40		
P(28-26)	P(28-25)	0,68	0,95	1,03	3,878	528	1229,40	8,54646	1848,60	2,01	21,1178	3,48	3,72283	1233,123	3,88	1,22	3,69	6,24	NO SUMERGIDA	3,21	0,00	1,50	4,81	994,00	990,39	983,60	980,12	985,40	981,92		
P(28-25)	P(28-K24-25)	0,77	0,98	1,15	4,259	545	1382,40	7,65182	2068,20	1,70	16,3494	1,81	2,98421	1385,384	4,26	1,38	4,18	4,77	NO SUMERGIDA	2,53	0,00	1,50	3,80	990,39	987,86	980,12	978,31	981,92	980,11		
P(28-K24-25)	P(28-24)	0,77	0,98	1,15	4,259	545	1382,40	7,65182	2068,20	1,70	16,3494	1,04	2,98421	1385,384	4,26	1,38	4,18	4,77	NO SUMERGIDA	2,53	0,00	1,50	3,80	987,86	986,43	978,31	977,27	980,11	979,07		
P(28-24)	P(QS-24)	0,64	0,93	0,97	3,709	544	1223,60	8,69155	1835,40	2,05	21,7538	1,99	3,85030	1227,45	3,71	1,22	3,83	6,93	NO SUMERGIDA	3,66	0,00	1,50	5,49	986,43	985,53	977,27	975,28	979,17	977,18		
P(QS-24)	P(QS-K24-23)	0,64	0,92	0,97	3,688	570	1276,00	8,00971	1932,00	1,84	18,2555	0,60	3,26990	1279,27	3,69	1,27	4,21	6,47	NO SUMERGIDA	3,40	0,00	1,50	5,11	985,53	985,10	975,28	974,68	977,28	976,68		
P(QS-K24-23)	P(QS-23)	0,64	0,92	0,97	3,688	570	1276,00	7,98009	1932,00	1,83	18,1207	2,60	3,24576	1279,246	3,69	1,27	4,21	6,45	NO SUMERGIDA	3,39	0,00	1,50	5,08	985,10	981,48	974,68	972,08	976,68	974,08		
COLECTOR SUR																															
P(30-27)1	P(30-27)2	0,79	0,99	1,20	4,35	296	769,28	6,41	1171,95	1,89	8,234	0,85	2,09745	771,3725	4,35	0,77	1,26	3,86	NO SUMERGIDA	1,53	0,00	1,20	1,83	1000,81	1000,00	995,17	994,32	996,15	995,29		
P(30-27)2	P(30-K26-27)1	0,68	0,94	1,03	3,86	285	659,10	7,88	1001,33	2,52	13,119	3,11	3,16777	662,2678	3,86	0,66	1,07	5,83	NO SUMERGIDA	2,39	0,00	1,20	2,87	1000,00	996,89	994,32	991,21	995,29	992,18		
P(30-K26-27)1	P(30-K26-27)2	0,66	0,93	1,00	3,77	282	640,58	8,27	970,13	2,68	14,543	1,32	3,48583	644,0608	3,77	0,64	1,04	6,38	NO SUMERGIDA	2,72	0,00	1,20	3,26	996,89	995,57	991,21	989,89	992,18	990,86		
P(30-K26-27)2	P(30-26)	0,66	0,93	1,00	3,77	282	640,58	8,45	970,13	2,74	15,191	3,98	3,64121	644,2162	3,77	0,64	1,04	6,53	NO SUMERGIDA	2,81	0,00	1,20	3,37	995,57	991,59	989,89	985,90	990,86	986,88		
P(30-26)	P(30-25)	0,63	0,92	0,94	3,65	276	609,38	9,14	916,50	3,05	17,947	2,96	4,26028	613,6353	3,65	0,61	0,98	7,57	NO SUMERGIDA	3,53	0,00	1,20	4,23	991,59	988,51	985,90	982,94	986,88	983,91		
P(30-25)	P(30-24)	0,73	0,96	1,10	4,08	292	709,80	8,01	1075,43	2,47	13,249	2,95	3,26740	713,0674	4,08	0,71	1,16	5,35	NO SUMERGIDA	2,17	0,00	1,20	2,60	988,51	985,56	982,94	979,99	983,91	980,97		
P(30-24)	P(QS-24)2	0,56	0,89	0,87	3,36	320	666,00	7,74	1045,20	2,42	12,141	1,08	3,05338	669,0534	3,36	0,67	1,29	7,66	NO SUMERGIDA	3,66	0,00	1,30	4,76	985,56	985,10	979,99	978,91	981,19	980,11		
P(QS-24)2	P(QS-K24-23)	0,55	0,88	0,87	3,32	316	658,80	7,70	1045,20	2,40	12,015	1,10	3,01901	661,819	3,32	0,65	1,26	7,84	NO SUMERGIDA	3,79	0,00	1,30	4,92	985,10	985,10	978,91	977,81	980,11	979,01		
COLECTOR CENTRAL																															
P(QS - 29)L1	P(QS - 28)L3	0,33	0,75	0,67	2,43	45,6	81,25	3,68	166,25	2,88	4,470	7,42	0,69131	81,94131	2,43	0,08	0,03	8,75	NO SUMERGIDA	3,98	0,00	1,20	4,78	998,52	991,49	995,52	988,10	995,77	988,35		
P(QS - 28)L3	P(QS - 27)L5	0,59	0,90	0,92	3,48	68,5	146,75	4,46	228,75	2,98	6,783	5,78	1,01600	147,766	3,48	0,15	0,06	4,08	NO SUMERGIDA	0,99	0,00	1,20	1,19	991,49	987,47	988,10	982,32	988,35	982,57		
P(QS - 27)L5	P(QS - 27)L4	0,51	0,86	0,83	3,16	75,5	152,70	3,75	249,90	2,40	4,528	4,42	0,71703	153,417	3,16	0,15	0,07	4,30	NO SUMERGIDA	1,09	0,00	1,20	1,31	987,47	985,30	982,32	980,88	982,62	981,18		
P(QS - 29)L2	P(QS - 28)L1	0,45	0,84	0,80	2,94	58,3	113,25	2,29	199,50	1,64	1,742	1,52	0,26671	113,5167	2,94	0,11	0,04	3,12	NO SUMERGIDA	0,61	0,00	1,20	0,73	1003,20	1001,51	1001,72	1000,20	1001,97	1000,45		
P(QS - 28)L1	P(QS - 28)L2	0,28	0,71	0,62	2,21	55,7	96,25	2,41	218,05	1,65	1,671	0,99	0,29690	96,5469	2,21	0,10	0,04	7,63	NO SUMERGIDA	3,06	0,00	1,20	3,67	1001,51	1000,41	1000,20	999,21	1000,55	999,56		
P(QS - 28)L2	P(QS - 27)L1	0,66	0,93	1,00	3,77	72,3	164,25	2,56	248,75	1,64	2,190	0,82	0,33344	164,5834	3,77	0,16	0,07	1,97	NO SUMERGIDA	0,36	0,00	1,20	0,43	1000,41	999,51	999,21	998,39	999,46	998,64		
P(QS - 27)L1	P(QS - 27)L2	0,51	0,86	0,83	3,16	88,1	178,15	1,84	291,55	1,09	1,030	0,51	0,17173	178,3217	3,16	0,18	0,10	2,11	NO SUMERGIDA	0,40	0,00	1,20	0,48	999,51	999,00	998,39	997,88	998,74	998,23		
P(QS - 27)L2	P(BB - 27)L	0,64	0,93	0,97	3,71	100	225,40	6,72	338,10	3,69	13,525	7,40	2,30184	227,7018	3,71	0,22	0,13	5,36	NO SUMERGIDA	1,69	0,00	1,20	2,02	999,00	991,68	997,88	990,48	998,23	990,83		
P(QS-27)L3	P(BB-27)L	0,40	0,81	0,74	2,74	75	140,35	2,75	258,65	1,73	2,249	1,22	0,38587	140,7359	2,74	0,14	0,07	4,57	NO SUMERGIDA	1,20	0,00	1,20	1,45	992,21	991,68	990,73	989,51	991,08	989,86		
P(BB-27)L	P(QS - 27)L4	0,45	0,83	0,78	2,92	116	223,00	6,59	391,50	3,36	11,576	2,26	2,21261	225,2126	2,92	0,22	0,17	9,19	NO SUMERGIDA	4,53	0,00	1,20	5,44	991,68	985,30	989,51	987,25	990,01	987,75		
P(22 - 26)L	P(QS - 27)L4	0,36	0,78	0,70	2,57	49,4	90,25	4,56	175,00	3,48	6,853	6,76	1,06055	91,31055	2,57	0,09	0,03	9,05	NO SUMERGIDA	4,26	0,00	1,20	5,11	992,06	985,30	990,58	983,82	990,83	984,07		
P(QS - 27)L4	P(QS - 26)L1	0,69	0,95	1,03	3,90	206	482,30	2,96	718,90	1,11	2,059	0,63	0,44648	482,7465	3,9	0,48	0,56	2,14	NO SUMERGIDA	0,71	0,00	1,30	0,93	985,30	987,54	980,88	980,25	981,58	980,95		
P(QS - 26)L1	P(QS - 26)L3	0,72	0,96	1,06	4,03	209	500,50	3,00	744,10	1,11	2,087	0,62																			

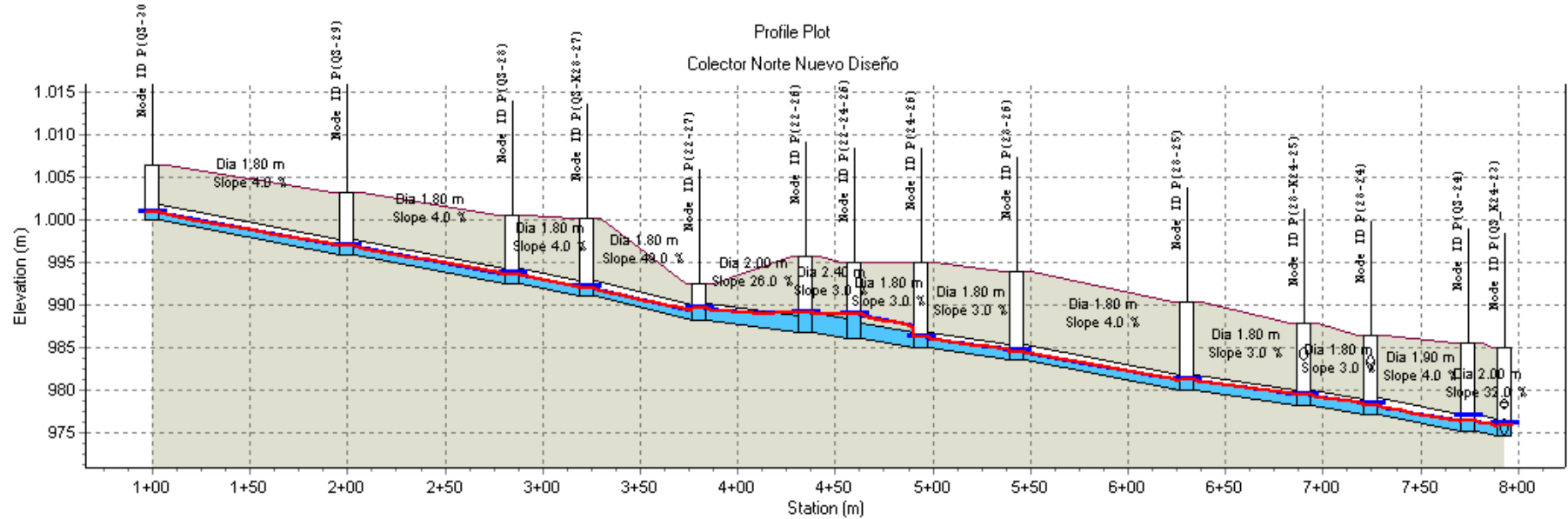
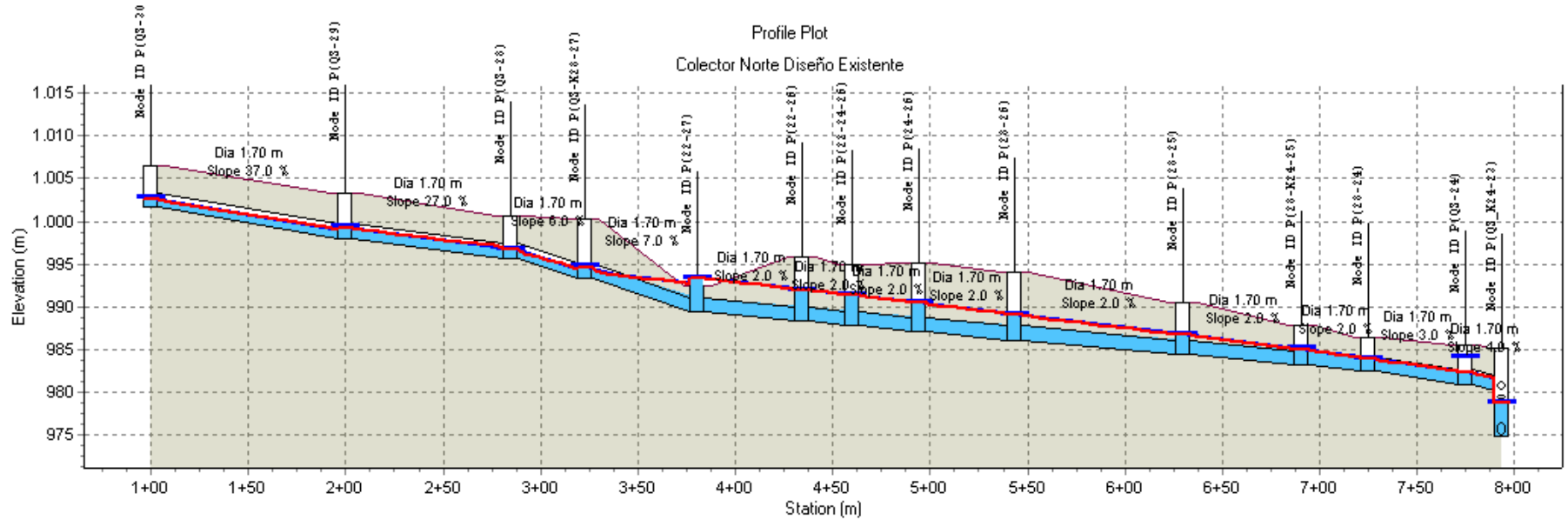
ANEXO C Tabla del Reporte de Autodesk Storm And Sanitary Analysis en la simulación del evento máximo de lluvia para el nuevo diseño.

Tabla del Reporte de Autodesk Storm And Sanitary Analysis en la simulación del evento máximo de lluvia para el nuevo diseño.

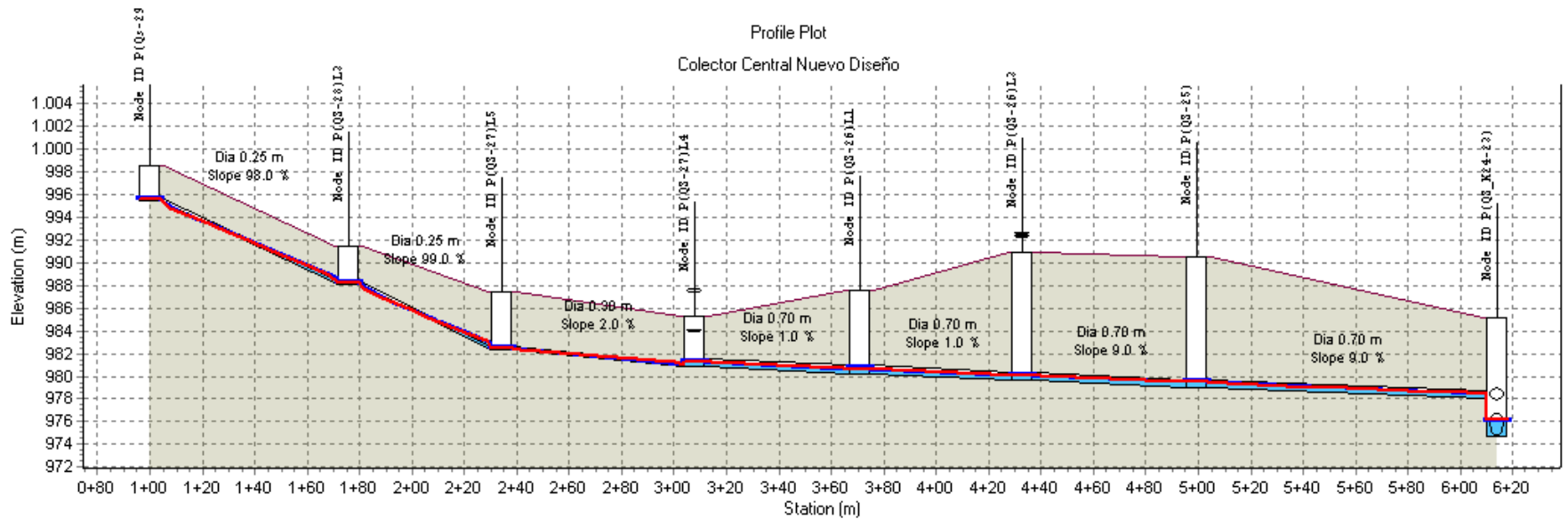
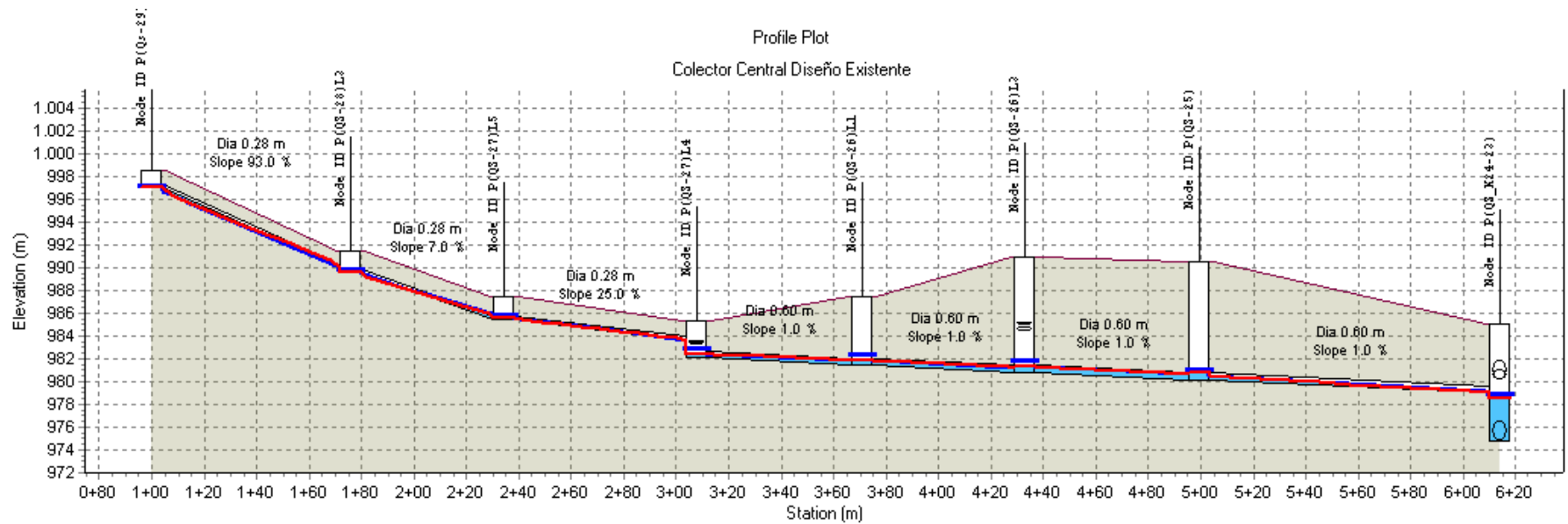
TRAMO		Long	Batea Entrada	Batea Salida	Precip Total	Pend	Pipe	Diam	N	Q pico	T Pico	Vel Max	Q	q/Q	y/d	Tiemp Recar	Max prof flujo	Condición Reportada
DE	A	m	m	m	M	%		m		Lps	d/h/m	m/s	lps			min	M	
P(QS-29)L1	P(QS-28)L3	75,74	995,52	988,10	7,42	9,80	CIRCULAR	0,250	0,010	044,53	0 00:08	2,39	241,99	0,18	0,41	-	0,10	Calculated
P(QS-29)L2	P(QS-28)L1	50,82	1.001,72	1.000,20	1,52	2,99	CIRCULAR	0,250	0,010	045,14	0 00:08	2,64	133,71	0,34	0,38	-	0,09	Calculated
P(QS-28)L1	P(QS-28)L2	32,97	1.000,20	999,21	0,99	3,00	CIRCULAR	0,350	0,010	044,83	0 00:08	1,64	328,61	0,14	0,33	-	0,11	Calculated
P(QS-28)L2	P(QS-27)L1	27,06	999,21	998,39	0,82	3,03	CIRCULAR	0,250	0,010	084,40	0 00:09	2,75	134,58	0,63	0,60	-	0,15	Calculated
P(QS-27)L1	P(QS-27)L2	43,65	998,39	997,88	0,51	1,17	CIRCULAR	0,350	0,010	084,07	0 00:09	1,73	204,98	0,41	0,51	-	0,18	Calculated
P(QS-27)L2	P(BB-27)L	54,83	997,88	990,48	7,40	13,50	CIRCULAR	0,350	0,010	431,98	0 00:09	7,63	696,68	0,62	0,57	-	0,20	Calculated
P(QS-27)L3	P(BB-27)L	40,67	990,73	989,51	1,22	3,00	CIRCULAR	0,350	0,010	085,50	0 00:08	2,08	328,45	0,26	0,44	-	0,16	Calculated
P(BB-27)L	P(QS-27)L4	22,58	989,51	987,25	2,26	10,01	CIRCULAR	0,500	0,010	505,19	0 00:09	7,12	1.553,06	0,33	0,39	-	0,20	Calculated
P(22-26)L	P(QS-27)L4	48,78	990,58	983,82	6,76	13,86	CIRCULAR	0,250	0,010	060,76	0 00:08	4,64	287,81	0,21	0,31	-	0,08	Calculated
P(QS-28)L3	P(QS-27)L5	58,37	988,10	982,32	5,78	9,90	CIRCULAR	0,250	0,010	132,13	0 00:08	3,93	243,29	0,54	0,65	-	0,16	Calculated
P(QS-27)L5	P(QS-27)L4	73,67	982,32	980,88	1,44	1,95	CIRCULAR	0,300	0,010	131,01	0 00:09	2,11	175,77	0,75	0,82	-	0,25	Calculated
P(QS-27)L4	P(QS-26)L1	63,13	980,88	980,25	0,63	1,00	CIRCULAR	0,700	0,010	796,41	0 00:09	3,22	1.202,88	0,66	0,61	-	0,43	Calculated
P(QS-26)L1	P(QS-26)L3	62,00	980,25	979,63	0,62	1,00	CIRCULAR	0,700	0,010	863,46	0 00:10	3,24	1.204,12	0,72	0,66	-	0,46	Calculated
P(QS-26)L3	P(QS-25)	66,65	979,63	979,03	0,60	0,90	CIRCULAR	0,700	0,010	911,55	0 00:10	3,22	1.142,47	0,80	0,69	-	0,48	Calculated
P(QS-25)	P(QS_K24-23)	114,39	979,03	978,00	1,03	0,90	CIRCULAR	0,700	0,010	965,87	0 00:10	3,35	1.142,60	0,85	0,71	-	0,49	Calculated
P(QS-26)L2	P(QS-26)L3	18,72	992,52	992,15	0,37	1,98	CIRCULAR	0,200	0,010	028,62	0 00:08	1,89	059,95	0,48	0,49	-	0,10	Calculated
P(QS-26)L4	P(QS-26)L3	18,27	992,83	992,46	0,37	2,03	CIRCULAR	0,200	0,010	028,02	0 00:08	1,90	060,68	0,46	0,48	-	0,10	Calculated
P(QS-30)	P(QS-29)	99,81	1.000,00	996,01	3,99	4,00	CIRCULAR	1,800	0,013	13.479,92	0 00:12	8,85	22.983,99	0,59	0,58	-	1,04	Calculated
P(QS-29)	P(QS-28)	84,56	996,01	992,63	3,38	4,00	CIRCULAR	1,800	0,013	15.450,37	0 00:13	9,44	22.982,74	0,67	0,62	-	1,11	Calculated
P(QS-28)	P(QS-K28-27)	38,21	992,63	991,10	1,53	4,00	CIRCULAR	1,800	0,013	16.002,99	0 00:13	10,10	23.002,93	0,70	0,60	-	1,08	Calculated
P(QS-K28-27)	P(22-27)	57,76	991,10	988,27	2,83	4,90	CIRCULAR	1,800	0,013	16.048,24	0 00:13	9,06	25.445,19	0,63	0,67	-	1,20	Calculated
P(22-27)	P(22-26)	54,18	988,27	986,86	1,41	2,60	CIRCULAR	2,000	0,013	15.444,78	0 00:13	7,23	24.560,44	0,63	0,85	-	1,70	Calculated
P(22-26)	P(22-24-26)	25,31	986,86	986,10	0,76	3,00	CIRCULAR	2,400	0,013	14.895,19	0 00:14	4,37	42.899,94	0,35	0,99	-	2,37	Calculated
P(28-K24-25)	P(28-24)	34,34	978,31	977,27	1,04	3,03	CIRCULAR	1,800	0,013	16.319,03	0 00:15	9,28	20.005,18	0,82	0,67	-	1,20	Calculated
P(24-26)	P(28-26)	48,89	985,07	983,60	1,47	3,01	CIRCULAR	1,800	0,013	15.355,82	0 00:14	9,11	19.933,09	0,77	0,63	-	1,14	Calculated
P(28-26)	P(28-25)	87,01	983,60	980,12	3,48	4,00	CIRCULAR	1,800	0,013	15.435,09	0 00:15	8,93	22.989,58	0,67	0,65	-	1,16	Calculated
P(28-25)	P(28-K24-25)	60,40	980,12	978,31	1,81	3,00	CIRCULAR	1,800	0,013	16.085,88	0 00:15	8,68	19.899,71	0,81	0,69	-	1,25	Calculated
P(28-24)	P(QS-24)	49,77	977,27	975,28	1,99	4,00	CIRCULAR	1,900	0,013	17.200,49	0 00:15	9,46	26.551,25	0,65	0,70	-	1,32	Calculated
P(QS-24)	P(QS_K24-23)	18,78	975,28	974,68	0,60	3,19	CIRCULAR	2,000	0,013	18.307,44	0 00:16	8,23	27.212,84	0,67	0,73	-	1,45	Calculated
P(30-27)1	P(30-27)2	30,67	995,17	994,32	0,85	2,77	CIRCULAR	0,970	0,010	4.127,04	0 00:12	7,81	4.850,36	0,85	0,67	-	0,65	Calculated
P(30-27)2	P(30-K26-27)1	67,62	994,32	991,21	3,11	4,60	CIRCULAR	0,970	0,010	4.361,32	0 00:12	9,03	6.248,33	0,70	0,62	-	0,61	Calculated
P(30-K26-27)1	P(30-K26-27)2	25,57	991,21	989,89	1,32	5,16	CIRCULAR	0,970	0,010	4.473,93	0 00:13	9,31	6.619,78	0,68	0,62	-	0,60	Calculated
P(30-K26-27)2	P(30-26)	73,91	989,89	985,90	3,99	5,40	CIRCULAR	0,970	0,010	4.687,82	0 00:13	10,05	6.769,50	0,69	0,60	-	0,59	Calculated
P(30-26)	P(30-25)	45,61	985,90	982,94	2,96	6,49	CIRCULAR	0,970	0,010	4.752,92	0 00:13	9,44	7.422,28	0,64	0,64	-	0,62	Calculated
P(30-25)	P(30-24)	64,94	982,94	979,99	2,95	4,54	CIRCULAR	0,970	0,010	5.063,60	0 00:13	9,49	6.209,78	0,82	0,68	-	0,66	Calculated
P(QS-24)2	P(QS_K24-23)	28,86	978,91	977,81	1,10	3,81	CIRCULAR	1,200	0,010	5.261,65	0 00:14	9,41	9.895,57	0,53	0,53	-	0,63	Calculated
P(30-24)	P(QS-24)2	28,53	979,99	978,91	1,08	3,79	CIRCULAR	1,200	0,010	5.276,08	0 00:13	8,78	9.861,74	0,54	0,53	-	0,64	Calculated
P(QS_K24-23)	Out-03	81,71	974,68	972,08	2,60	3,18	CIRCULAR	2,000	0,013	23.035,05	0 00:16	9,69	27.157,83	0,85	0,71	-	1,43	Calculated
P(22-24-26)	P(24-26)	34,34	986,10	985,07	1,03	3,00	CIRCULAR	1,800	0,013	14.990,87	0 00:14	6,63	19.908,77	0,75	0,83	-	1,50	Calculated

ANEXO D Perfiles de los colectores: Norte, Central y Sur.

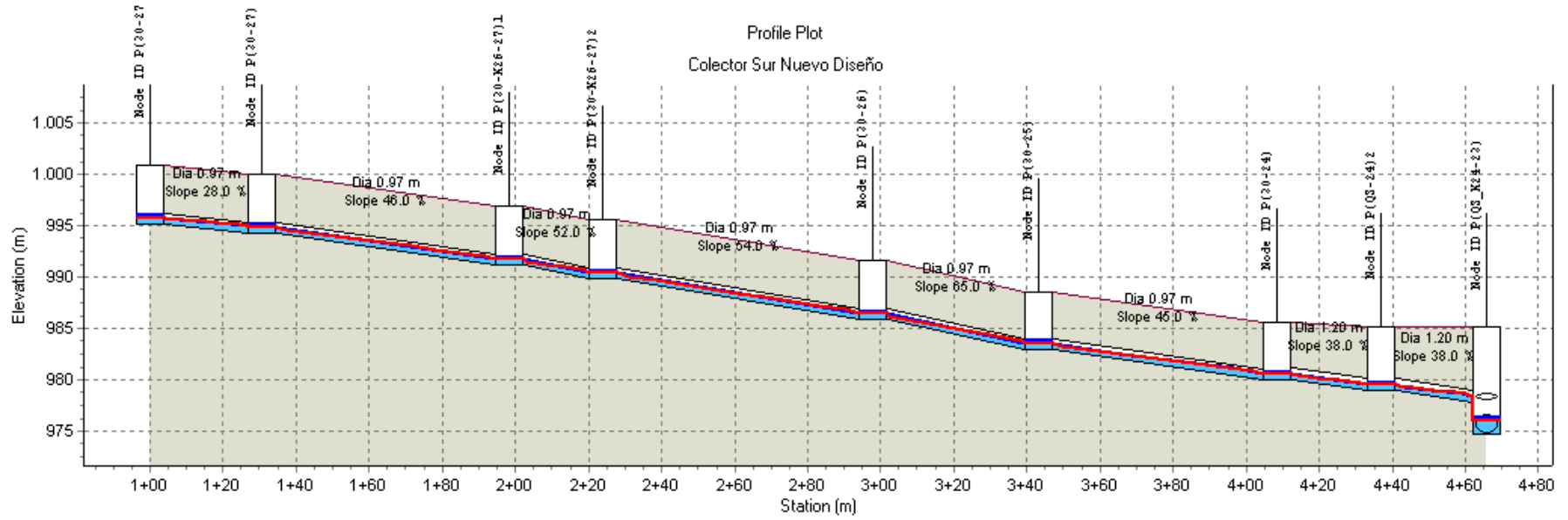
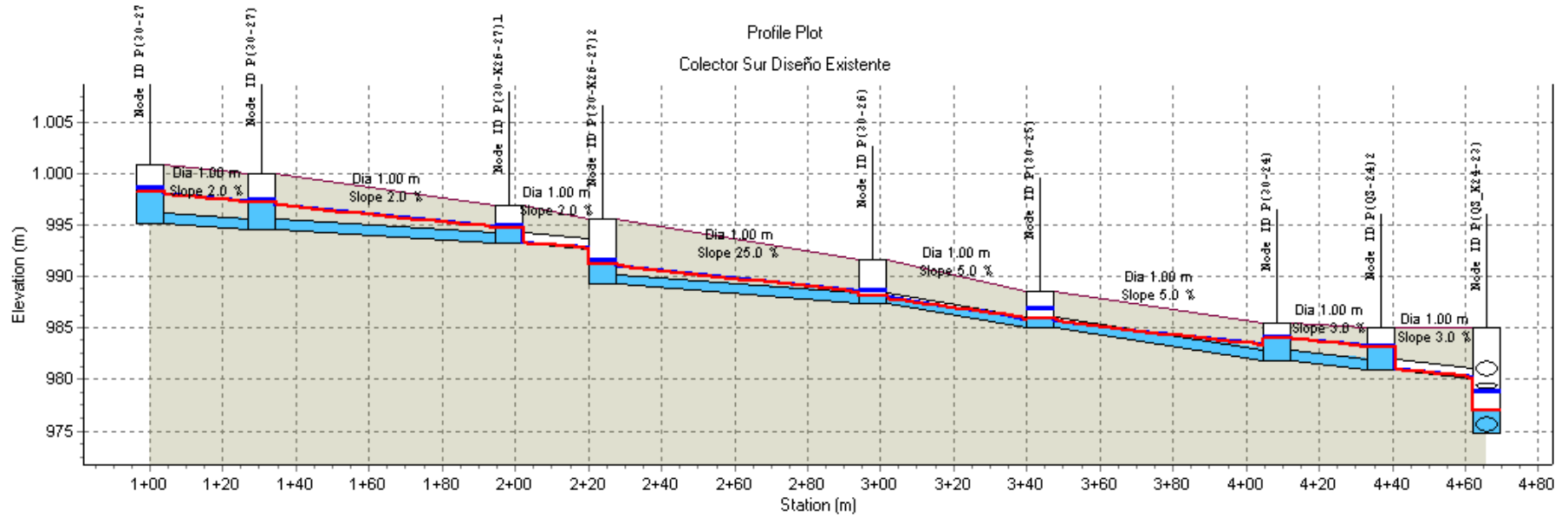
Perfiles del colector Norte



Perfiles del colector Central






Perfiles del colector Sur






ANEXO E Cálculo de los costos de los
costos de construcción de los diseños
analizados.

Cálculo de los costos de construcción del Diseño Existente

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN Mesón de Los Búcaros [Diseño Existente]		 			
1. MOVIMIENTO DE TIERRA					
		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1.2	Excavación Mecánica en material Común (Incluye Cargue, Transporte y Disposición Final)				
1.2.1	Colector Norte	m3	8610,14	\$ 16.239,69	\$ 139.825.981,68
1.2.2	Colector Sur	m3	1991,38	\$ 16.239,69	\$ 32.339.345,04
1.2.3	Colector Central	m3	1277,86	\$ 16.239,69	\$ 20.752.059,55
				SUBTOTAL	\$ 192.917.386,27
		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1.3	Relleno con material seleccionado de la excavación y Receo, compactado manual en capas de 10 cm				
1.3.1	Colector Norte	m3	8230,84	\$ 22.568,67	\$ 185.759.086,12
1.3.2	Colector Sur	m3	1732,89	\$ 22.568,67	\$ 39.109.096,32
1.3.3	Colector Central	m3	1212,74	\$ 22.568,67	\$ 27.369.959,25
				SUBTOTAL	\$ 252.238.141,69
				TOTAL	\$ 445.155.527,96
2. REDES DE ALCANTARILLADO PLUVIAL					
		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Colector Norte					
2.1	Tubería de concreto Φ 1,7 m	ML	775,47	\$ 1.033.320,00	\$ 801.308.660,40
Colector Sur					
2.2	Tubería de concreto Φ 1,0 m	ML	365,71	\$ 505.717,00	\$ 184.945.764,07
Colector Central					
2.3	Tubería de PVC Φ 300 mm	ML	633,55	\$ 26.298,17	\$ 16.661.195,23
2.4	Tubería de PVC Φ 600 mm	ML	306,17	\$ 43.952,17	\$ 13.456.835,89
				SUBTOTAL	\$ 30.118.031,12
				TOTAL	\$ 1.016.372.455,59
3. POZOS SEPTICOS					
3.1	Colector Norte				\$ 12.158.682,24
3.2	Colector Sur				\$ 6.922.295,72
3.3	Colector Central				\$ 14.404.100,88
				TOTAL	\$ 33.485.078,84
4. SUMIDEROS					
		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
4.2	Sumidero SL-200	Un	19,00	\$ 273.914,91	\$ 5.204.383,35
4.3	Sumidero SL-400	Un	14,00	\$ 469.696,61	\$ 6.575.752,59
4.4	Sumidero SL-600	Un	3,00	\$ 774.478,31	\$ 2.323.434,94
				TOTAL	\$ 14.103.570,88
TOTAL				\$	1.509.116.633,27

Cálculo de los costos de construcción del Nuevo Diseño

PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN Mesón de Los Búcaros [Nuevo Diseño]		 			
1. MOVIMIENTO DE TIERRA					
		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1.2	Excavación Mecánica en material Común (Incluye Cargue, Transporte y Disposición Final)				
1.2.1	Colector Norte	m3	12976,07	\$ 16.239,69	\$ 210.727.321,27
1.2.2	Colector Sur	m3	2420,83	\$ 16.239,69	\$ 39.313.506,58
1.2.3	Colector Central	m3	2400,73	\$ 16.239,69	\$ 38.987.065,07
				SUBTOTAL	\$ 289.027.892,92
		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1.3	Relleno con material seleccionado de la excavación y Recebo, compactado manual en capas de 10 cm				
1.3.1	Colector Norte	m3	12431,96	\$ 22.568,67	\$ 280.572.835,11
1.3.2	Colector Sur	m3	2097,85	\$ 22.568,67	\$ 47.345.588,32
1.3.3	Colector Central	m3	2331,09	\$ 22.568,67	\$ 52.609.524,93
				SUBTOTAL	\$ 380.527.948,36
				TOTAL	\$ 669.555.841,28
2. REDES DE ALCANTARILLADO PLUVIAL					
3.1	Colector Norte				\$ 886.205.868,03
3.2	Colector Sur				\$ 43.062.798,49
3.3	Colector Central				\$ 23.207.234,57
				TOTAL	\$ 952.475.901,09
3. POZOS SEPTICOS					
3.1	Colector Norte				\$ 12.366.962,81
3.2	Colector Sur				\$ 6.982.811,05
3.3	Colector Central				\$ 14.416.826,48
				TOTAL	\$ 33.766.600,34
4. SUMIDEROS					
		UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
4.2	Sumidero SL-200	Un	19,00	\$ 273.914,91	\$ 5.204.383,35
4.3	Sumidero SL-400	Un	14,00	\$ 469.696,61	\$ 6.575.752,59
4.4	Sumidero SL-600	Un	3,00	\$ 774.478,31	\$ 2.323.434,94
				TOTAL	\$ 14.103.570,88
TOTAL		\$	1.669.901.913,59		