

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROYECTO FINAL DE GRADO**

*“Diseño de una solución del sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo”*

**Elaborado por:**

Liz Verónica Brítez Urán  
Alexis Hernán Toledo Franco

**Tutor:**

Prof. Ing. Oscar Martínez Patri

**Co Tutor:**

Prof. Ing. Gustavo Velázquez Benítez  
Coronel Oviedo - Paraguay

**2024**



Sede Coronel Oviedo

Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



Sede Coronel Oviedo

Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

### **DERECHO DE AUTOR**

Quienes suscriben, Liz Veronica Britez Uran y Alexis Hernán Toledo Franco, autores del trabajo de investigación titulado **“Diseño de una solución del sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo”**, declaran que voluntariamente ceden a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los ..... días , del mes de ..... del 2024

.....  
Liz Britez

.....  
Alexis Toledo



Sede Coronel Oviedo

*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

---

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

---

## PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Civil, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: \_\_\_\_\_

ACTA N°: \_\_\_\_\_

FECHA : \_\_\_\_\_

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.

-----  
Prof. Ing.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CAAGUAZÚ



Sede Coronel Oviedo

*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

---

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

---

## DEDICATORIA

A mi madre Sabina Urán y a mi abuela Teresa Roa.

**Liz Veronica Britez Urán**

A mis padres, Mario Toledo y Nelsy Franco.

**Alexis Hernán Toledo Franco**



Sede Coronel Oviedo

*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

---

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

---

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos la fortaleza y la sabiduría necesarias para alcanzar este importante logro en nuestras vidas.

A nuestras familias, por confiar en nosotros desde el inicio, por su incondicional apoyo emocional y por su paciencia a lo largo de todo este camino.

A nuestros amigos, quienes nos acompañaron en todo momento, compartiendo risas, consejos y los momentos de distracción que nos permitieron mantener el equilibrio mientras trabajábamos en este proyecto.

A nuestro tutor, el Prof. Ing. Oscar Martínez Patri y a nuestro co-tutor Prof. Ing. Gustavo Velázquez Benitez, por su disposición y guía, orientándonos de manera invaluable para el desarrollo de este proyecto.

A nuestros profesores y a la Facultad de Ciencias y Tecnologías, por su apoyo y formación a lo largo de este proceso.



Sede Coronel Oviedo

*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## RESUMEN

El presente Proyecto Final de Grado se centra en el Diseño de una solución del sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo.

Este trabajo aborda el diseño y la implementación de un sistema de drenaje eficiente para una zona específica, presentando como problema principal la gestión inadecuada de aguas pluviales que provoca inundaciones y afecta la infraestructura local. Para enfrentar esta problemática, se realizó un análisis de las características topográficas del área mediante levantamiento de datos vía Estación Total, lo cual permitió una comprensión detallada de las pendientes y flujos naturales del agua.

La determinación de la cuenca se efectuó identificando puntos de captación y trayectorias de flujo, considerando tanto el relieve natural como las intervenciones humanas que alteran el escurrimiento del agua. Para el dimensionamiento de alcantarillas y sumideros, se emplearon fórmulas hidráulicas estándar y simulaciones de comportamiento bajo condiciones de lluvias extremas, con el fin de calcular el tamaño y la capacidad óptima de los elementos del sistema. Los resultados confirman la efectividad del diseño propuesto para mitigar el riesgo de inundaciones y mejorar la gestión de aguas pluviales en la zona estudiada.

Las fórmulas hidráulicas estándar utilizadas, así como los cálculos de dimensionamiento y simulación del sistema se encuentran en los anexos del documento, sirviendo de guía detallada para la implementación del documento

### Palabras claves

- Hidráulica y Saneamiento
- Salud y bienestar
- Tiempo de concentración
- Hietograma
- Sumidero



Sede Coronel Oviedo

*Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.*

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

---

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

---

### **ABSTRACT**

The present Final Degree Project focuses on the design of a rainwater drainage solution for the area located between Nanawa, Vera Centurión, and San Justo streets in the city of Coronel Oviedo.

This work addresses the design and implementation of an efficient drainage system for a specific area, where the main problem is inadequate rainwater management that causes flooding and impacts local infrastructure. To address this issue, an analysis of the area's topographic characteristics was conducted through data collection using a Total Station, allowing a detailed understanding of slopes and natural water flows.

The watershed was determined by identifying collection points and flow paths, taking into account both the natural terrain and human interventions that alter water runoff. For the sizing of culverts and drains, standard hydraulic formulas and extreme rainfall condition simulations were used to calculate the optimal size and capacity of system elements. The results confirm the effectiveness of the proposed design in mitigating flood risk and improving rainwater management in the studied area.

The standard hydraulic formulas used, along with the sizing calculations and system simulations, are included in the document's annexes, providing a detailed guide for implementation.

**Keywords:**

- Hydraulics and Sanitation
- Health and Well-being
- Concentration time
- Hyetogram
- Inlets



Sede Coronel Oviedo

Creada por Ley Nº 3198 del 4 de mayo de 2007.

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
GENERALIDADES.....	1
1.1. Presentación del proyecto.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Planteamiento y formulación del Problema.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos.....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	6
2.1. Ubicación del proyecto.....	6
2.1.1. Situación actual de la zona.....	6
2.2. Características topográficas.....	7
2.3. Determinación de la cuenca.....	8
2.3.1. DEM.....	8
2.3.2. Uso de suelo.....	12
2.3.3. Número de curva.....	13
2.3.4. Tiempo de concentración.....	14
2.3.5. Curva IDF.....	15
2.3.6. Hietograma.....	16
2.3.7. Resultados de datos de cuenca.....	17
2.4. Dimensionamiento de alcantarillas.....	18
2.5. Dimensionamiento de sumideros.....	21
2.6. Registros.....	22
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>23</b>
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	23
3. Presupuesto.....	23
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>24</b>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
4.1. Conclusiones.....	24
4.2 Recomendaciones.....	25
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>26</b>
BIBLIOGRAFÍA.....	26



Sede Coronel Oviedo

Creada por Ley N° 3198 del 4 de mayo de 2007.

**FACULTAD DE CIENCIAS y TECNOLOGÍAS – F.C. y T.**

Coronel Oviedo – Paraguay

**MISIÓN:** Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

**VISIÓN:** Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Área de estudio.....	3
<b>Figura 2:</b> Ubicación del proyecto. Esc 1:1500.....	6
<b>Figuras 3 y 4:</b> Situación actual de la zona de estudio.....	7
<b>Figura 5:</b> Curvas de nivel del área de estudio Esc 1:1000.....	8
<b>Figura 6:</b> DEM ALOS-PALSAR en la zona de estudio.....	9
<b>Figura 7:</b> Subcuenca de estudio.....	10
<b>Figura 8:</b> Subcuenca sobre imagen satelital Google Earth.....	11
<b>Figura 9:</b> Zoom in de la zona de estudio (SC11 y SC12).....	12
<b>Figura 10:</b> Cobertura de uso de suelo de la cuenca.....	12
<b>Figura 11:</b> Valores de CN ponderados para cada subcuenca.....	13
<b>Figura 12:</b> Curva IDF - Estación de Villarrica (1969-2009).....	15
<b>Figura 13:</b> Hietograma de diseño para un TR 10 años.....	16
<b>Figura 14:</b> Hietograma para un TR 10 años insertado en HEC-HMS.....	16
<b>Figura 15:</b> Resultados de simulación en HEC - HMS.....	17
<b>Figura 16:</b> Esquema de modelación SWMM.....	18
<b>Figura 17:</b> Direcciones de flujo.....	19

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Longitudes y pendientes de sub tramos.....	7
<b>Tabla 2:</b> Porcentaje de uso de suelo de cada subcuenca.....	13
<b>Tabla 3:</b> Número de curva CN para cada subcuenca.....	14
<b>Tabla 4:</b> Tiempo de concentración para cada subcuenca.....	14
<b>Tabla 5:</b> Parámetros para la curva IDF de Villarrica.....	15
<b>Tabla 6:</b> Características de red simulador - Parte I.....	20
<b>Tabla 7:</b> Características de red simulador - Parte II.....	20
<b>Tabla 8:</b> Cálculo de sumideros.....	21
<b>Tabla 9:</b> Cómputo y presupuesto.....	23

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. Presentación del proyecto

La ciudad de Coronel Oviedo enfrenta importantes desafíos relacionados con su sistema de desagüe pluvial, especialmente en el área de la calle Nanawa y sus alrededores. Este sistema actual resulta insuficiente para satisfacer las necesidades de la zona, lo que provoca inundaciones, deterioro de calles y pavimento, así como pérdidas económicas para los comercios locales. La falta de una adecuada planificación de infraestructura ha derivado en complicaciones en el tránsito, afectaciones a la infraestructura urbana y riesgos para la salud pública debido a la proliferación de enfermedades.

Ante esta situación, se plantea la necesidad de implementar mejoras en el sistema de drenaje pluvial que permitan gestionar de manera eficiente las aguas pluviales, protegiendo la infraestructura y mitigando los riesgos de inundaciones que impactan directamente a residentes, comerciantes y la administración municipal. Un sistema mejorado no solo busca optimizar la movilidad y seguridad en la zona, sino también reducir los daños en la infraestructura vial y proteger la salud de los habitantes.

Este proyecto tiene como meta principal desarrollar un diseño integral del sistema de drenaje en la zona afectada. Para lograrlo, se procederá con una descripción detallada de las características topográficas, un análisis de datos hidrológicos e hidráulicos y la evaluación de alternativas viables para optimizar la recolección y evacuación de aguas pluviales, promoviendo así un entorno más seguro y saludable para la comunidad.

## **1.2. Antecedentes**

En el año 2023, Arturo Daniel Acosta Torres y José Antonio Cardozo Espinoza, alumnos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Del Caaguazu, elaboraron el Proyecto Final de Grado denominado “Estudio de solución a la problemática de inundaciones en la intersección del Arroyo San Luis con las calles Iturbe y Pedro Juan Caballero (Barrios San Isidro, Coronel Oviedo) ”, en el cual se abordó la problemática de la inundación en el punto de estudio durante los temporales. Mediante el levantamiento topográfico y modelación hidrológica, se obtuvo el caudal de diseño, posteriormente utilizado en el modelo hidrológico para dimensionar las estructuras propuestas. De acuerdo con la aplicación de los modelos y a los resultados obtenidos, el esquema de la propuesta general del sistema, consistió en el diseño de un sistema de alcantarillas y de un canal de sección trapezoidal, que cumplen con las solicitudes hidráulicas necesarias para mitigar el desbordamiento del agua en la zona. [1]

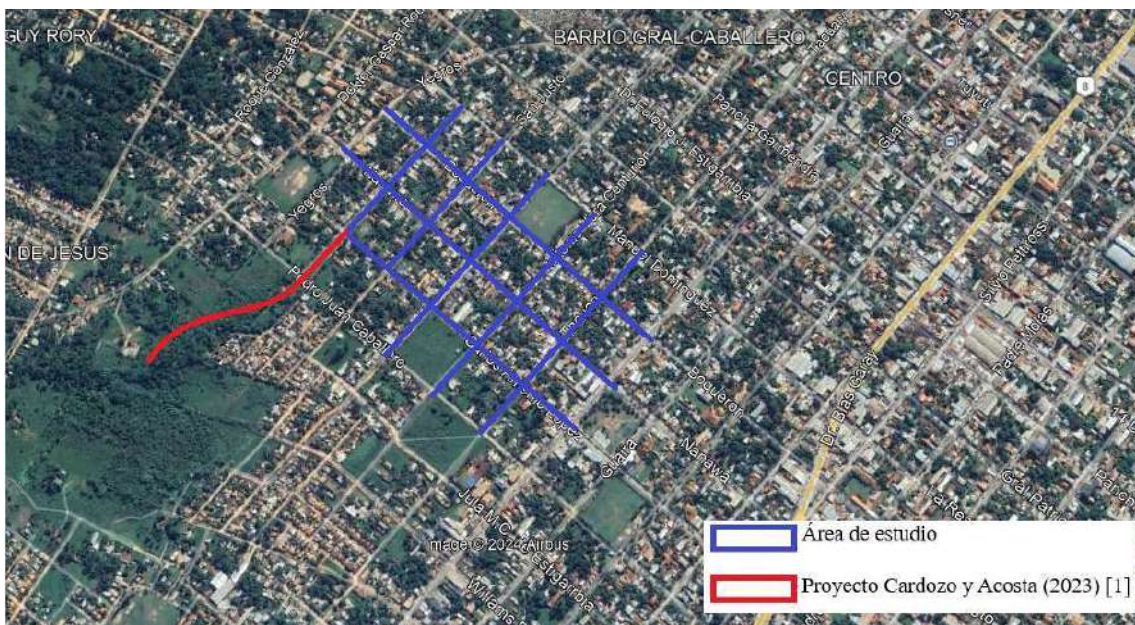
Además en el trabajo final de grado del año 2023 de Sabando Delgado María Salome, alumno de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, se presentó el trabajo denominado “Diseño del alcantarillado pluvial para superar el estancamiento de aguas en el barrio 28 de mayo en Puerto Cayo” que cuenta con un análisis bibliográfico y un nivel de tipo descriptivo en base a la recolección de datos con un enfoque cualitativo. En la zona del barrio 28 de mayo, la acumulación de agua de lluvia causa estancamientos e inundaciones en el área central, lo cual ocasiona problemas como la propagación de enfermedades transmitidas por mosquitos entre los residentes de esta localidad. El proyecto se diseñó con los siguientes parámetros de la Norma Hidrosanitaria de Aguas, una reglamentación previa del Instituto Ecuatoriano de Higiene Ocupacional, la red fue dimensionada de acuerdo con los requisitos fundamentales para asegurar su óptimo desempeño. [2]

## **1.3. Planteamiento y formulación del Problema**

El desagüe pluvial es crucial para la seguridad y calidad de vida, ya que previene inundaciones y protege la infraestructura. En Coronel Oviedo, solo el 50% de la ciudad cuenta con este sistema, el cual está saturado, especialmente en áreas urbanas, causando tráfico, deterioro del pavimento e inundaciones.

La calle Nanawa es un tramo de pavimento clave en Coronel Oviedo, especialmente en el sector entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo, que conecta los barrios Bernardino Caballero, Costa Alegre y San Juan, y donde se encuentran tres instituciones educativas, además de centros religiosos y deportivos. Este tramo de 600 metros desemboca en el punto inicial del proyecto desarrollado por Cardozo y Acosta (2023) [1].

El sistema de drenaje pluvial en la zona es insuficiente, causando inundaciones que deterioran el pavimento, dañan la infraestructura hidráulica y generan pérdidas económicas para comerciantes y la municipalidad. Esto resalta la urgente necesidad de mejorar o ampliar el sistema de drenaje.



**Figura 1:** Área de estudio

**Fuente:** Elaboración propia

#### 1.4. Justificación

El sistema de desagüe pluvial tiene la función esencial de recolectar, dirigir y gestionar el agua de lluvia, lo cual es crucial en áreas urbanas donde la capacidad de absorción del suelo es limitada. Este proyecto tiene como objetivo canalizar las aguas pluviales, cuya acumulación puede comprometer la infraestructura residencial. Las inundaciones resultantes interrumpen el tránsito y obstaculizan el acceso a instituciones, como iglesias y escuelas, especialmente en zonas con alto flujo vehicular.

Debido a que el sistema de drenaje actual es insuficiente durante lluvias intensas, el proyecto plantea su ampliación para reducir el impacto de las inundaciones. Esta mejora ofrecerá beneficios directos a los habitantes, brindándoles mayor seguridad en eventos de lluvia extrema.

Un sistema de desagüe pluvial eficiente protege infraestructuras residenciales, comerciales y públicas, previniendo pérdidas económicas y garantizando la seguridad de la comunidad. Al evitar el estancamiento del agua, también disminuye riesgos para la salud pública al prevenir la proliferación de mosquitos portadores de enfermedades como el dengue, y reduce la contaminación bacteriana que podría causar infecciones gastrointestinales y otros problemas de salud. Además, la prevención de encharcamientos en las calles contribuye a reducir accidentes y facilita la movilidad de peatones y conductores.

Esta propuesta proporcionará seguridad y tranquilidad a los pobladores, mejorando su calidad de vida al permitirles sentirse protegidos en sus hogares y lugares de trabajo.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General:**

Diseñar un proyecto ejecutivo del sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo.

### **1.5.2. Objetivo Específico:**

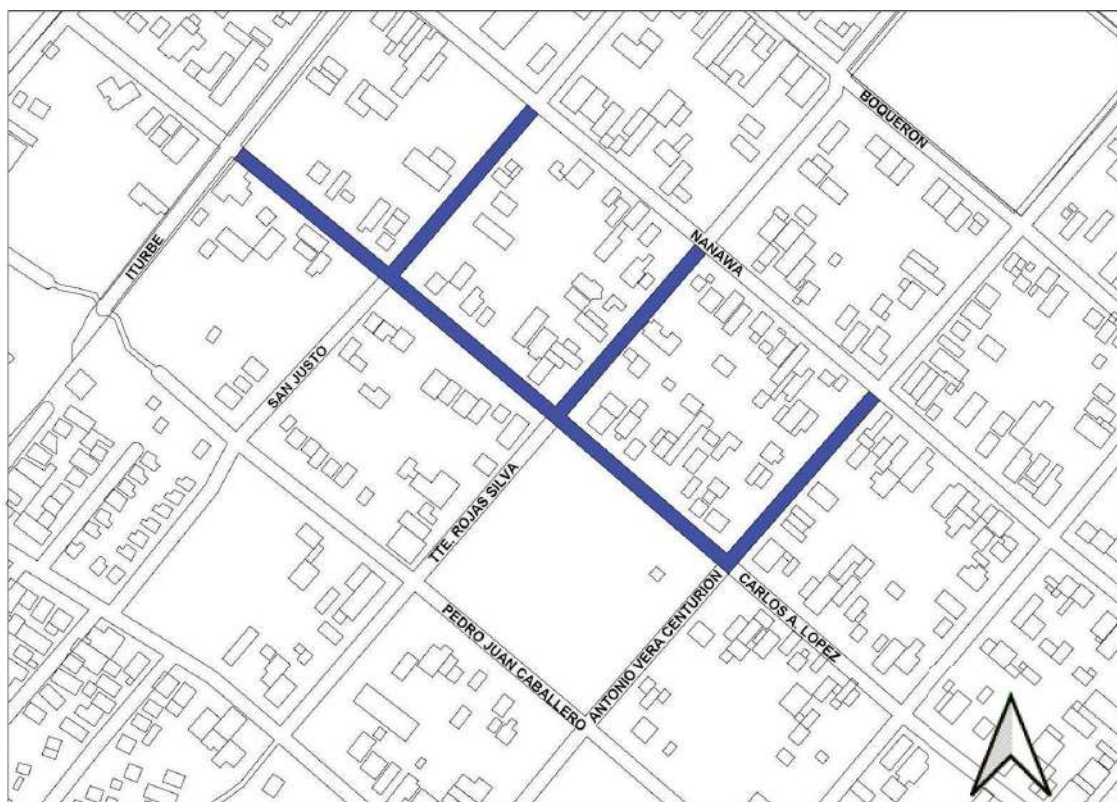
- Describir las características topográficas del terreno a través de relevamiento planialtimétrico de la zona de construcción de la obra.
- Identificar los datos hidrológicos e hidráulicos del área, a modo de elaborar el proyecto estructural.
- Analizar las soluciones alternativas de desagüe pluvial para la utilización normal del tramo en días de lluvia.
- Establecer el diseño del sistema de desagüe pluvial más factible.

## CAPÍTULO II

### INGENIERÍA DEL PROYECTO

#### 2.1. Ubicación del proyecto

La zona propuesta se encuentra ubicada a una distancia aproximada de 700 metros de la Ruta PY08 Dr. Blas Garay, el camino público del lugar es de tipo empedrado.



**Figura 2:** Ubicación del proyecto. Esc 1:1500

**Fuente:** Elaboración propia

#### 2.1.1. Situación actual de la zona

La zona en la actualidad cuenta con canales sub dimensionados cuya capacidad se ve sobrepasada en los días de lluvia y en varios puntos ya se encuentran en peligro de derrumbe, como se ve en las siguientes:



**Figuras 3 y 4:** Situación actual de la zona de estudio

**Fuente:** Elaboración propia

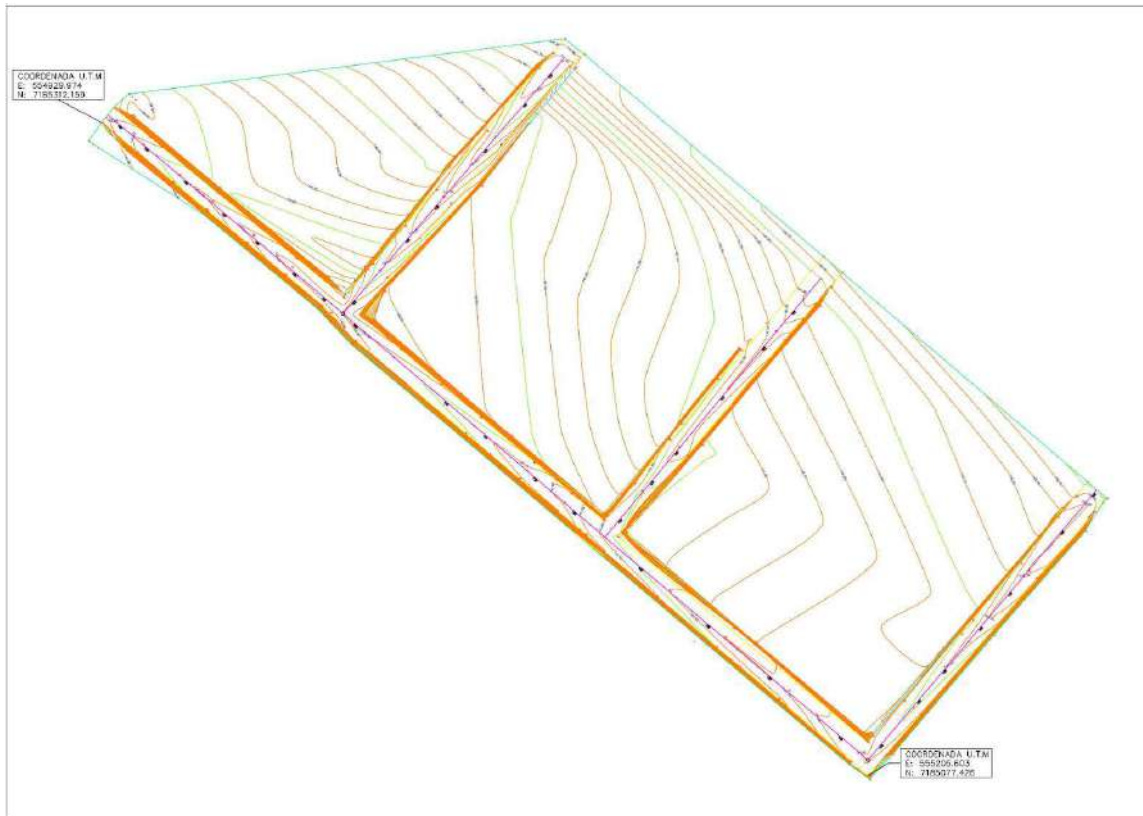
## 2.2. Características topográficas

Se llevaron a cabo relevamientos planialtimétricos mediante Estación Total, cuyo resultado subdividió la zona de estudio en 6 sub tramos, denominados T-1 - T-6 respectivamente. A continuación, se muestra la pendiente existente en cada sub tramo así como las curvas de nivel obtenidos:

Tramo	Longitud	Pendiente%
T-1	127,24	0,46%
T-2	123,92	0,40%
T-3	120,96	0,55%
T-4	123,81	0,43%
T-5	120,31	0,75%
T-6	110,67	0,56%

**Tabla 1:** Longitudes y pendientes de sub tramos

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5:** Curvas de nivel del área de estudio Esc 1:1000

**Fuente:** Elaboración propia

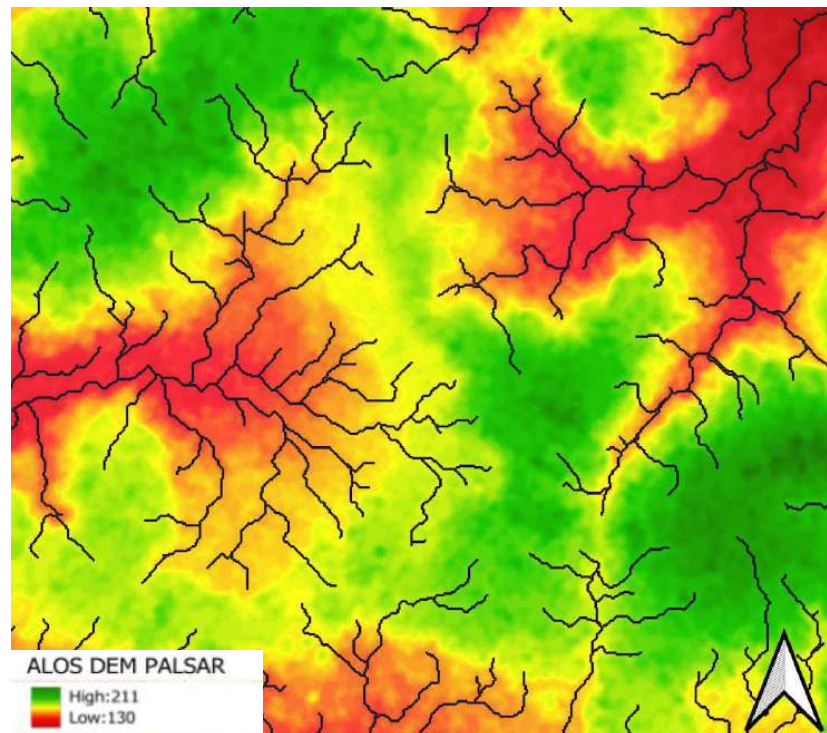
## 2.3. Determinación de la cuenca

### 2.3.1. DEM

Un modelo digital de elevación (DEM) es una representación tridimensional de la superficie de un terreno, ya sea de un planeta, una luna o un asteroide, elaborada a partir de datos de elevación. Este modelo incluye toda la información necesaria sobre la topografía del terreno, lo que permite delimitar cuencas y comprender las características fisiográficas de las mismas.

Se utiliza el programa de observación por satélite Advanced Land Observing Satellite (ALOS). [3]

Los resultados del DEM se muestran a continuación:

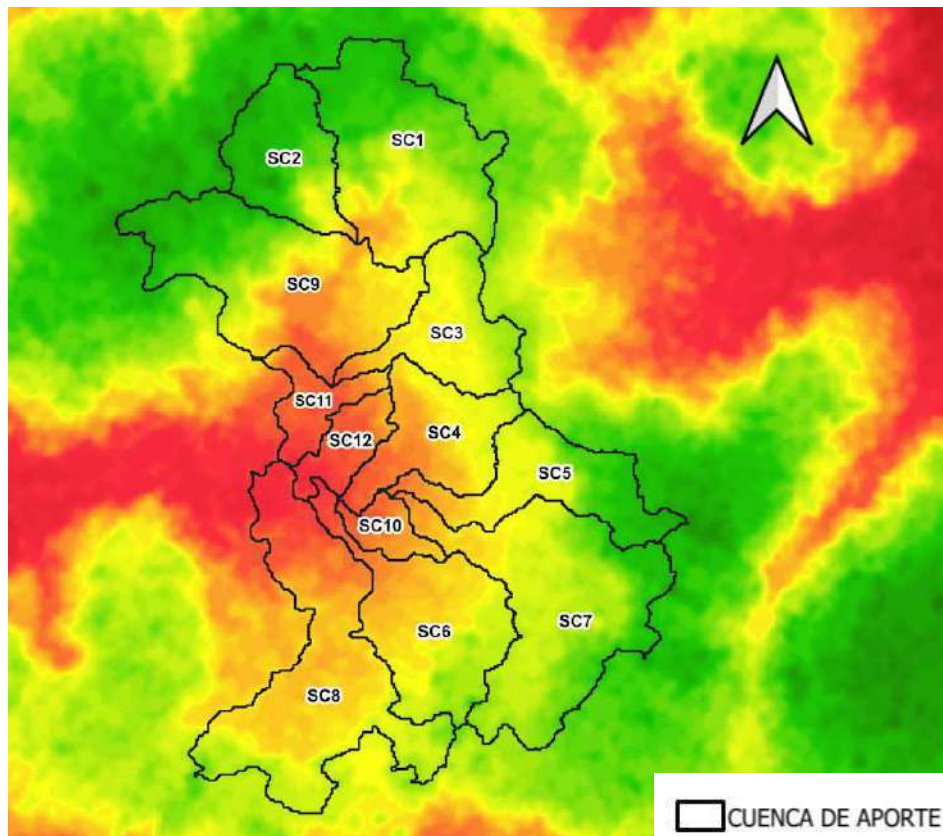


**Figura 6:** DEM ALOS-PALSAR en la zona de estudio

**Fuente:** Elaboración propia

Para la delimitación de las subcuencas de este Proyecto Final de Grado, se introdujo un umbral de  $2\text{km}^2$ , teniendo que la cuenca zona de estudio queda en una zona urbana, así cada subcuenca definida no tendrá una superficie mayor a lo ya establecido.

Para este Proyecto Final de Grado, se ajustaron manualmente las cuencas en función de las obras existentes que pueden afectar el flujo del agua. Como primer paso en la metodología manual para delimitar las subcuencas se procedió a superponer las curvas de nivel obtenidas del DEM e identificar el punto de salida de la cuenca de aporte, así también la dirección del flujo de agua.



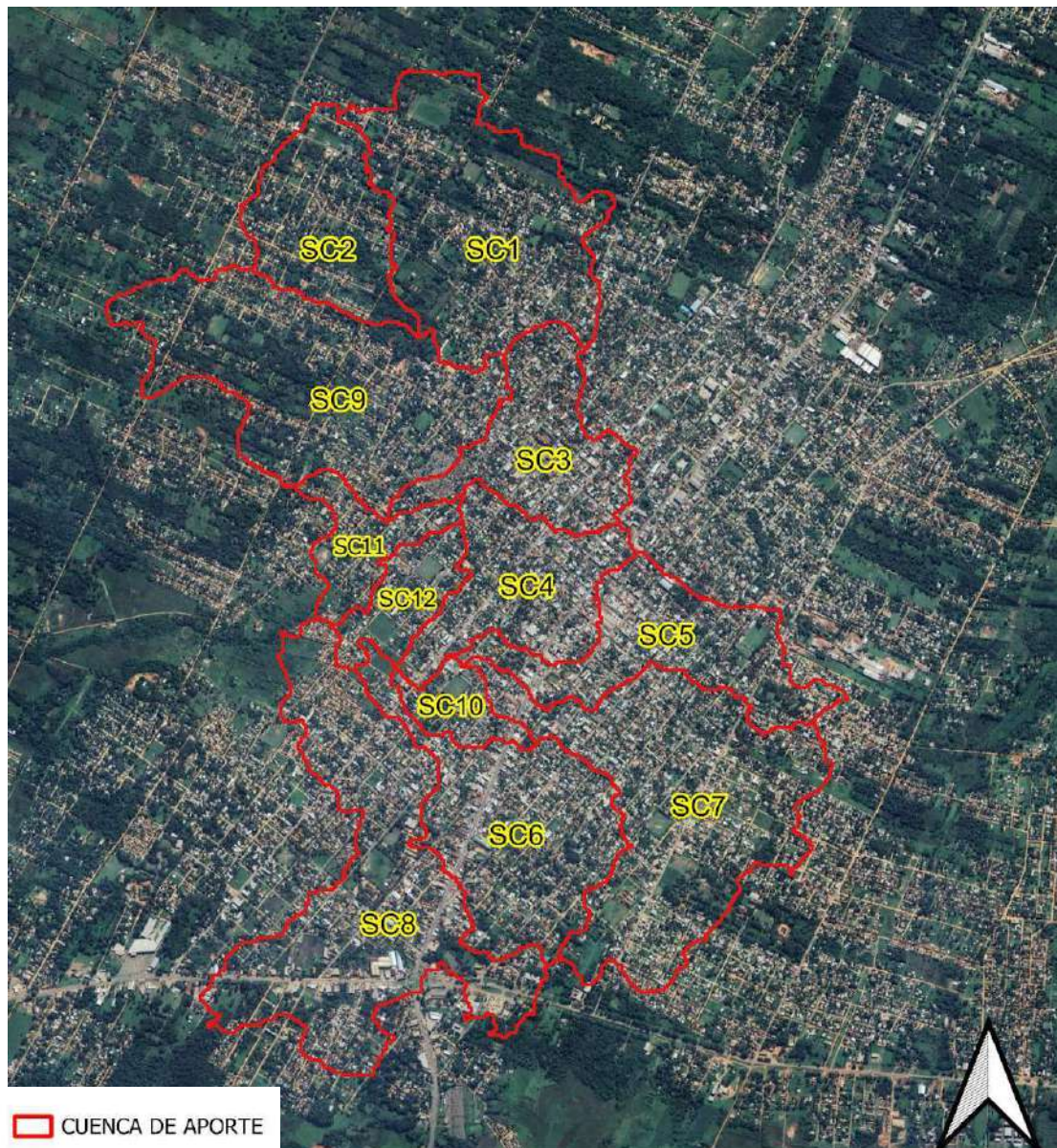
**Figura 7:** Subcuenca de estudio

**Fuente:** Elaboración propia

Es importante tener en cuenta las obras humanas al delimitar las subcuenchas, como se indicó anteriormente. Por esta razón, en el presente Proyecto Final de Grado se utilizó el catastro urbano y las imágenes satelitales georeferenciadas actuales obtenidas de Google Earth [4]. En las siguientes figuras se pueden ver las subcuenchas superpuestas con las imágenes satelitales, lo que evidencia la delimitación lograda. Así también, se puede observar la numeración utilizada para futuras referencias.

Considerando todo lo mencionado, se delimitó un total de 12 subcuenchas para su futura modelación hidrológica.

Las áreas de las subcuenchas están en un rango similar, alcanzando así un total de 921,131 hectáreas. Los detalles de las superficies de cada una de las subcuenchas se encuentran en los anexos.



**Figura 8:** Subcuenca sobre imagen satelital Google Earth

**Fuente:** Elaboración propia



Figura 9: Zoom in de la zona de estudio (SC11 Y SC12)

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Uso de suelo

Para este presente Proyecto Final de grado, se llevó a cabo una clasificación supervisada del uso del suelo mediante la interfaz de QGIS [5].

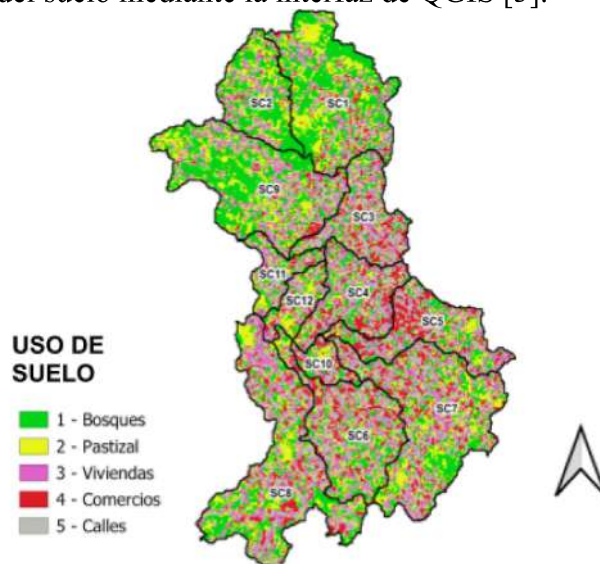


Figura 10: Cobertura de uso de suelo de la cuenca

Fuente: Elaboración propia

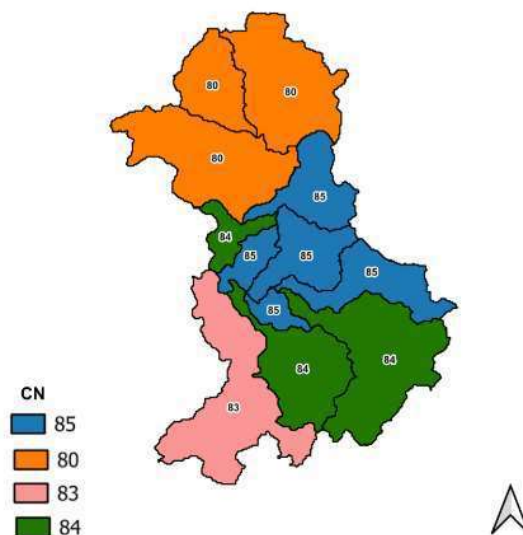
N°	CATEGORÍAS				
	Árboles	Pastizal	Viviendas	Comercios	Calles asfaltadas
SC1	48,32%	20,25%	19,05%	7,36%	5,02%
SC2	49,98%	24,34%	17,58%	3,15%	4,95%
SC3	20,36%	20,02%	25,06%	25,06%	9,50%
SC4	20,01%	20,25%	25,65%	25,85%	8,24%
SC5	21,05%	19,98%	24,85%	25,04%	9,08%
SC6	24,15%	20,58%	26,54%	20,15%	8,58%
SC7	23,05%	24,45%	23,95%	20,35%	8,20%
SC8	26,10%	21,89%	25,99%	20,75%	5,27%
SC9	49,87%	23,85%	15,85%	7,85%	2,58%
SC10	22,32%	22,65%	23,65%	21,11%	10,27%
SC11	25,19%	23,47%	23,52%	20,95%	6,87%
SC12	21,63%	25,78%	20,63%	27,02%	4,94%

**Tabla 2:** Porcentaje de uso de suelo en cada subcuenca.

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.3. Número de curva

Luego de contar con el uso de suelo de cada una de las subcuencas, se obtiene el Número de curva de acuerdo con el método desarrollado por la Soil Conservation Services [6]



**Figura 11:** Valores de CN ponderados para cada subcuenca

**Fuente:** Elaboración propia

CN_adoptado									
CN_66-83		CN_79-89		CN_75-87		CN_92-95		CN_98-98	
75		84		81		94		98	
Uso de suelo en %									
SUB CUENCA	Area(ha)	Árboles	Pastizal	Viviendas	Comercios	Calles Asfaltadas	CN ponderado		
SC1	117,94	48,32%	20,25%	19,05%	7,36%	5,02%	80		
SC2	57,03	49,98%	24,34%	17,58%	3,15%	4,95%	80		
SC3	57,31	20,36%	20,02%	25,06%	25,06%	9,50%	85		
SC4	58,06	20,01%	20,25%	25,65%	25,85%	8,24%	85		
SC5	65,22	21,05%	19,98%	24,85%	25,04%	9,08%	85		
SC6	88,391	24,15%	20,58%	26,54%	20,15%	8,58%	84		
SC7	136,47	23,05%	24,45%	23,95%	20,35%	8,20%	84		
SC8	144,2	26,10%	21,89%	25,99%	20,75%	5,27%	83		
SC9	128,75	49,87%	23,85%	15,85%	7,85%	2,58%	80		
SC10	16,39	22,32%	22,65%	23,65%	21,11%	10,27%	85		
SC11	25,37	25,19%	23,47%	23,52%	20,95%	6,87%	84		
SC12	24	21,63%	25,78%	20,63%	27,02%	4,94%	85		

Tabla 3: Número de curva CN para cada subcuenca

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4. Tiempo de concentración

La duración del evento de precipitación debe elegirse en función del tiempo de concentración ( $T_c$ ) de la cuenca. En la siguiente tabla, se presenta el cálculo para el tiempo de concentración de cada subcuenca:

SUB CUENCA	Area(ha)	L(m)	Pend L(i)%	K adoptado	TC(min)	TC(hs)	TC(hs) adoptado
SC1	117,94	1902,71	1,787	3	50,05	0,83	1
SC2	57,03	3702,57	1,026	3	57,41	0,96	1
SC3	57,31	3175,35	0,945	3	57,61	0,96	1
SC4	58,06	1739,25	2,185	3	36,67	0,61	1
SC5	65,22	1809,14	1,548	3	43,93	0,73	1
SC6	88,391	1555,67	1,993	3	42,21	0,7	1
SC7	136,47	2492,95	1,845	3	54,49	0,91	1
SC8	144,2	2530,9	1,343	3	63,09	1,05	2
SC9	128,75	2816,62	1,065	3	68,36	1,14	2
SC10	16,39	889,17	1,799	3	23,72	0,4	1
SC11	25,37	1165,95	1,63	3	29,69	0,49	1
SC12	24	1046,94	1,051	3	34,06	0,57	1

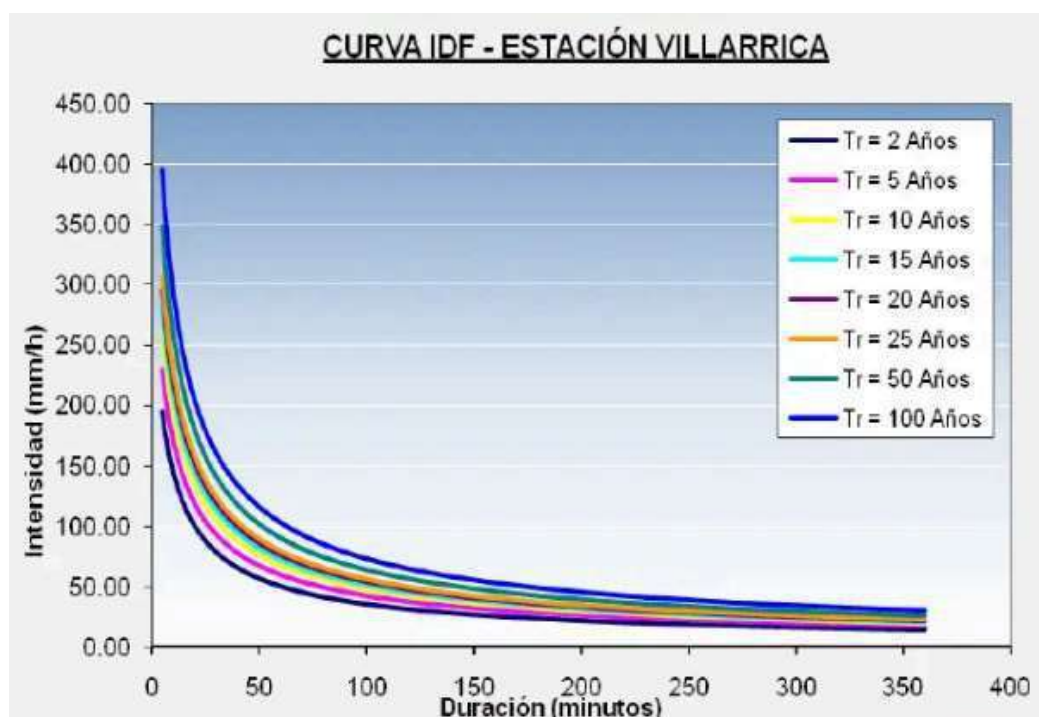
Tabla 4: Tiempo de concentración para cada subcuenca

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.5. Curva IDF

Para este Proyecto Final de Grado, se examinaron precipitaciones asociadas a un tiempo de retorno (TR) de 10 años, lo que implica una probabilidad de ocurrencia anual del 10%.

Así también debido a la cercanía geográfica y a similitud climática de la zona de estudio (ubicada en la ciudad de Coronel Oviedo) y la ciudad de Villarrica, se optó por utilizar la curva IDF de dicha ciudad.



**Figura 12:** Curva IDF - Estación de Villarrica (1969-2009)

**Fuente:** DMH - DINAC: Dirección de Meteorología e Hidrología [7]

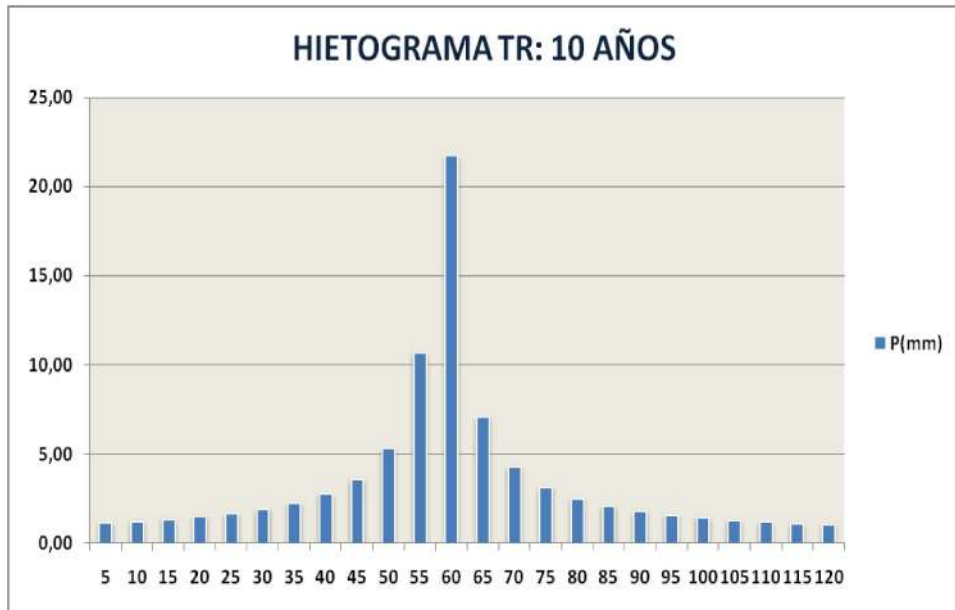
Parámetros	Villarrica
c	902,31
n	0,18139
m	0,72055
d	5

**Tabla 5:** Parámetros para la Curva IDF de Villarrica

**Fuente:** Actualización de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Precipitación en el Paraguay. Cuevas – Rolon. 2009 [8]

### 2.3.6. Hietograma

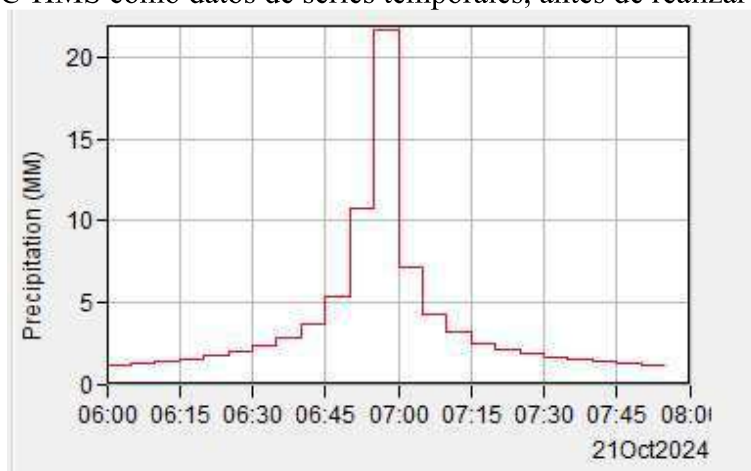
Para simular la cuenca en el programa HEC-HMS, es necesario contar con un hietograma que muestre el volumen de precipitación en milímetros a lo largo del tiempo. El hietograma que se utilizará para la simulación se presenta en la siguiente Figura:



**Figura 13:** Hietograma de diseño para un TR 10 años

**Fuente:** Elaboración propia

Asimismo, en la siguiente figura se muestra el hietograma que se ingresó en el programa HEC-HMS como datos de series temporales, antes de realizar la simulación.

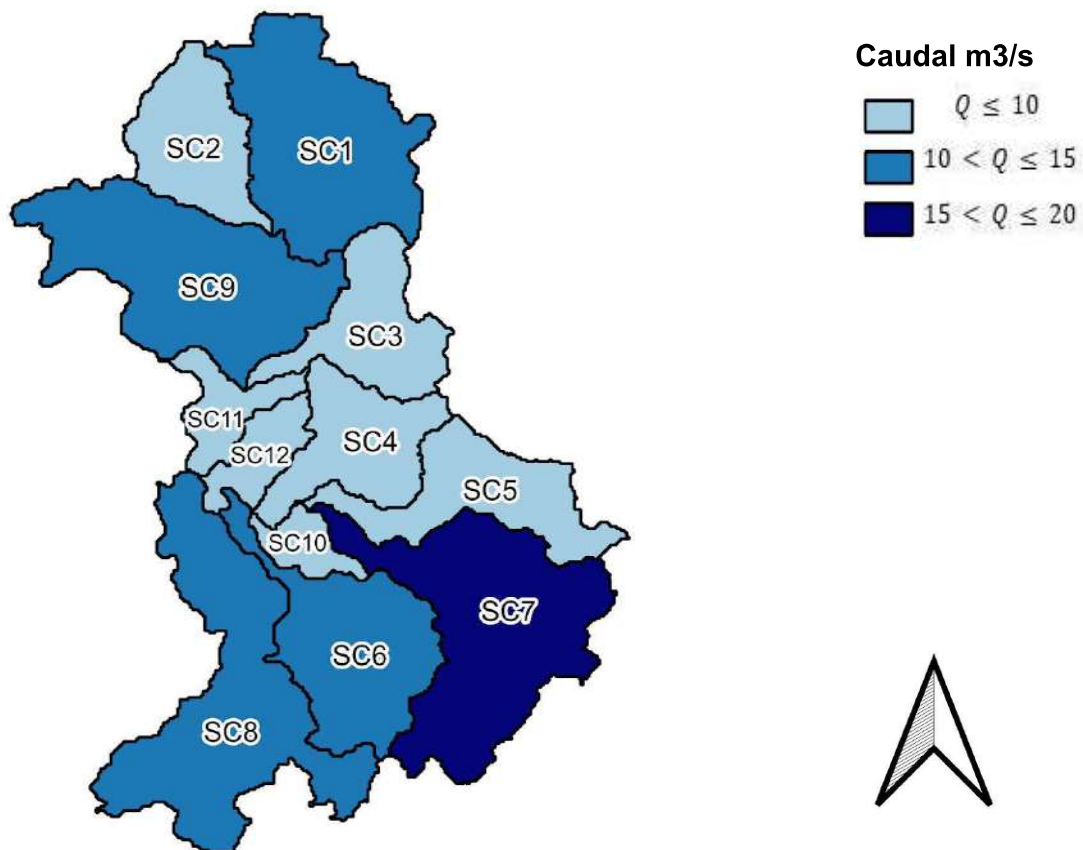


**Figura 14:** Hietograma para un TR 10 años insertado en HEC-HMS

**Fuente:** Elaboración propia

### 2.3.7. Resultados de datos de cuenca

En esta sección se presentan los resultados de la simulación de la cuenca en el programa HEC-HMS [9], basados en los parámetros calculados y los métodos elegidos.



**Figura 15:** Resultado de simulación en HEC - HMS

**Fuente:** Elaboración propia

Los valores de caudales específicos de cada subcuenca se encuentran detallados en el **ANEXO II**.

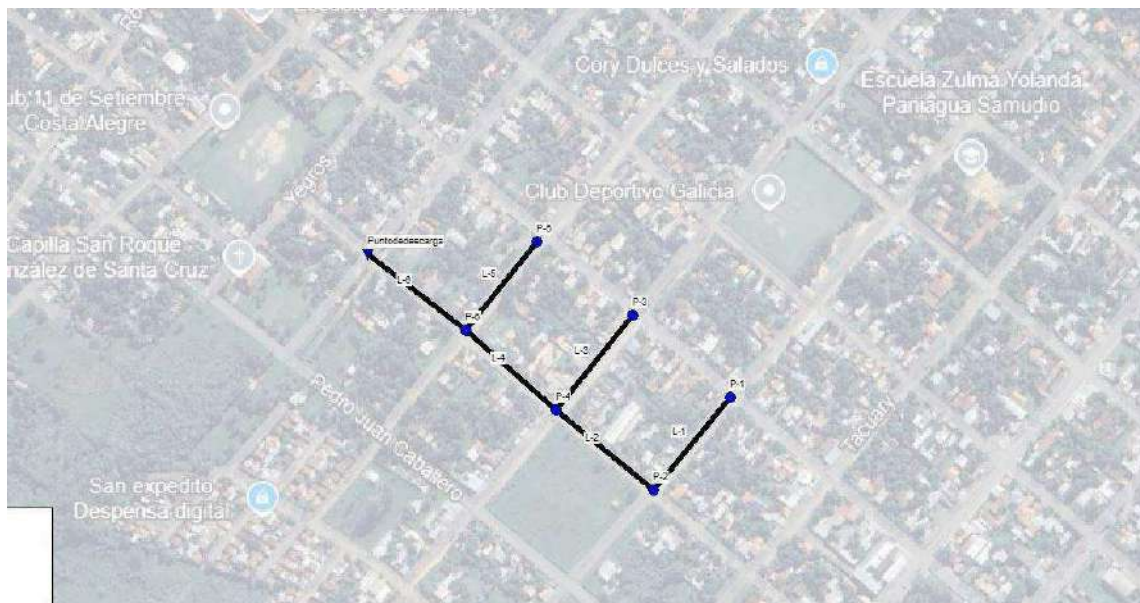
Sin embargo, para los hidrogramas de diseño se tuvo en cuenta la zona de estudio dado que el mismo se encuentra entre los límites de las subcuencas 11 y 12. De este modo, el caudal máximo de los hidrogramas que se empleará en las alcantarillas son:

- **Subcuenca 11**  $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$
- **Subcuenca 12**  $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$

#### 2.4. Dimensionamiento de alcantarillas

El dimensionamiento se lleva a cabo mediante el método de EPA SWMM [10], cuyo desglose se encuentra en los anexos.

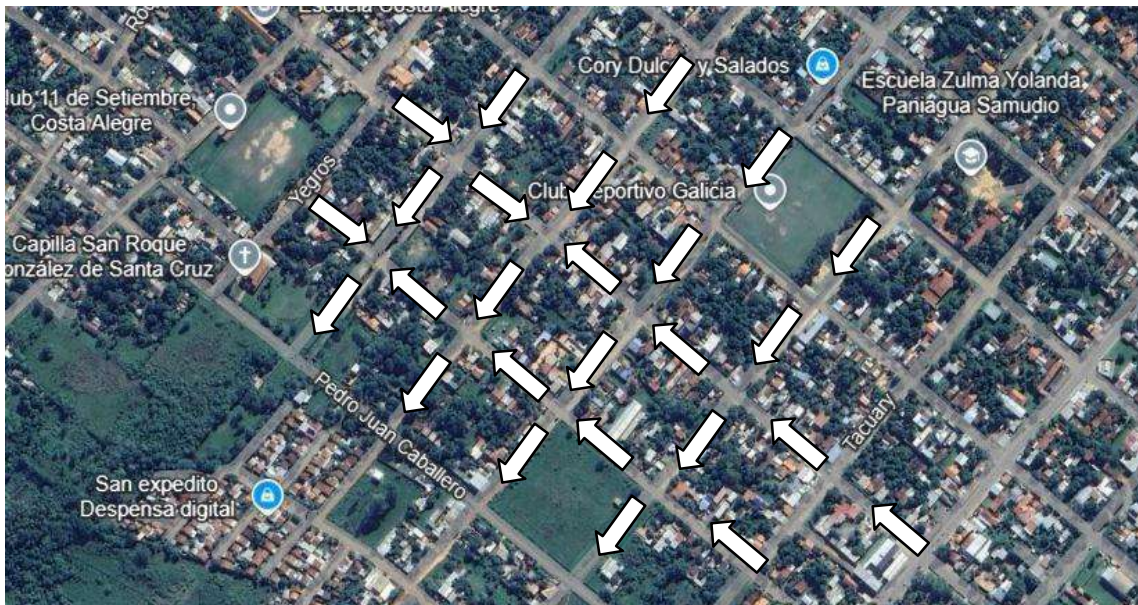
Se proponen seis líneas de alcantarillado, diseñadas para capturar y conducir los flujos provenientes de las calles A. Centurion Vera, Tte. Rojas Silva, San Justo y C. Antonio Lopez hasta la boca de desembocadura del canal principal de la calle Iturbe donde el mismo desemboca directamente en el arroyo San Luis . En la Figura 15 se muestran los tramos del sistema propuesto.



**Figura 16:** Esquema de modelación SWMM

**Fuente:** Elaboración propia

Es necesario resaltar que es de suma importancia considerar las direcciones de flujo al momento de realizar los modelados y cálculos pertinentes, debido a esto en la figura 16 se muestran dichas direcciones:



**Figura 17:** Direcciones de flujo

**Fuente:** Elaboración propia

Se seleccionaron tres ramales secundarios paralelos entre sí, así como un ramal principal. El primer ramal secundario se origina en la intersección de la calle A. Centurión Vera con la calle Carlos A. López, y se desarrolla a lo largo de dicha calle, con galerías celulares simples a ambos lados, aprovechando el espacio disponible de aproximadamente 6 metros entre la calzada y la línea municipal. El segundo ramal comienza en la intersección de la calle Tte. Rojas Silva con la calle Carlos A. López, y al igual que el primer ramal, dispone de galerías celulares simples a ambos lados de la vía. Finalmente, el tercer ramal tiene su inicio en la intersección de la calle San Justo con la calle Carlos A. López, y también cuenta con galerías celulares simples a ambos lados de la calle. Esta disposición aprovecha el espacio disponible en cada tramo para garantizar un adecuado sistema de drenaje y transporte de aguas pluviales.

El ramal principal corresponde a la calle Carlos A. López, cuya función es captar y conducir las aguas procedentes de los ramales secundarios transversales a dicha vía. Estas aguas son transportadas a lo largo del ramal principal hasta su desembocadura en el canal existente de la calle Iturbe, desde donde el flujo es evacuado directamente

hacia el arroyo San Luis. En el ramal principal, se identifican dos tramos de canales abiertos que serán desmontados y sustituidos por galerías celulares simples. Esta modificación responde a la insuficiencia de capacidad hidráulica del canal actual para transportar el caudal total recolectado de los ramales secundarios.

En la siguiente tabla se detallan las dimensiones de los canales propuesto con un periodo de retorno de 10 años, las cuales han sido calculadas utilizando en SWMM.

Tramo	Tipo de alcantarilla	Alto	Ancho	Entrada	Salida	Longitud	Cota-Inicio	Cota-Final	Pendiente %
T-1	ACS	1,5	1,5	P-1	P-2	127,24	142,510	141,92	0,46%
T-2	ACS	1,5	1,5	P-2	P-4	123,92	141,92	141,43	0,40%
T-3	ACS	1,5	1,5	P-3	P-4	120,96	141,10	141,43	0,55%
T-4	ACS	1,5	1,5	P-4	P-6	123,81	141,43	140,90	0,43%
T-5	ACS	1,5	1,5	P-5	P-6	120,31	141,80	140,90	0,75%
T-6	ACS	1,5	1,5	P-6	Punto descarga	110,67	140,90	140,28	0,56%

**Tabla 6:** Características de la red simulada -Parte I

**Fuente:** Elaboración propia

Tramo	Tipo de alcantarilla	Alto	Ancho	Coefficiente n	Caudal m3/s	Velocidad m/s
T-1	ACS	1,5	1,5	0,015	5,27	2,73
T-2	ACS	1,5	1,5	0,015	4,91	2,54
T-3	ACS	1,5	1,5	0,015	5,81	3,01
T-4	ACS	1,5	1,5	0,015	5,10	2,65
T-5	ACS	1,5	1,5	0,015	6,75	3,50
T-6	ACS	1,5	1,5	0,015	5,84	3,03

**Tabla 7:** Características de la red simulada -Parte II

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.5. Dimensionamiento de sumideros

El dimensionamiento de un sistema está relacionado con el tipo de sumidero seleccionado, el cual se clasifica según el método de captación utilizado para recoger y canalizar el flujo de agua. Este método de captación puede variar en diseño y funcionalidad, afectando aspectos como la capacidad de recolección, el caudal máximo admisible y la eficiencia en el transporte hacia sistemas de drenaje o almacenamiento. Por lo tanto, la elección y el análisis del tipo de sumidero son esenciales para definir las especificaciones y parámetros de diseño del sistema.

Para contar con varias opciones, hemos dimensionado seis tipos de sumideros denominados S-tipo, los cuales corresponden a los sumideros mixtos, las dimensiones geométricas, los caudales de captación y la cantidad total se muestran en la tabla 9:

CALCULO DE SUMIDEROS								
Tipo de sumideros	L (m)	y (m)	a (m)	ancho (m)	S. ventana	S. Reja	S. Mixto ( $q = q_1 + 0,75q_2$ )	Cantidad necesaria
					$q_1$ (m <sup>3</sup> /s)	$q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	$q$ (m <sup>3</sup> /s)	$q_{max} = 9$ m <sup>3</sup> /s
S-TIPO 1	1	0.15	0.15	0.5	0.11	0.61	0.56	17
S-TIPO 2	1.5	0.15	0.15	0.5	0.16	0.91	0.84	11
S-TIPO 3	2	0.15	0.15	0.5	0.21	1.22	1.12	9
S-TIPO 4	2.5	0.15	0.15	0.5	0.26	1.52	1.40	7
S-TIPO 5	3	0.15	0.15	0.5	0.32	1.82	1.68	6
S-TIPO 6	3.5	0.15	0.15	0.5	0.37	2.13	1.97	5

**Tabla 8:** Cálculo de sumideros

**Fuente:** Elaboración propia

Este proyecto adoptará el sumidero S-TIPO 1 considerando que este modelo presenta una excelente relación precio-capacidad, lo cual lo hace ideal para cumplir con los requerimientos de eficiencia y economía. La capacidad del S-TIPO 1 permite gestionar adecuadamente el volumen de agua esperado, evitando problemas de desbordamiento y maximizando la durabilidad de la instalación, sin incurrir en costos excesivos.

Además, las dimensiones de este sumidero se ajustan a los espacios previstos en el diseño de la obra, permitiendo una instalación sencilla y eficiente que se adapta a las restricciones físicas del sitio sin necesidad de modificaciones adicionales. Esto no solo facilita el proceso de instalación, sino que también optimiza el tiempo y los recursos de

construcción, asegurando que el sumidero S-TIPO 1 sea una solución práctica y económicamente viable.

Finalmente, el modelo S-TIPO 1 cumple con las normativas vigentes de gestión de aguas, lo cual es fundamental para garantizar el cumplimiento de los estándares de seguridad y calidad en la obra. Esto respalda aún más su elección, haciendo del S-TIPO 1 una opción confiable y alineada con los objetivos técnicos y financieros del proyecto.

## **2.6. Registros**

Los registros también denominados pozos de visita o cámara de inspección, son estructuras esenciales en los sistemas de desagüe pluvial considerando que facilita el acceso al sistema para inspección, mantenimiento y reparación.

Los registros de este proyecto deberán:

- Tener tapa removible prefabricada de H°A° o en su defecto estar fabricados con chapa antideslizante de 3,5 mm.
- Medir 1,00x1,00 metros.
- Estar ubicadas en esquinas que no cuentan con tránsito vehicular y estar separadas una distancia no mayor de 200 metros.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 3. Presupuesto

Para gestionar eficientemente el proyecto de desagüe pluvial en el área de las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo en Coronel Oviedo, se realizó una evaluación detallada de costos y cómputo métrico. Este análisis asegura costos realistas y cumplimiento de normativas, proporcionando una visión clara de los recursos necesarios y facilitando la planificación y ejecución del proyecto. A continuación, se presenta un resumen del presupuesto.

PLANILLA DE CÓMPUTO Y PRESUPUESTO					
ITEMS	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>1</b>	<b>MOVIMIENTO DE SUELO</b>				
1.1	Excavación de zanjas de drenaje	m3	1635,55	70.000Gs.	114.488.325 Gs.
1.2	Relleno y compactación en zanjas	m3	599,70	84.000Gs.	50.374.863 Gs.
1.3	Transporte de tierra excedente	m3	1035,85	39.000Gs.	40.398.023 Gs.
<b>2</b>	<b>DEMOLICIONES</b>				
2.1	Demolición de canal abierto de PBC	ml	606,60	1.425.500 Gs.	864.708.300Gs.
<b>3</b>	<b>PAVIMENTOS</b>				
3.1	Remoción y reposición de pavimento tipo empedrado existente	m2	136,00	65.500Gs.	8.908.000 Gs.
<b>4</b>	<b>OBRAS DE DRENAJE</b>				
4.1	Alcantarillas celulares de H° A°				
4.1.1	ACS 1,50X1,50	ml	1635,55	4.757.990 Gs.	7.781.918.650G.
4.2	Sumideros				
4.2.1	ST1	un	17,00	11.494.500Gs.	195.406.500Gs.
4.3	Registros				
4.3.1	Registros 1,00x1,00	un	14	5.592.900Gs.	78.300.600Gs.
				<b>Total iva incluido en GS</b>	<b>9.134.503.261Gs</b>
				<b>Total iva incluido en USD (1 USD = 7863)</b>	<b>\$1.161.707,14</b>

**Tabla 9:** Cómputo y presupuesto

**Fuente:** Elaboración propia

Los precios aplicados están sustentados en los valores de obras comparables previamente registrados en la base de datos de la DNCP, lo que garantiza su conformidad con los estándares vigentes y su alineación con las condiciones del mercado actual.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

El presente proyecto demuestra que un diseño adecuado de sistemas de drenaje basado en análisis topográfico detallado y una correcta determinación de cuencas es fundamental para gestionar eficazmente las aguas pluviales en áreas vulnerables a inundaciones.

Los métodos empleados permitieron caracterizar el terreno y calcular el dimensionamiento óptimo de alcantarillas y sumideros, garantizando así un flujo controlado y minimizando los riesgos de acumulación de agua en zonas críticas. Los resultados obtenidos validan la efectividad del sistema propuesto y su potencial para reducir el impacto de lluvias intensas.

Las dimensiones finales adoptadas que cumplen con los requerimientos del proyecto son:

- Alcantarillas: ACS 1,5 m x 1,5 m
- Sumideros mixtos:
  - Ventana: 1,0 m x 0,15 m
  - Rejilla: 1,0 m x 0,5 m
- Registros: 1,0 m x 1,0 m

El costo final de la obra, detallado en el análisis económico, proporciona una visión clara de los recursos financieros necesarios y garantiza que el proyecto sea económicamente viable.

En conclusión, este proyecto final de grado no solo cumple con los objetivos planteados, sino que también establece un estándar elevado en el diseño de infraestructuras para el manejo de aguas de pluviales.

## **4.2 Recomendaciones**

- **Diseño de losa tapa de canales con sumideros en la calle Nanawa**

Un desagüe pluvial cerrado es esencial en las calles urbanas para gestionar adecuadamente el agua de lluvia, proteger la infraestructura, promover la seguridad vial, y contribuir al bienestar y la calidad de vida en las ciudades.

- **Mantenimiento de Canales y Alcantarillas:**

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema de drenaje a largo plazo, se sugiere:

- **Mantenimiento Regular:** Implementar un plan de mantenimiento preventivo para canales, alcantarillas y demás estructuras de drenaje.

- **Promoción a los Trabajos Finales de Grado**

Se sugiere que la Facultad de Ciencias y Tecnologías apoye a los estudiantes que finalizan sus estudios en la realización de Proyectos de Fin de Grado que generen beneficios para la comunidad. Esta iniciativa promoverá un enfoque en la ingeniería orientado a soluciones que contribuyan al bienestar social.

## CAPÍTULO V

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. D. Acosta Torres y J. A. Cardozo Espinoza, «Estudio de solución a la problemática de inundaciones en la intersección del Arroyo San Luis con las calles Iturbe y Pedro Juan Caballero (Barrios San Isidro, Coronel Oviedo),» [En línea]. Available: <https://publicaciones.fctunca.edu.py/>. [Último acceso: 08 Mayo 2024 ].
- [2] M. S. Sabando Delgado, «Diseño del alcantarillado pluvial para superar el estancamiento de aguas en el barrio 28 de mayo en Puerto Cayo,» [En línea]. Available: <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/6131>. [Último acceso: 08 Mayo 2024].
- [3] JAXA, «Advanced Land Observing Satellite,» [En línea]. Available: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. [Último acceso: 06 Octubre 2024].
- [4] Google LLC, «Google Earth,» [En línea]. Available: <https://earth.google.es>. [Último acceso: 08 Octubre 2024].
- [5] Open Software, «QGIS,» [En línea]. Available: <https://www.qgis.org/>. [Último acceso: 10 Octubre 2024].
- [6] Soil Conservation Service, «U.S. Department of Agriculture,» USDA, [En línea]. Available: <https://www.usda.gov/>. [Último acceso: 06 Junio 2024].
- [7] DMH - DINAC, «Dirección Nacional de Meteorología e Hidrología,» [En línea]. Available: [www.meteorologia.gov.py](http://www.meteorologia.gov.py). [Último acceso: 25 Octubre 2024].
- [8] L. Cuevas y A. Rolon, Actualización de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Precipitación en el Paraguay, 2009.
- [9] U.S. Army Corps of Engineers, HEC-HMS, Hydrologic Modeling System Manual, U.S. Army Corps of Engineers, 2023.
- [10] United States Environmental Protection Agency, Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2, United States Environmental Protection Agency, 2022.

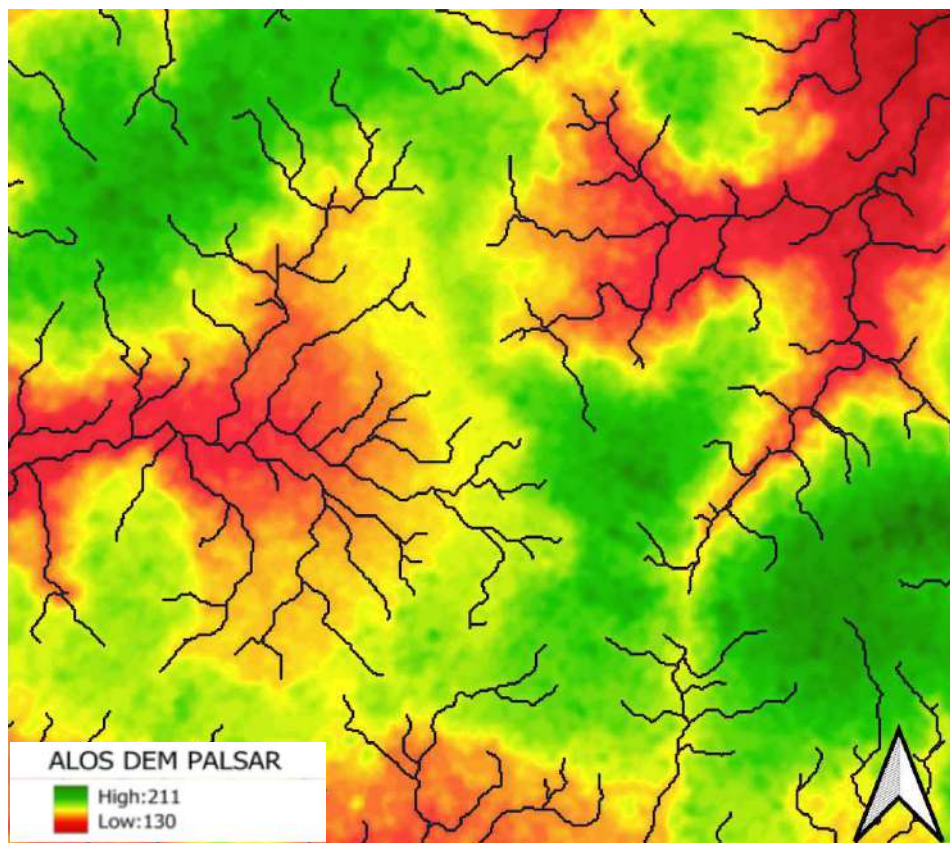
**ANEXOS**

## ANEXO I

### DEM ALOS PALSAR

#### 1. Modelo Digital de Elevación

El modelo digital de elevación (DEM) utilizado en la elaboración de este Proyecto Final de Grado corresponde a una versión con una resolución espacial de 12.5 metros por píxel. Este DEM fue empleado para representar la topografía del área de estudio, proporcionando información detallada sobre la variación de la altitud del terreno con una precisión de 12.5 metros en cada celda del raster.



**Figura 1** DEM ALOS-PALSAR en la zona de estudio

**Fuente:** Elaboración propia

## 2. Relevamientos Topográfico

Se llevaron a cabo trabajos de levantamiento topográfico con el objetivo de obtener datos precisos sobre las características geométricas del canal, incluyendo la medición de la profundidad, el ancho y la pendiente. El relevamiento se realizó utilizando métodos y equipos adecuados para garantizar la precisión y la fiabilidad de las mediciones, lo que permitió una representación detallada de la morfología del canal.

**Tabla 1:** Puntos levantados en campo

P	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN	DESCRIPCIÓN
1	555.143.028	7185125,37	141,532	Base_0
2	555.284.137	7.185.182.991	142,527	Ruta 01
3	555.291.011	7.185.177.117	142,533	Ruta 02
4	555.286.622	7.185.172.229	142,41	Perimetral 1
5	555.280.093	7.185.177.918	142,412	Perimetral 2
6	555.211.549	7.185.084.423	141,842	Perimetral 3
7	555.205.603	7.185.077.426	141,808	Perimetral 4
8	555.205.266	7.185.089.315	141,867	Perimetral 5
9	555.115.423	7.185.163.239	141,537	Perimetral 6
10	555.110.288	7.185.169.122	141,395	Perimetral 7
11	555189,28	7.185.264.037	142,187	Ruta 03

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

12	555.196.043	7.185.258.191	142,223	Ruta 04
13	555191,65	7.185.253.049	142,015	Perimetral 8
14	555.184.905	7.185.258.775	141,998	Perimetral 9
15	555.022.748	7.185.243.073	140,741	Perimetral 10
16	555016,95	7.185.249.376	140,708	Perimetral 11
17	555.103.371	7.185.336.685	141,85	Ruta 05
18	555.096.368	7.185.342.344	141,852	Ruta 06
19	555.091.942	7185337,25	141,716	Perimetral 12
20	555.097.834	7.185.332.455	141,63	Perimetral 13
21	554.934.411	7.185.317.643	140,207	Perimetral 14
22	554.929.974	7.185.312.159	140,226	Perimetral 15
23	554.931.365	7.185.313.956	140,281	Calle 1
24	554.942.818	7.185.301.661	140,41	Calle 2
25	554.944.928	7.185.304.216	140,444	Calle 3
26	554947,35	7.185.306.847	140,348	Calle 4
27	554.960.202	7.185.296.241	140,499	Calle 5

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

28	554.957.819	7.185.293.423	140,585	Calle 6
29	554.955.631	7.185.290.939	140,486	Calle 7
30	554.967.543	7.185.281.024	140,542	Calle 8
31	554.969.644	7.185.283.822	140,619	Calle 9
32	554.971.878	7.185.286.554	140,509	Calle 10
33	554.986.804	7185274,28	140,631	Calle 11
34	554984,48	7.185.271.629	140,737	Calle 12
35	554.981.999	7185269,03	140,644	Calle 13
36	554.995.973	7.185.257.511	140,753	Calle 14
37	554.998.328	7.185.260.119	140,836	Calle 15
38	554.999.929	7.185.263.451	140,742	Calle 16
39	555.016.699	7.185.243.443	140,904	Essap 1
40	555.012.364	7.185.243.747	140,755	Calle 17
41	555.017.812	7.185.236.624	140,744	Calle 18
42	555.032.384	7.185.256.488	140,932	Calle 19
43	555029,8	7.185.259.054	141,074	Calle 20

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

44	555.027.386	7.185.261.382	140,954	Calle 21
45	555.038.989	7.185.274.983	141,165	Calle 22
46	555.041.617	7185272,71	141,2	Calle 23
47	555.044.053	7.185.270.483	141,098	Calle 24
48	555.055.248	7.185.283.232	141,118	Calle 25
49	555.052.702	7.185.285.465	141,281	Calle 26
50	555050,23	7.185.288.056	141,204	Calle 27
51	555.068.524	7.185.309.154	141,316	Calle 28
52	555.071.051	7.185.306.974	141,502	Calle 29
53	555.073.422	7.185.304.288	141,342	Calle 30
54	555.095.395	7.185.334.437	141,668	Calle 31
55	555.037.388	7185230,57	140,813	Calle 32
56	555.034.803	7.185.227.662	140,949	Calle 33
57	555.032.145	7.185.224.868	140,96	Calle 34
58	555.046.862	7.185.212.187	140,915	Calle 35
59	555049,39	7.185.215.138	141,021	Calle 36

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

60	555.051.947	7185218,16	140,884	Calle 37
61	555.066.186	7.185.206.183	140,931	Calle 38
62	555063,59	7185203,14	141,073	Calle 39
63	555.060.695	7.185.200.432	140,969	Calle 40
64	555.080.173	7.185.184.143	141,089	Calle 41
65	555.082.784	7.185.187.059	141,145	Calle 42
66	555.085.417	7.185.189.923	141,028	Calle 43
67	555.098.647	7.185.178.665	141,236	Calle 44
68	555.096.163	7.185.175.457	141,222	Calle 45
69	555.093.485	7.185.172.777	141,098	Calle 46
70	555103,99	7.185.163.932	141,263	Calle 47
71	555.108.206	7.185.159.057	141,44	Calle 48
72	555.110.807	7.185.162.992	141,426	Calle 49
73	555.127.099	7.185.176.965	141,439	Calle 50
74	555.124.105	7.185.179.603	141,519	Calle 51
75	555.121.215	7.185.182.442	141,273	Calle 52

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

76	555.133.934	7.185.198.225	141,436	Calle 53
77	555.137.356	7185195,54	141,638	Calle 54
78	555.140.239	7.185.192.268	141,598	Calle 55
79	555.158.837	7.185.213.824	141,511	Calle 56
80	555.155.149	7.185.216.697	141,702	Calle 57
81	555.151.477	7.185.219.965	141,469	Calle 58
82	555168,8	7.185.240.082	141,686	Calle 59
83	555.172.193	7.185.237.161	141,753	Calle 60
84	555175,45	7.185.233.902	141,646	Calle 61
85	555.188.239	7.185.255.921	141,993	Calle 62
86	555.136.892	7.185.147.288	141,578	Calle 63
87	555.134.071	7.185.143.933	141,599	Calle 64
88	555.131.088	7.185.140.215	141,376	Calle 65
89	555.150.793	7.185.123.618	141,509	Calle 66
90	555.153.841	7.185.127.063	141,701	Calle 67
91	555.156.929	7185130,3	141,616	Calle 68

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

92	555.179.481	7.185.111.429	141,738	Calle 69
93	555.176.783	7.185.107.917	141,731	Calle 70
94	555.173.432	7.185.104.773	141,574	Calle 71
95	555205,38	7.185.082.922	141,919	Essap 2
96	555.201.513	7.185.079.727	141,86	Calle 72
97	555.218.331	7.185.104.237	141,902	Calle 73
98	555.221.356	7.185.101.842	142,027	Calle 74
99	555.224.261	7.185.099.418	141,892	Calle 75
100	555.243.945	7.185.122.425	141,991	Calle 76
101	555.241.349	7185125,42	142,141	Calle 77
102	555.238.798	7.185.128.263	142,002	Calle 78
103	555260,21	7.185.153.768	142,139	Calle 79
104	555.263.072	7.185.150.908	142,311	Calle 80
105	555.265.904	7.185.148.359	142,271	Calle 81
106	555.283.776	7.185.174.685	142,281	Calle 82
107	555.282.759	7.185.165.688	141,508	Canal 1

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

108	555.282.221	7.185.166.141	142,29	Canal 2
109	555.283.312	7.185.165.216	142,361	Canal 3
110	555.272.975	7.185.170.626	141,88	Canal 4
111	555273,48	7.185.170.244	142,242	Canal 5
112	555.272.402	7.185.171.041	142,258	Canal 6
113	555.242.312	7.185.133.848	141,469	Canal 7
114	555.242.715	7.185.133.436	141,965	Canal 8
115	555.241.762	7185134,24	141,971	Canal 9
116	555.250.032	7.185.128.225	141,475	Canal 10
117	555.250.581	7185127,83	141,936	Canal 11
118	555.249.579	7.185.128.675	141,974	Canal 12
119	555.213.055	7185084,9	140,967	Canal 13
120	555.212.917	7.185.085.687	141,747	Canal 14
121	555.214.205	7.185.084.964	141,785	Canal 15
122	555.205.039	7.185.091.639	140,978	Canal 16
123	555.207.059	7.185.091.767	141,731	Canal 17

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

124	555.206.392	7.185.092.722	141,727	Canal 18
125	555.204.401	7.185.090.691	141,701	Canal 19
126	555.203.797	7.185.092.816	141,806	Canal 20
127	555.202.959	7.185.092.746	140,851	Canal 21
128	555.198.606	7.185.082.084	141,165	Canal 22
129	555.198.993	7.185.082.443	141,819	Canal 23
130	555.198.391	7.185.081.431	141,754	Canal 24
131	555.205.819	7.185.076.034	140,894	Canal 25
132	555.158.621	7.185.115.933	140,563	Canal 26
133	555158,24	7.185.115.465	141,453	Canal 27
134	555.159.132	7.185.116.353	141,503	Canal 28
135	555.164.645	7.185.124.931	140,812	Canal 29
136	555.165.169	7.185.125.183	141,799	Canal 30
137	555.164.382	7.185.124.493	141,672	Canal 31
138	555.117.503	7.185.164.553	140,106	Canal 32
139	555.116.491	7185164,72	141,456	Canal 33

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

140	555117,66	7185165,61	141,511	Canal 34
141	555.118.635	7.185.164.794	141,511	Canal 35
142	555.110.453	7.185.156.452	140,095	Canal 36
143	555110,51	7.185.170.464	140,029	Canal 37
144	555.111.441	7.185.170.815	141,187	Canal 38
145	555110,49	7.185.171.649	141,121	Canal 39
146	555.110.444	7.185.169.614	141,273	Canal 40
147	555.109.653	7.185.170.268	141,248	Canal 41
148	555.137.749	7.185.204.156	140,977	Canal 42
149	555.137.278	7.185.204.486	141,501	Canal 43
150	555.138.124	7.185.203.848	141,461	Canal 44
151	555.145.322	7.185.196.674	140,616	Canal 45
152	555.145.736	7.185.196.237	141,476	Canal 46
153	555.144.813	7.185.197.105	141,476	Canal 47
154	555.159.164	7.185.230.652	140,812	Canal 48
155	555.158.796	7.185.231.035	141,571	Canal 49

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

156	555159,66	7.185.230.377	141,541	Canal 50
157	555.187.483	7185246,68	141,026	Canal 51
158	555.186.953	7.185.247.154	141,927	Canal 52
159	555188,01	7.185.246.246	141,952	Canal 53
160	555.101.564	7.185.164.321	139,885	Canal 54
161	555.100.419	7.185.164.164	141,059	Canal 55
162	555.101.542	7.185.165.681	141,337	Canal 56
163	555.068.793	7185192,21	139,943	Canal 57
164	555.068.286	7.185.191.459	140,881	Canal 58
165	555.069.422	7.185.192.855	140,969	Canal 59
166	555.076.414	7.185.199.158	139,877	Canal 60
167	555.077.121	7.185.199.686	140,928	Canal 61
168	555.075.896	7.185.198.355	140,944	Canal 62
169	555.027.337	7.185.240.594	139,789	Canal 63
170	555.027.889	7.185.241.348	140,702	Canal 64
171	555.026.576	7.185.239.964	140,785	Canal 65

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

172	555.020.398	7.185.232.964	139,636	Canal 66
173	555.019.722	7.185.232.291	140,712	Canal 67
174	555.020.963	7.185.233.733	140,858	Canal 68
175	555.024.867	7.185.260.145	140,239	Canal 69
176	555.025.379	7.185.259.581	140,725	Canal 70
177	555.024.463	7.185.260.421	140,335	Canal 71
178	555.030.941	7.185.251.748	139,912	Canal 72
179	555.031.612	7.185.251.445	140,794	Canal 73
180	555.030.703	7.185.252.279	140,769	Canal 74
181	555.065.995	7.185.289.987	140,32	Canal 75
182	555.066.373	7.185.289.465	140,912	Canal 76
183	555.065.553	7.185.290.432	141,072	Canal 77
184	555.054.146	7.185.296.424	140,609	Canal 78
185	555.053.738	7.185.296.733	141,047	Canal 79
186	555.054.542	7.185.296.195	141,071	Canal 80
187	555.086.278	7.185.332.249	140,87	Canal 81

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

188	555.085.821	7.185.332.645	141,621	Canal 82
189	555.086.808	7.185.331.793	141,599	Canal 83
190	555.100.221	7.185.331.851	141,833	Canal 84
191	555.086.107	7.185.315.255	140,982	Canal 85
192	555.017.049	7.185.250.543	140,902	Canal 86
193	555008,28	7.185.245.751	139,622	Canal 87
194	555.007.764	7.185.244.937	140,617	Canal 88
195	555.008.889	7.185.246.441	140,773	Canal 89
196	555.010.554	7.185.256.186	139,643	Canal 90
197	555.011.221	7.185.256.804	140,699	Canal 91
198	555.010.003	7.185.255.465	140,749	Canal 92
199	554.971.755	7.185.288.138	139,45	Canal 93
200	554.972.302	7.185.288.856	140,513	Canal 94
201	554.971.166	7.185.287.457	140,482	Canal 95
202	554967,31	7.185.279.723	139,423	Canal 96
203	554.966.794	7.185.278.934	140,455	Canal 97

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

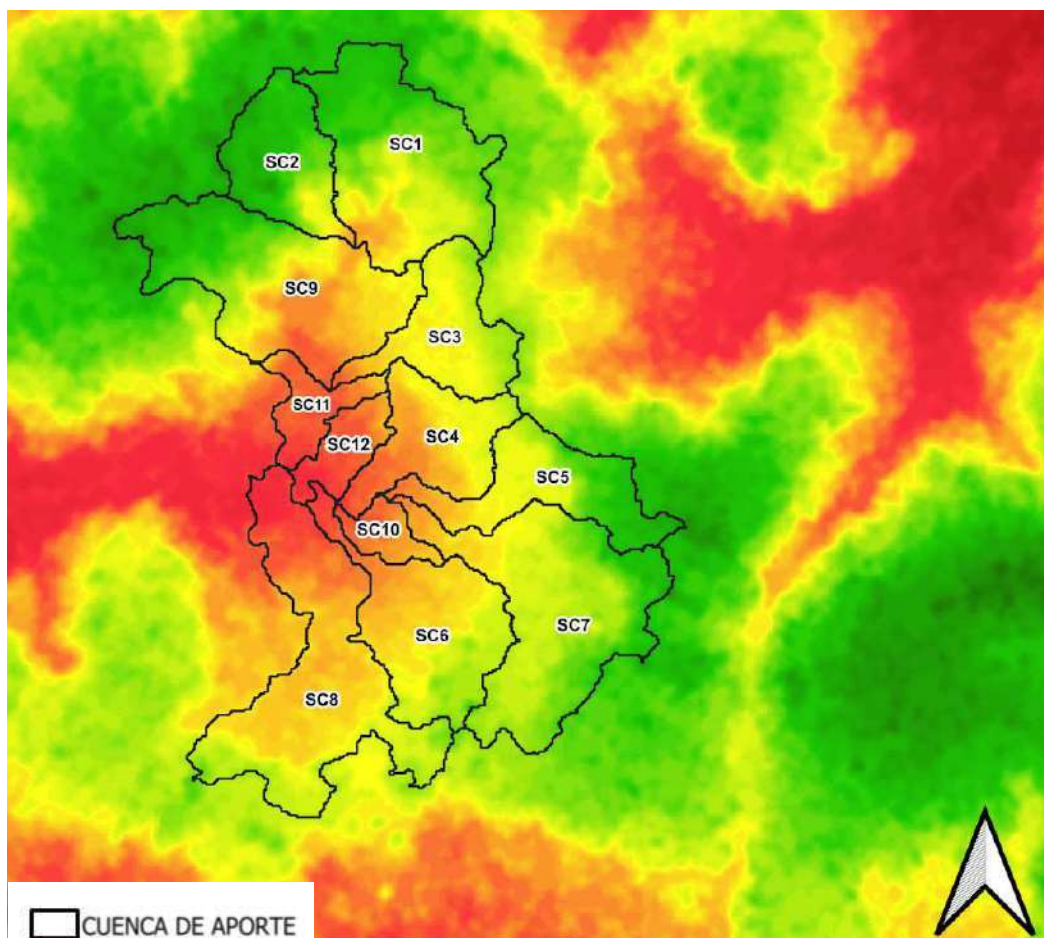
204	554.967.955	7.185.280.399	140,585	Canal 98
205	554.939.505	7.185.302.718	139,137	Canal 99
206	554.940.064	7.185.303.482	140,263	Canal 100
207	554.938.966	7.185.302.006	140,314	Canal 101
208	554.926.831	7.185.304.333	138,943	Canal 102
209	554.928.667	7.185.302.982	140,563	Canal 103
210	554.925.244	7.185.305.555	140,201	Canal 104
211	554939,72	7.185.322.429	140,358	Canal 105
212	554.941.025	7.185.321.419	139,118	Canal 106
213	554.942.163	7.185.320.271	140,467	Canal 107
214	554940,61	7.185.313.925	139,27	Canal 108
215	554.941.209	7.185.314.664	140,477	Canal 109
216	554940,01	7.185.313.224	140,395	Canal 110

## ANEXO II

### MODELO HIDROLÓGICO HEC-HMS

#### 1. Delimitación de la cuenca

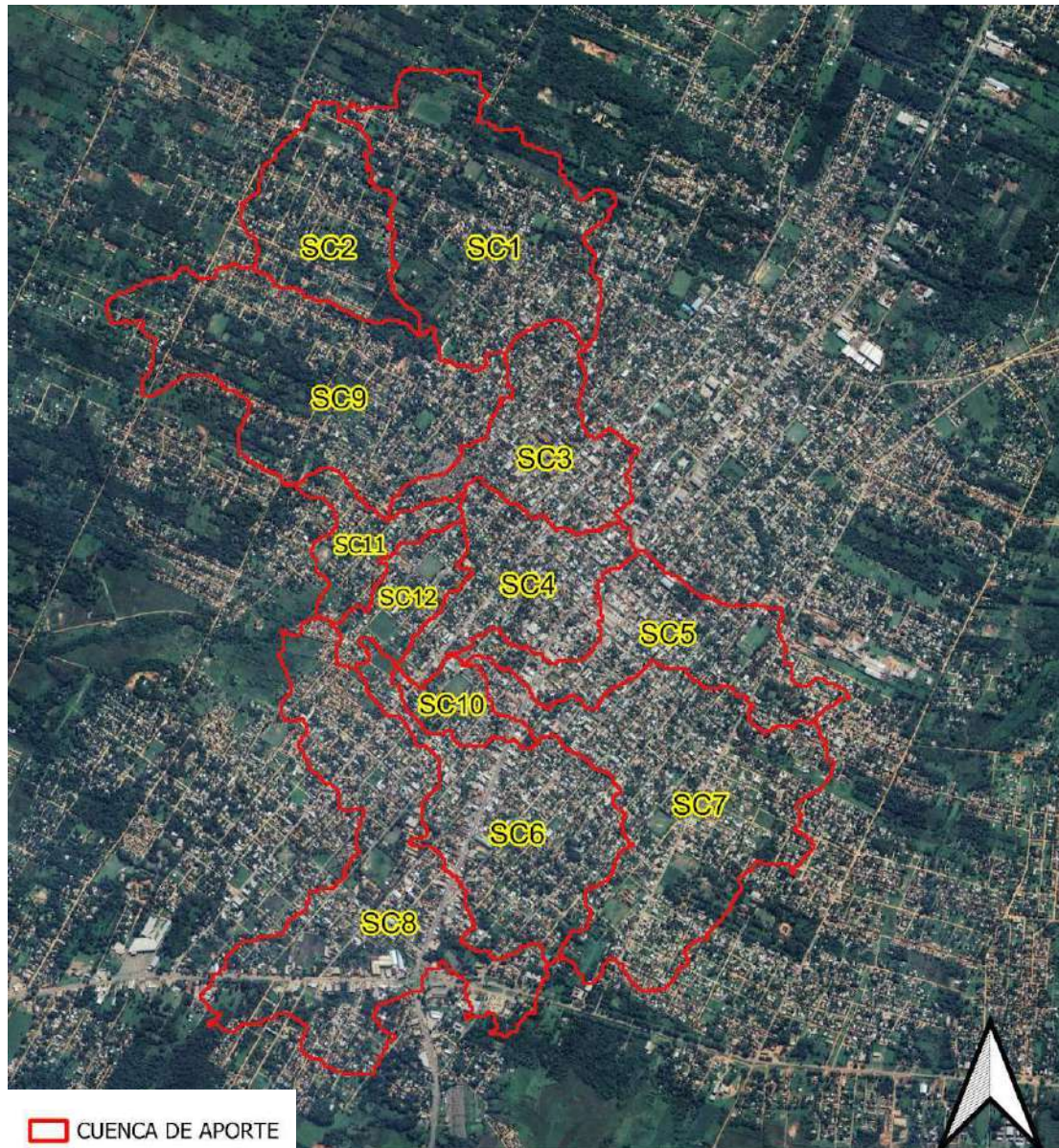
Para llevar a cabo la delimitación automática de subcuencas, es necesario utilizar un DEM como dato de entrada. El software emplea algoritmos que calculan la dirección del flujo superficial utilizando la máxima pendiente del terreno. Este proceso permite modelar la red de drenaje, identificar las cuencas hidrográficas y subcuencas, y asignar correctamente las áreas de captación de agua en función de la topografía del terreno. Se introdujo un umbral de  $2\text{km}^2$ , teniendo que la cuenca zona de estudio queda en una zona urbana, así cada subcuenca definida no tendrá una superficie mayor a lo ya establecido.



**Figura 1** Subcuencas de estudio

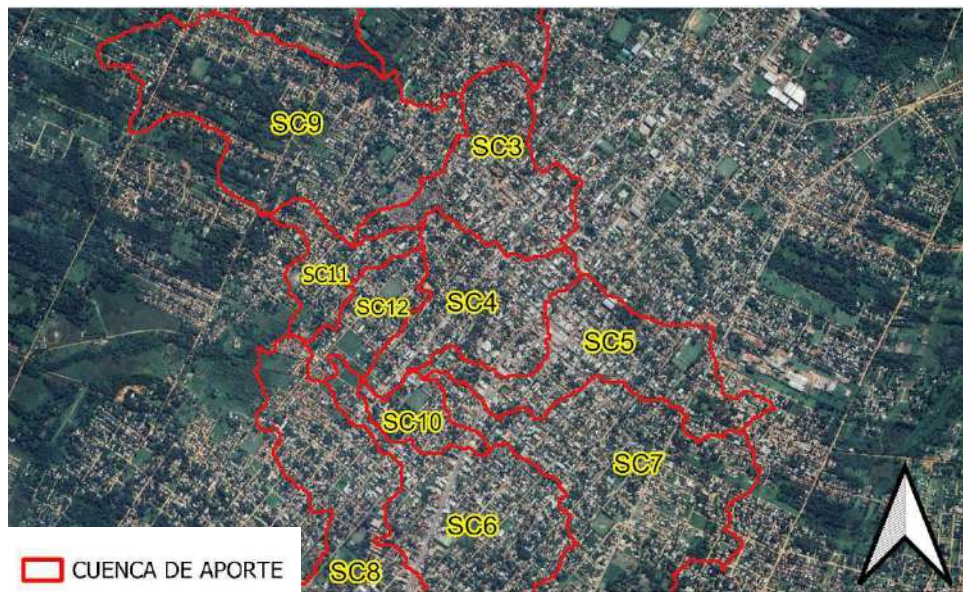
**Fuente:** Elaboración propia

Se delimitó un total de 12 subcuencas con el objetivo de realizar una modelización hidrológica. Las áreas de las subcuencas presentan una suma total de 921,131 hectáreas.



**Figura 2** Subcuencas sobre imagen satelital Google Earth

**Fuente:** Elaboración propia

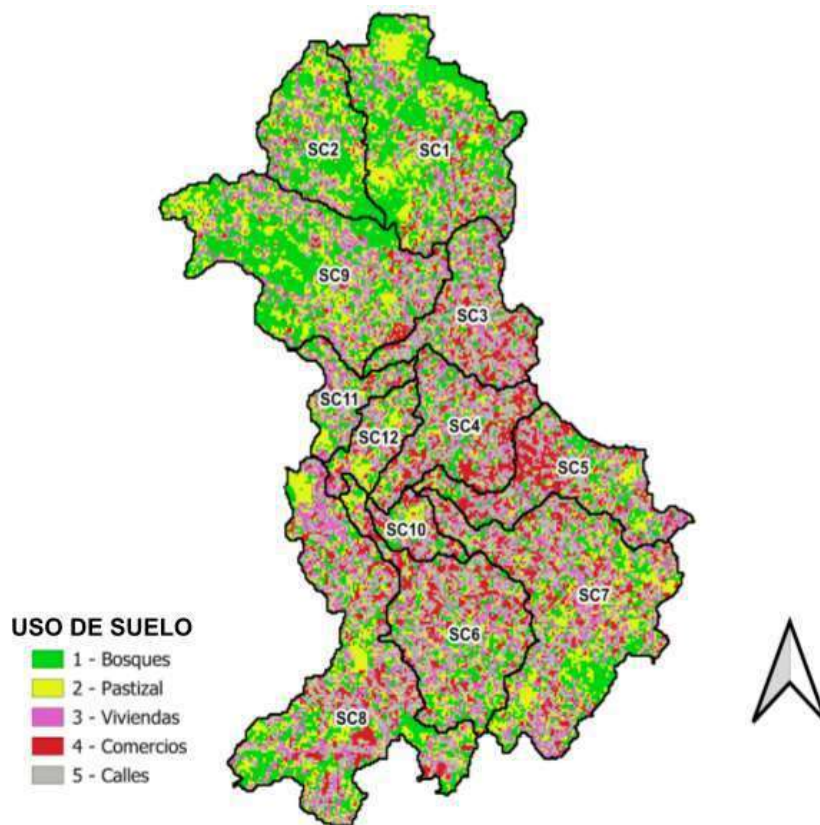


**Figura 3** Zoom in de la zona de estudio (SC11 Y SC12)

**Fuente:** Elaboración propia

## 2. Tipo y Uso de suelo

Se realizó una clasificación supervisada del uso del suelo en QGIS, utilizando imágenes satelitales recientes para identificar las diferentes clases de uso del suelo en la zona de estudio. Con esta información, se determinó el Número de Curva (CN) para cada subcuenca, lo que permite evaluar la capacidad de escorrentía en la zona. Este análisis se llevó a cabo a través de herramientas de procesamiento y modelado hidrológico en QGIS 3.34.11.



**Figura 4** Cobertura de uso de suelo de la cuenca

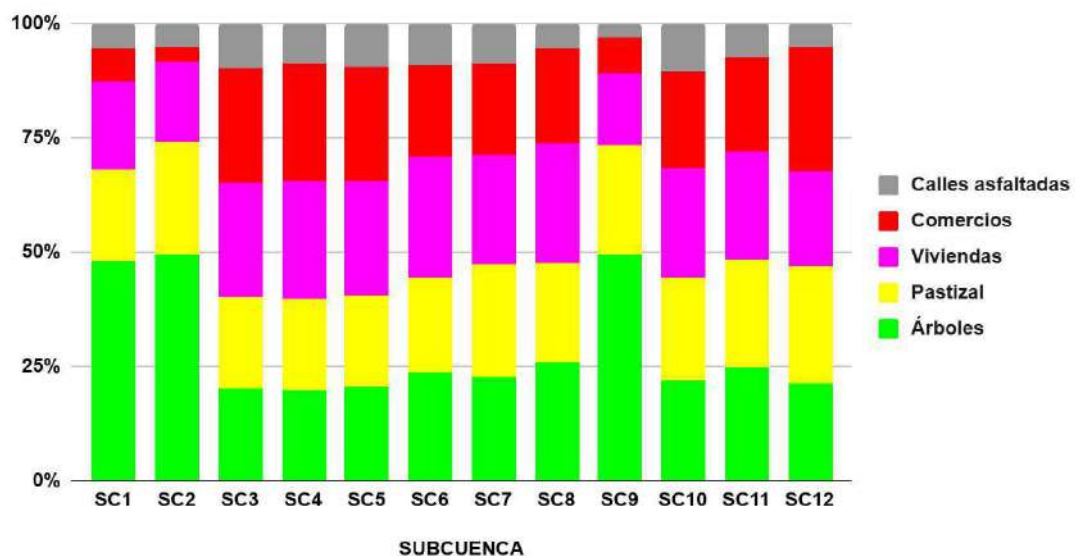
**Fuente:** Elaboración propia

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

N°	CATEGORÍAS				
	Árboles	Pastizal	Viviendas	Comercios	Calles asfaltadas
SC1	48,32%	20,25%	19,05%	7,36%	5,02%
SC2	49,98%	24,34%	17,58%	3,15%	4,95%
SC3	20,36%	20,02%	25,06%	25,06%	9,50%
SC4	20,01%	20,25%	25,65%	25,85%	8,24%
SC5	21,05%	19,98%	24,85%	25,04%	9,08%
SC6	24,15%	20,58%	26,54%	20,15%	8,58%
SC7	23,05%	24,45%	23,95%	20,35%	8,20%
SC8	26,10%	21,89%	25,99%	20,75%	5,27%
SC9	49,87%	23,85%	15,85%	7,85%	2,58%
SC10	22,32%	22,65%	23,65%	21,11%	10,27%
SC11	25,19%	23,47%	23,52%	20,95%	6,87%
SC12	21,63%	25,78%	20,63%	27,02%	4,94%

**Tabla 1:** Porcentaje de uso de suelo en cada subcuenca.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5** Cobertura de uso de suelo por cada subcuenca

**Fuente:** Elaboración propia

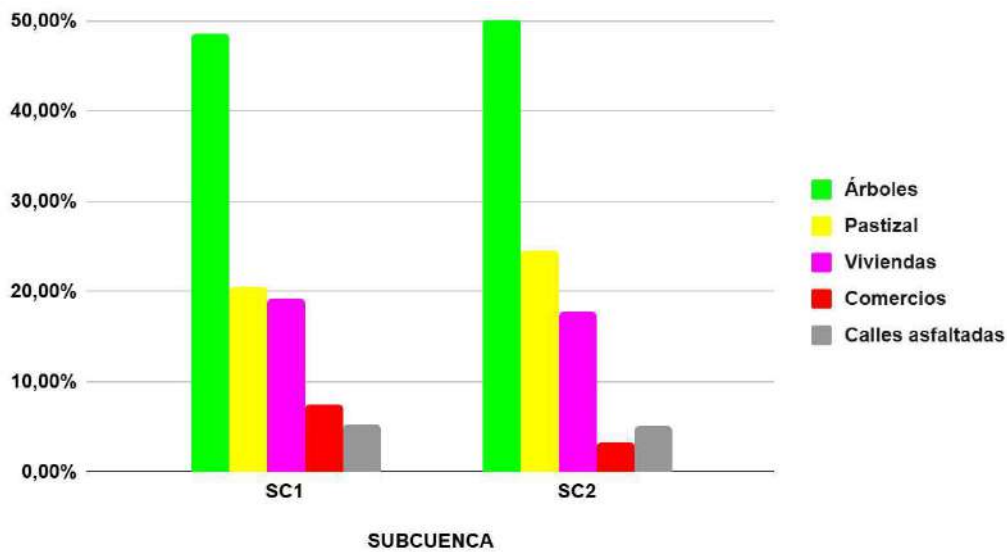
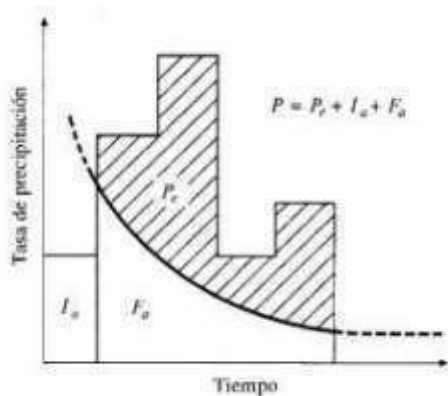


Figura 6 Cobertura de uso de suelo por área de subcuenca

Fuente: Elaboración propia

### 3. Cálculo de infiltración y escurrimiento

El término escurrimiento superficial se refiere al volumen de precipitaciones que caen en una cuenca o subcuenca, descontando la retención superficial y la infiltración que se genera en ella. Existe una cantidad específica de precipitación  $I_a$  (abstracción inicial) que no genera escorrentía; por lo tanto, la escorrentía potencial se puede expresar como  $P - I_a$



Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS:  $I_a$  = abstracción inicial,  $P_e$  = exceso de precipitación,  $F_a$  = abstracción continuada,  $P$  = precipitación total.

**Figura 7** Esquema de variables en el método del SCS

**Fuente:** V. T. Chow, Hidrología Aplicada, Mcgraw-Hill Interamericana, 2004.

La hipótesis del método del SCS establece que las relaciones entre las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son equivalentes, es decir;

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P-I_a} \quad \text{Ecuación 1}$$

Combinando la ecuación 1 con la ecuación del principio de continuidad y resolviendo para  $P_e$  se tiene:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad \text{Ecuación 2}$$

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad \text{Ecuación 3}$$

Esta es la ecuación fundamental para calcular la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta según el método del SCS.

Al analizar los resultados de numerosas cuencas experimentales pequeñas, se estableció una relación empírica:

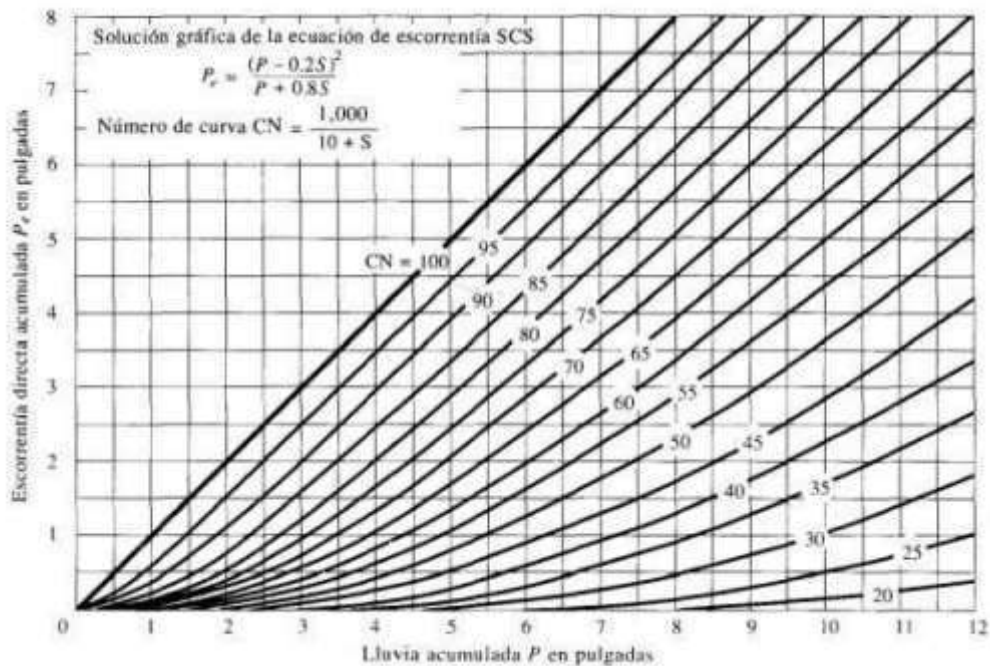
$$I_a = 0.2S \quad \text{Ecuación 4}$$

En función de esto se tiene:

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad \text{Ecuación 5}$$

Al graficar la información de  $P$  y  $P_e$  para varias cuencas, el SCS observó curvas como que se muestran en la figura 8.

Para estandarizar estas curvas, se introduce un número adimensional llamado, CN, que varía entre 0 y 100. Para superficies impermeables,  $CN = 100$ ; mientras que para superficies naturales,  $CN < 100$ .



**Figura 8** Relación de P y Pe en cuencas analizadas

**Fuente:** Soil Conservation Service, USDA

El número de curva y S se vinculan de la siguiente forma:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde S está en pulgadas

Los números de curva presentados en la Figura 8 son válidos para condiciones generales de humedad normales (AMC II). Para situaciones de sequedad (AMC I) o de alta humedad (AMC III), donde se pueden calcular los números de curva equivalentes de la siguiente manera:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$CN(II) = \frac{23CN(III)}{10 + 0.13CN(III)} \quad \text{Ecuación 8}$$

En la siguiente tabla se presenta el rango de condiciones de humedad previas para cada clase. Los números de curva han sido compilados por el Soil Conservation Service, considerando el tipo de suelo y el uso del terreno.

GRUPO AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

**Tabla 2** Clasificación de clases de antecedentes de humedad

**Fuente:** Soil Conservation Service, USDA

Donde se definen cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN correspondientes a distintos usos del suelo para estos tipos de suelo se presentan en la Tabla 3. En el caso de una cuenca que incluya varios tipos de suelo y diferentes usos del terreno, es posible calcular un CN compuesto.

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada 1:	sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques:	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	cubierta buena 2	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc					
	óptimas condiciones: cubierta de pasto del 75% o más	39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50% al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios: 85% impermeables		89	92	94	95
Distritos industriales: 72% impermeables		81	88	91	93
Residencial 3:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable 4				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.5		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
	Pavimentados con cunetas y alcantarillados 5	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service. 1972, Cap. 9

2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo

3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curvas

### Tabla 3 Valores de Referencia de CN

**Fuente:** Soil Conservation Service, USDA.

Por último, la siguiente tabla resume los valores utilizados para el CN en este presente Proyecto Final de Grado, basándose en la bibliografía, para los grupos hidrológicos de la zona de estudio.

Uso de suelo	B	D
	CN (II)	CN (II)
Pastizales	79	89
Bosques	66	83
Zonas comerciales	92	95
Zonas Residenciales lotes < 1000 m <sup>2</sup>	75	87
Vías	98	98

**Tabla 4** Valores de CN adoptado

**Fuente:** Soil Conservation Service, USDA

Una vez establecidos los usos y tipos de suelo, se llevó a cabo la superposición de ambos mapas utilizando técnicas de geoprocésamiento para determinar un valor de CN resultante para cada subcuenca. El cálculo del CN ponderado para cada subcuenca se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$CN_{ponderado} = \frac{\Sigma(CN \times \text{ÁREA})}{\Sigma \text{ÁREA}} \quad \text{Ecuación 9}$$

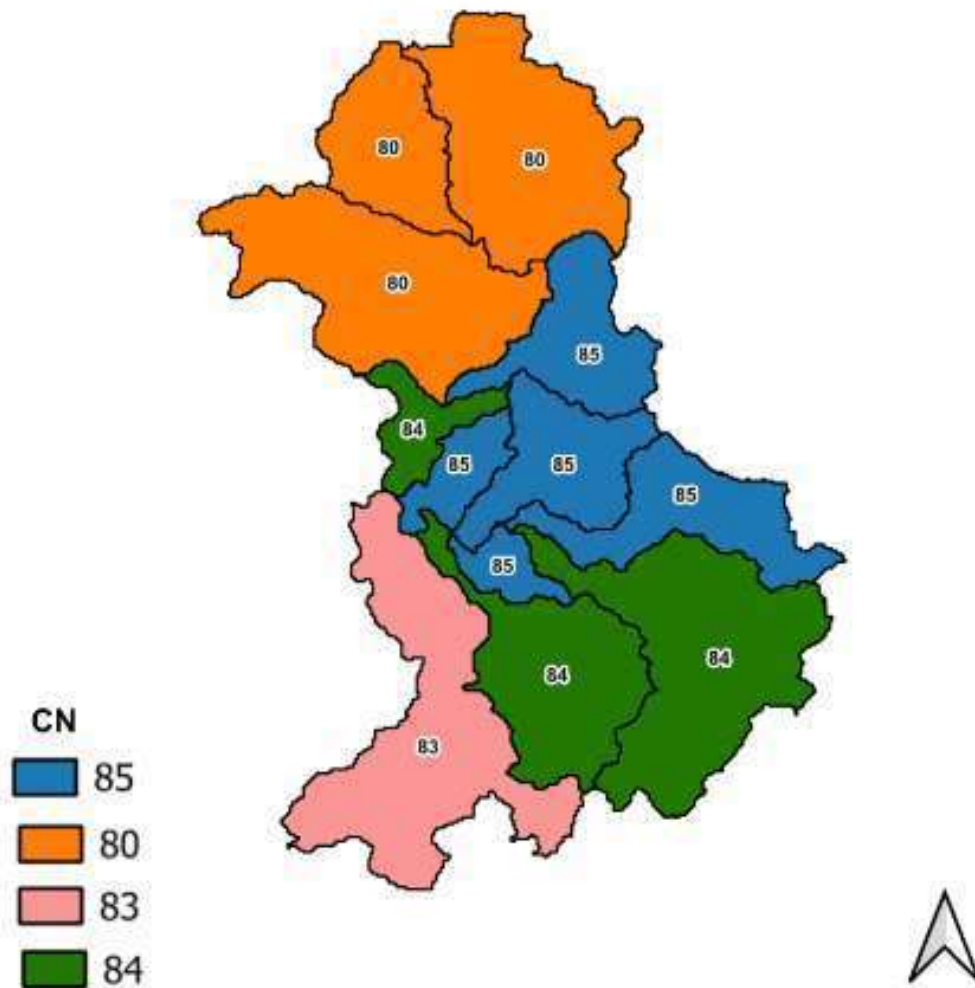
A partir de la ecuación, se obtienen los valores de CN, como se representa en la tabla 5 Así también se presentan visualmente en la Figura 9. Estos valores son necesarios para los cálculos hidrológicos en el programa HEC-HMS.

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

		CN adoptado					
		CN_ 66-83	CN_ 79-89	CN_ 75-87	CN_ 92-95	CN_ 98-98	
		75	84	81	94	98	
		Uso de suelo en %					
SUB CUENCA	Area(ha)	Árboles	Pastizal	Viviendas	Comercios	Calles Asfaltadas	CN ponderado
SC1	117,94	48,32%	20,25%	19,05%	7,36%	5,02%	80
SC2	57,03	49,98%	24,34%	17,58%	3,15%	4,95%	80
SC3	57,31	20,36%	20,02%	25,06%	25,06%	9,50%	85
SC4	58,06	20,01%	20,25%	25,65%	25,85%	8,24%	85
SC5	65,22	21,05%	19,98%	24,85%	25,04%	9,08%	85
SC6	88,391	24,15%	20,58%	26,54%	20,15%	8,58%	84
SC7	136,47	23,05%	24,45%	23,95%	20,35%	8,20%	84
SC8	144,2	26,10%	21,89%	25,99%	20,75%	5,27%	83
SC9	128,75	49,87%	23,85%	15,85%	7,85%	2,58%	80
SC10	16,39	22,32%	22,65%	23,65%	21,11%	10,27%	85
SC11	25,37	25,19%	23,47%	23,52%	20,95%	6,87%	84
SC12	24	21,63%	25,78%	20,63%	27,02%	4,94%	85

**Tabla 5** Número de curva CN para cada subcuenca

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 9** Valores de CN ponderados para cada subcuenca

**Fuente:** Elaboración propia

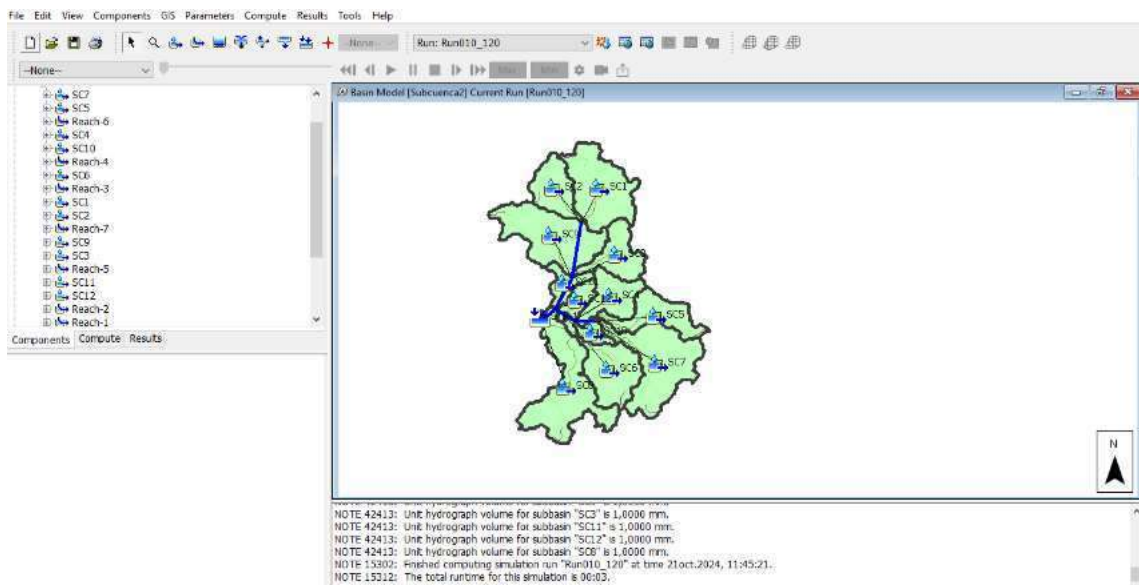
#### 4. Modelo conceptual en HEC-HMS

Una vez definidas las cuencas de estudio, se procedió a elaborar el modelo de subcuencas para cada una. Estas subcuencas se generan según la red de drenaje y la topografía, donde se les asignan características específicas basadas en el tipo de suelo, uso del suelo, precipitación media, entre otros factores.

Una vez establecido el sistema de drenaje de las cuencas de estudio, se puede desarrollar el modelo conceptual en el programa HEC-HMS. En este modelo conceptual se especifican los elementos que compondrán el sistema:

## Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

1. Subbasin: La cuenca a modelar se divide en diferentes subcuencas.
2. Reach: Los hidrogramas resultantes a la salida de las subcuencas se propagan a través de cauces.
3. Junction: Para representar la operación de suma de hidrogramas en un punto.



**Figura 10** Modelo conceptual desarrollado en HEC-HMS

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 11** Esquema del modelo conceptual de la cuenca en HEC HMS

**Fuente:** Elaboración propia

## 5. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración de una cuenca depende de varios factores, como la pendiente media, la longitud del cauce, la forma de la cuenca y la cobertura del suelo, así como de otros parámetros fisiográficos en menor medida. Para calcular el tiempo de concentración, se utilizó la fórmula del Departamento Nacional de Obras e Saneamiento de Brasil (DNOS), que es presentada a continuación:

$$T_c = \frac{10 \cdot A^{0.3} \cdot L^{0.2}}{K \cdot I^{0.4}} \quad \text{Ecuación 10}$$

En la siguiente tabla, se presenta el cálculo para el tiempo de concentración de cada subcuenca:

SUB CUENCA	Area(ha)	L(m)	Pend L(i)%	K adoptado	TC(min)	TC(hs)	TC(hs) adoptado
SC1	117,94	1902,71	1,787	3	50,05	0,83	1
SC2	57,03	3702,57	1,026	3	57,41	0,96	1
SC3	57,31	3175,35	0,945	3	57,61	0,96	1
SC4	58,06	1739,25	2,185	3	36,67	0,61	1
SC5	65,22	1809,14	1,548	3	43,93	0,73	1
SC6	88,391	1555,67	1,993	3	42,21	0,7	1
SC7	136,47	2492,95	1,845	3	54,49	0,91	1
SC8	144,2	2530,9	1,343	3	63,09	1,05	2
SC9	128,75	2816,62	1,065	3	68,36	1,14	2
SC10	16,39	889,17	1,799	3	23,72	0,4	1
SC11	25,37	1165,95	1,63	3	29,69	0,49	1
SC12	24	1046,94	1,051	3	34,06	0,57	1

**Tabla 6** Tiempo de concentración (DNOS) para cada subcuenca

**Fuente:** Elaboración propia

Para la modelación se adopta el tiempo de concentración mayor TC=68.36 min =1,14hs. De este modo, se elige un tiempo de concentración TC= 2 horas para la lluvia de diseño que se empleará en la modelación.

## 6. Precipitación y tiempo de retorno

Para generar una precipitación, se empleó una curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), que es una relación matemática, generalmente

empírica, que vincula la intensidad de una precipitación en mm/h, su duración en minutos y la frecuencia en años con la que se presenta.

Se puede definir como la inversa de la probabilidad de que ocurra dicho evento. En términos más simples, una precipitación con un tiempo de retorno (TR) de 5 años implica una probabilidad de ocurrencia anual del 20%, lo que significa que se espera que ocurra al menos una vez cada cinco años. Por lo general, en drenaje urbano se utilizan TR que oscilan entre 5 y 25 años, mientras que para puentes y otras infraestructuras significativas, se pueden considerar TR de hasta 100 años.

La fórmula más utilizada para calcular la intensidad de una precipitación se presenta de la siguiente manera:

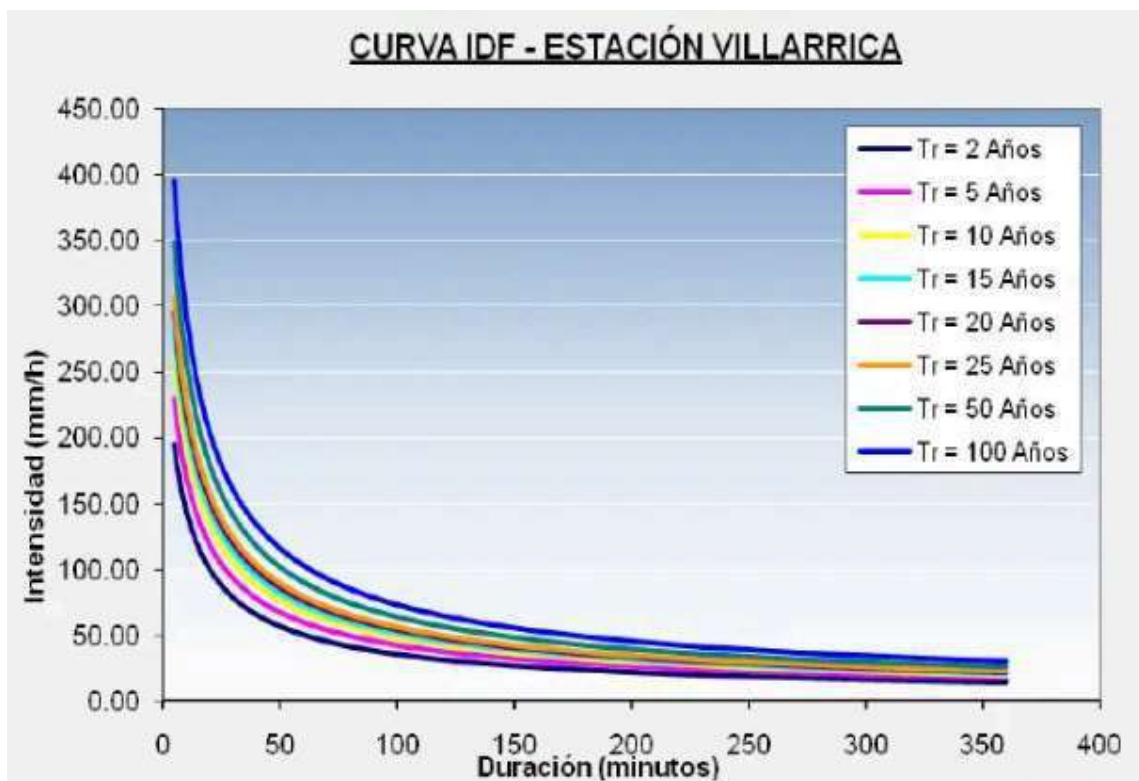
$$I = \frac{c \cdot TR^n}{(Tc+d)^m} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

- I es la intensidad en mm/h
- TR el tiempo de retorno en años
- Tc es el tiempo de concentración en minutos y finalmente
- c, n, d, m son constantes que dependen de las condiciones climáticas de cada lugar geográfico.

Para este Proyecto Final de Grado, se examinaron precipitaciones asociadas a un tiempo de retorno (TR) de 10 años, lo que implica una probabilidad de ocurrencia anual del 10%.

Así también debido a la cercanía geográfica y a similitud climática de la zona de estudio (ubicada en la ciudad de Coronel Oviedo) y la ciudad de Villarrica, se optó por utilizar la curva IDF de dicha ciudad. En la figura 12 se muestra la Curva IDF de la Estación de Villarrica (1969-2009)



**Figura 12** Curva IDF-Estación de Villarrica (1969-2009)

**Fuente:** DMH-DINAC: Dirección de Meteorología e Hidrología

En la siguiente tabla se especifican los parámetros para la curva IDF de la Estación de Villarrica.

Parámetros	Villarrica
c	902,31
n	0,18139
m	0,72055
d	5

**Tabla 7** Parámetros para la Curva IDF de Villarrica

**Fuente:** Actualización de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Precipitación en el Paraguay. Cuevas – Rolon. 2009

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores se tiene la fórmula de Intensidad, la cual se utilizó para este Proyecto Final Grado:

$$I = \frac{902.31 \cdot TR^{0.18139}}{(TC+5)^{0.72055}}$$

Ecuación 12

## **7. Hietograma de diseño**

Para simular la cuenca en el programa HEC-HMS, es necesario contar con un hietograma que muestre el volumen de precipitación en milímetros a lo largo del tiempo. Para distribuir temporalmente la precipitación, se aplica el método de los bloques alternos.

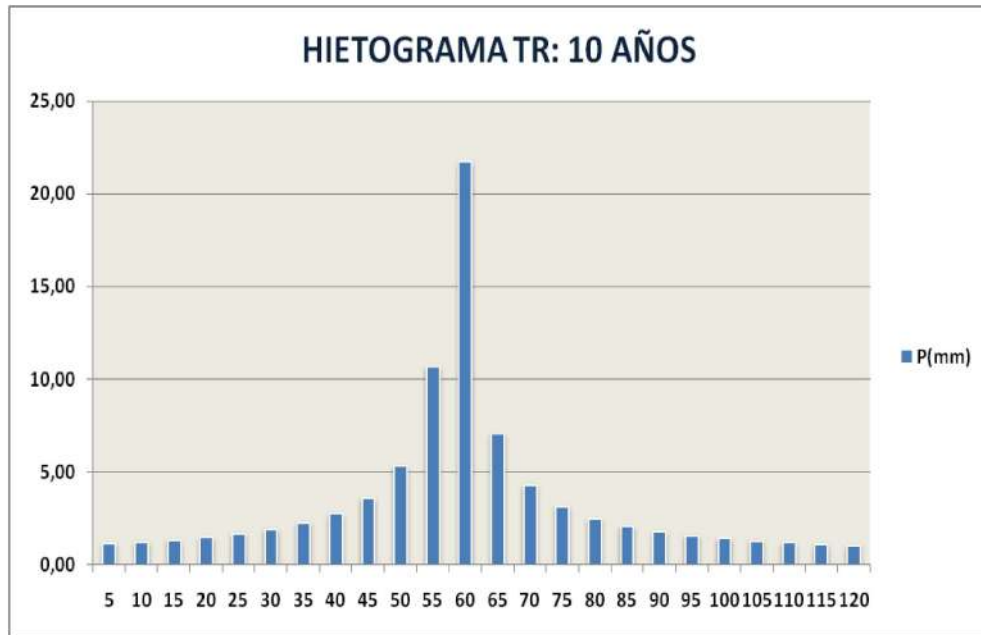
Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

---

Tiempo(min)	i(mm/h)	P(mm)	Acumulado (mm)
0	0	0	0
5	260,7328612	1,1	1,1
10	194,6763584	1,1	2,2
15	158,2299195	1,2	3,4
20	134,7286932	1,3	4,8
25	118,1424711	1,5	6,3
30	105,7225285	1,7	8,0
35	96,02436497	2,0	10,0
40	88,21115198	2,3	12,3
45	81,76226877	2,8	15,1
50	76,33565468	3,6	18,7
55	71,69665383	5,4	24,0
60	67,67855093	10,7	34,8
65	64,15941240	21,7	56,5
70	61,04785053	7,1	63,6
75	58,27392631	4,3	67,9
80	55,78314088	3,2	71,1
85	53,53235266	2,5	73,6
90	51,48693352	2,1	75,7
95	49,61874443	1,8	77,5
100	47,9046665	1,6	79,1
105	46,32551662	1,5	80,6
110	44,86523446	1,4	82,0
115	43,51026453	1,3	83,3
120	42,24908042	1,2	84,5

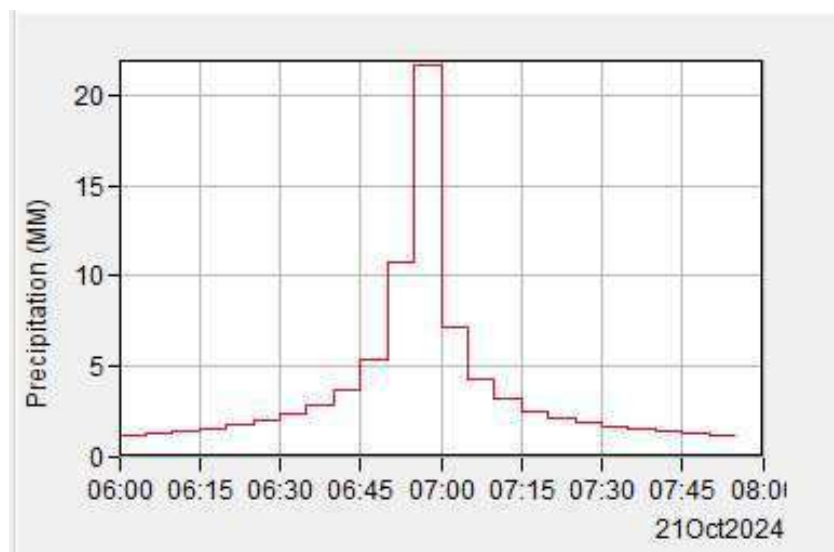
**Tabla 8** Método de bloques alternos

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 13** Hietograma de diseño para un TR 10 años

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 14** Hietograma para un TR 10 años insertado en HEC - HMS

**Fuente:** Elaboración propia

## 8. Simulación de la cuenca en HEC-HMS

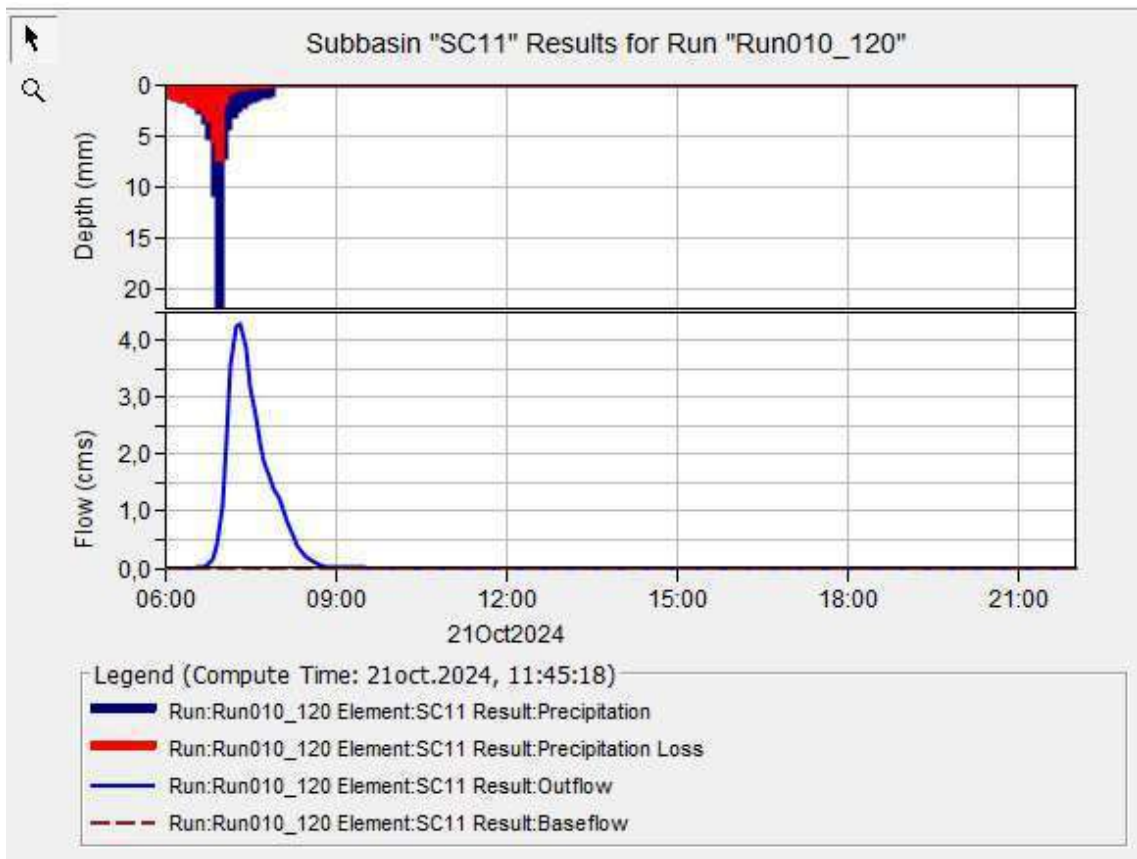
La simulación de la cuenca en el programa HEC-HMS, basados en los parámetros calculados y los métodos elegidos.

RESULTADO DE SIMULACIÓN HEC-HMS				
ELEMENTO	ÁREA DE DRENAJE (KM <sup>2</sup> )	CAUDAL PICO (M <sup>3</sup> /S)	TIEMPO PICO	VOLUMEN (MM)
SC7	1.4	16.1	21 October 2024, 07:35	44.62
SC5	0.7	9.1	21 October 2024, 07:25	46.40
Reach-6	2.0	24.8	21 October 2024, 07:30	45.19
SC4	0.6	9.1	21 October 2024, 07:20	46.42
SC10	0.2	3.3	21 October 2024, 07:15	46.22
Reach-4	2.8	35.0	21 October 2024, 07:30	45.51
SC6	0.9	12.2	21 October 2024, 07:25	44.53
Reach-3	3.6	47.1	21 October 2024, 07:25	45.27
SC1	1.2	12.2	21 October 2024, 07:35	37.39
SC2	0.6	5.4	21 October 2024, 07:40	37.07
Reach-7	1.7	17.5	21 October 2024, 07:35	37.29
SC9	1.3	10.8	21 October 2024, 07:45	37.18
SC3	0.6	6.8	21 October 2024, 07:35	46.47
Reach-5	3.6	34.4	21 October 2024, 07:40	38.71
SC11	0.3	4.3	21 October 2024, 07:20	44.42
SC12	0.2	4.0	21 October 2024, 07:20	46.21
Reach-2	7.7	85.9	21 October 2024, 07:30	42.22
Reach-1	7.7	85.9	21 October 2024, 07:30	42.22
SC8	1.4	14.8	21 October 2024, 07:40	42.89
Sink-1	9.2	99.1	21 October 2024, 07:30	42.32

**Tabla 9** Resultado de simulación en HEC HMS

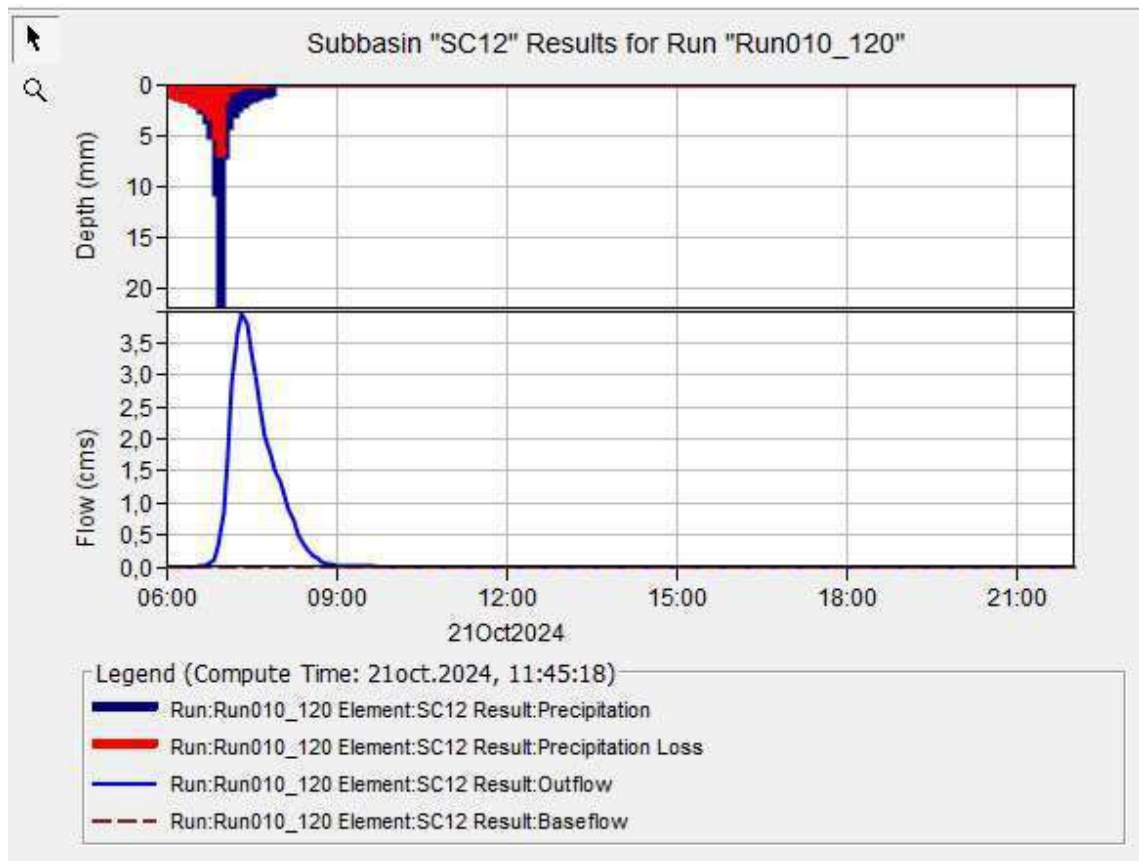
**Fuente:** Elaboración propia

Dado que la zona de estudio se encuentra en las subcuencas 11 y 12, se representan las gráficas de la relación entre precipitación, escorrentía e hidrograma de salida de la subcuenca.



**Figura 15** Relación entre precipitación, escorrentía e hidrograma de salida de la subcuenca 11

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 16** Relación entre precipitación, escorrentía e hidrograma de salida de la subcuenca 12

**Fuente:** Elaboración propia

Dado que en la Tabla 9, se muestran los valores correspondientes a estos elementos. De este modo, el caudal máximo de los hidrogramas que se empleará para el dimensionamiento de las alcantarillas son:

- **Subcuenca 11**  $4.3 \text{ m}^3/\text{s}$
- **Subcuenca 12**  $4 \text{ m}^3/\text{s}$

### ANEXO III

#### DIMENSIONAMIENTO DE ALCANTARILLAS

##### 1. Sistema Simulado en EPA SWMM

Se proponen seis líneas de alcantarillado, dimensionadas y diseñadas para capturar y conducir los caudales provenientes de las calles A. Centurión Vera, Tte. Rojas Silva, San Justo y C. Antonio López, hacia la boca de desembocadura del canal principal de la calle Iturbe, desde la cual se descarga directamente al arroyo San Luis .

El dimensionamiento de las alcantarillas se realiza con el modelo de EPA SWMM 5.2, usando datos de los caudales y pendientes, con el fin de verificar y dimensionar el sistema.

El modelo SWMM resuelve las ecuaciones de conservación de masa y momento (Saint Venant) para el flujo transitorio de agua en redes de drenaje, representando el flujo en conductos individuales.

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = 0 \quad \text{Ec. continuidad} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta(Q^2/A)}{\delta x} + gA \cdot \frac{\delta H}{\delta x} + gA + gAh_L = 0 \quad \text{Ec. momento} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- $x$  es la distancia a lo largo del conducto.
- $t$  es el tiempo.
- $A$  Es el área de la sección transversal.
- $Q$  es la tasa de flujo.
- $H$  Es la carga hidráulica de agua en el conducto.
- $S_f$  Es la pendiente de fricción (pérdida de carga por unidad de longitud).
- $h_L$  Es la pérdida de energía local por unidad de longitud de conducto.
- $g$  es la aceleración de la gravedad.

Para una sección transversal conocida, el área  $A$  depende de la profundidad, que se determina a partir de la carga hidráulica  $H$ . Las variables dependientes son el caudal  $Q$  y la carga  $H$ , funciones de la distancia  $x$  y el tiempo  $t$ .

La pendiente de pérdida de carga  $S_f$  se puede expresar utilizando la fórmula de Manning de la siguiente manera:

$$S_f = \frac{n^2 \cdot V \cdot |V|}{K^2 \cdot R^{4/3}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning.
- $V$  es la velocidad del flujo (equivalente a la tasa de flujo  $Q$  dividido por el área de la sección transversal  $A$ ).
- $R$  es el radio hidráulico de la sección transversal.
- $K = 1.49$  para unidades imperiales.
- $K = 1$  para unidades métricas.

La pérdida de carga local  $h_L$  se expresa como:

$$\frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot L} \quad \text{en donde } K \text{ es el coeficiente en la posición } x \text{ y } L \text{ es la longitud del conducto.}$$

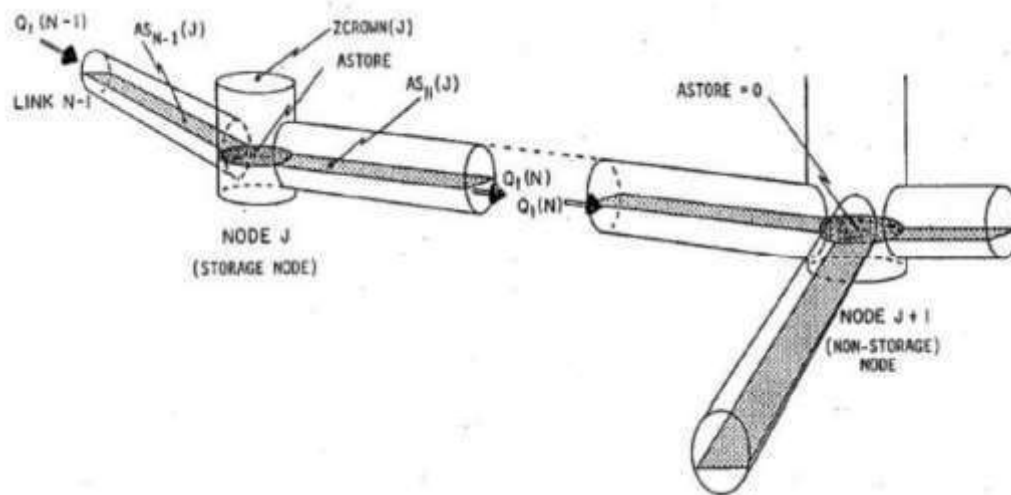
Para resolver la ecuación .. y la ecuación .. a lo largo de un único conducto, es necesario contar con un conjunto de condiciones iniciales para  $H$  y  $Q$  en el tiempo  $t = 0$ , así como con condiciones de contorno en  $x = 0$  y  $x = L$  para todos los instantes de tiempo  $t$ . En SWMM, se asume una superficie continua de agua entre el nodo y los conductos conectados, salvo en caso de salto en caída libre. El cambio de la carga hidráulica  $H$  en el nodo respecto al tiempo se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{\delta H}{\delta t} = \frac{\Sigma Q}{A_{store} + \Sigma A_s} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $A_{store}$  es el área de la superficie del nodo,  $\Sigma A_s$  es el área aportada por los conductos conectados al nodo, y  $\Sigma Q$  representa el flujo neto en el nodo (diferencia entre el flujo de entrada y el de salida), que incluye tanto el flujo proveniente de los

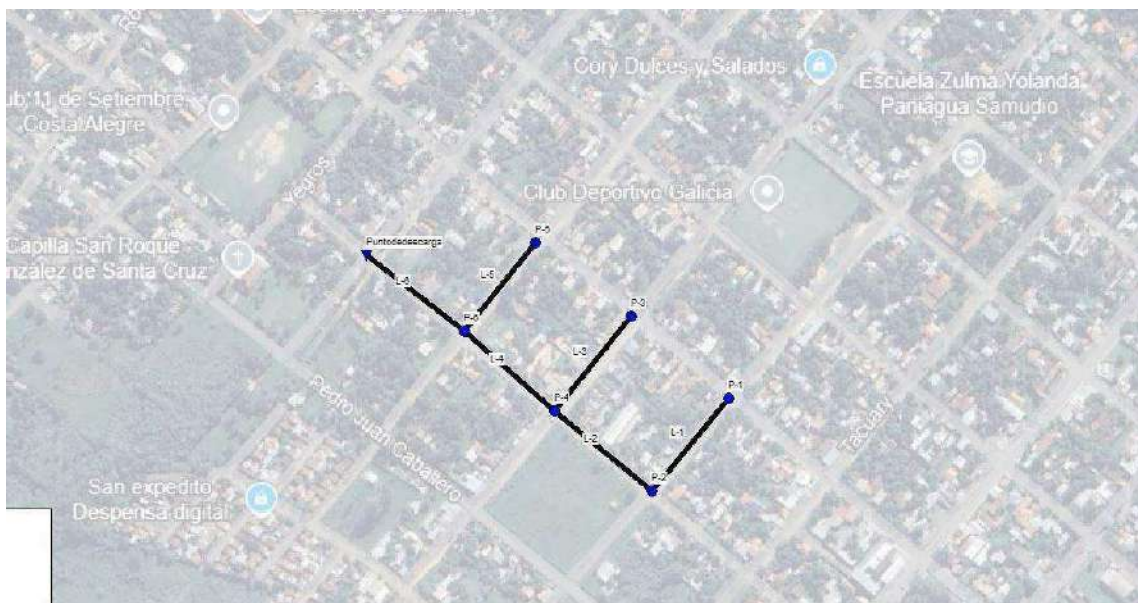
# Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

conductos conectados como cualquier aporte externo



**Figura 1** Representación del conducto-nodo de un Sistema de Drenaje en SWMM.

**Fuente:** United States Environmental Protection Agency, Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2, United States Environmental Protection Agency, 2022.



**Figura 2** Esquema de modelación SWMM

**Fuente:** Elaboración propia

Es necesario resaltar que es de suma importancia considerar las direcciones de flujo al momento de realizar los modelados y cálculos pertinentes, debido a esto en la figura 3 se muestran dichas direcciones:



**Figura 3** Direcciones de flujo

**Fuente:** Elaboración propia

## 2. Resultado del modelo hidráulico

Se seleccionaron tres ramales secundarios paralelos entre sí, así como un ramal principal. El primer ramal comienza en la intersección de las calles A. Centurión Vera y Carlos A. López, y se extiende a lo largo de esta última con galerías celulares a ambos lados. El segundo ramal inicia en la intersección de Tte. Rojas Silva y Carlos A. López, con la misma disposición. El tercer ramal arranca en la intersección de San Justo y Carlos A. López. Todos aprovechan el espacio disponible para un adecuado drenaje de aguas pluviales.

El ramal principal, ubicado en la calle Carlos A. López, recoge las aguas de los ramales secundarios y las transporta hasta el canal de la calle Iturbe, que evacúa el flujo hacia el arroyo San Luis. Se reemplazarán dos tramos de canal abierto por galerías celulares simples debido a la insuficiente capacidad hidráulica del canal actual.

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

Tramo	Tipo de alcantarilla	Alto	Ancho	Entrada	Salida	Longitud	Cota-Inicio	Cota-Final	Pendiente %
T-1	ACS	1,5	1,5	P-1	P-2	127,24	142,510	141,92	0,46%
T-2	ACS	1,5	1,5	P-2	P-4	123,92	141,92	141,43	0,40%
T-3	ACS	1,5	1,5	P-3	P-4	120,96	141,10	141,43	0,55%
T-4	ACS	1,5	1,5	P-4	P-6	123,81	141,43	140,90	0,43%
T-5	ACS	1,5	1,5	P-5	P-6	120,31	141,80	140,90	0,75%
T-6	ACS	1,5	1,5	P-6	Punto descarga	110,67	140,90	140,28	0,56%

**Tabla 1** Características de la red simulada -Parte I

**Fuente:** Elaboración propia.

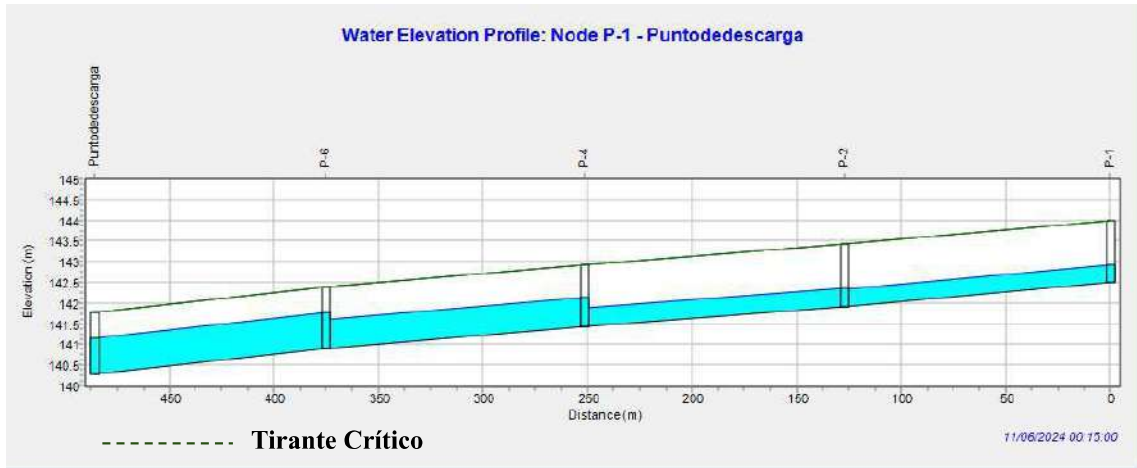
Tramo	Tipo de alcantarilla	Alto	Ancho	Coefficiente n	Caudal m <sup>3</sup> /s	Velocidad m/s
T-1	ACS	1,5	1,5	0,015	5,27	2,73
T-2	ACS	1,5	1,5	0,015	4,91	2,54
T-3	ACS	1,5	1,5	0,015	5,81	3,01
T-4	ACS	1,5	1,5	0,015	5,10	2,65
T-5	ACS	1,5	1,5	0,015	6,75	3,50
T-6	ACS	1,5	1,5	0,015	5,84	3,03

**Tabla 2:** Características de la red simulada -Parte II

**Fuente:** Elaboración propia

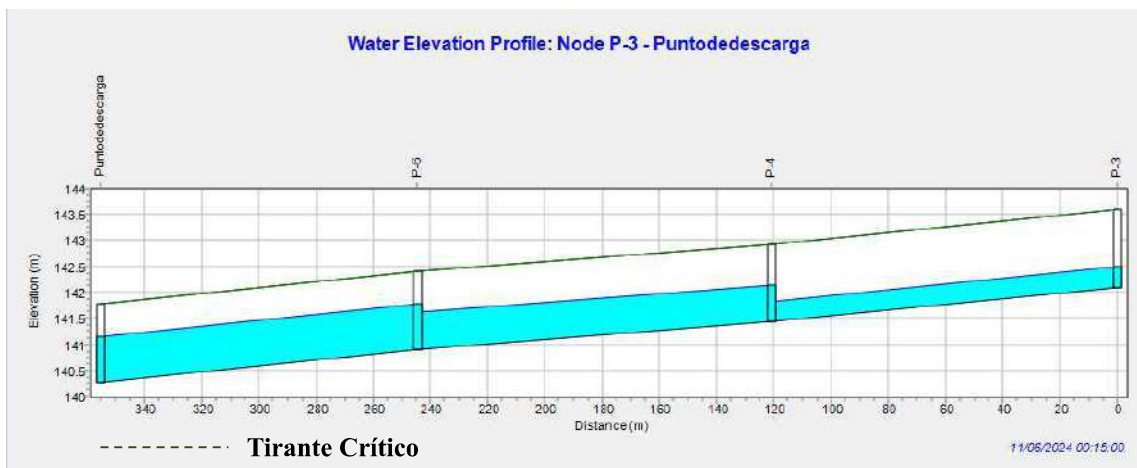
En la siguientes figuras se muestran las secciones longitudinales de los tramos simulados:

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo



**Figura 4:** 1x1,5x1,5m ACS- Primer ramal secundario hasta el punto de descarga

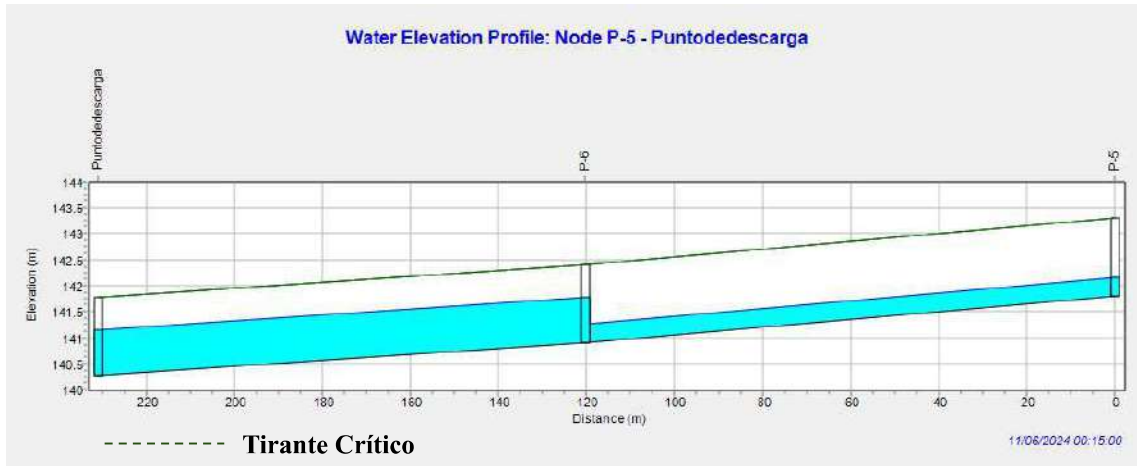
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5:** 1x1,5x1,5m ACS- Segundo ramal secundario hasta el punto de descarga

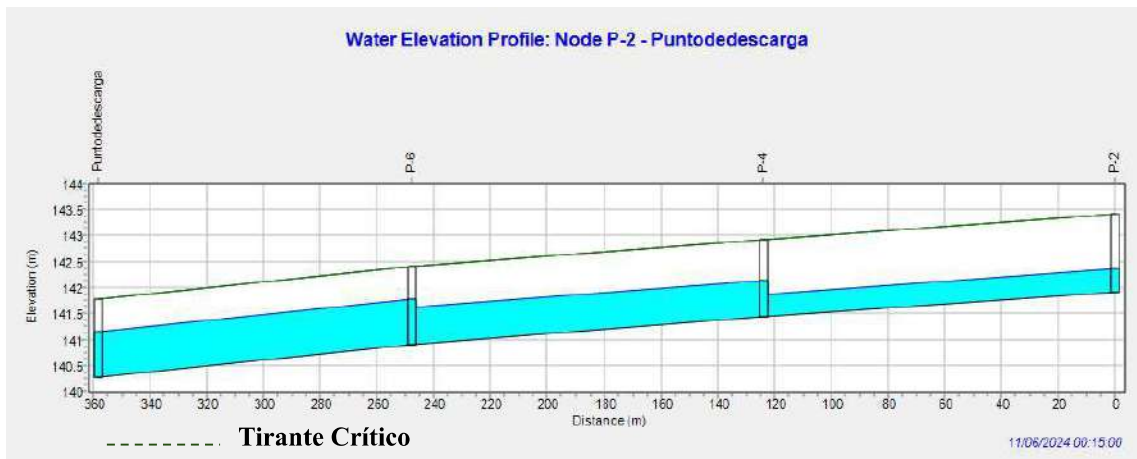
**Fuente:** Elaboración propia

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo



**Figura 5** 1x1,5x1,5m ACS- Tercer ramal secundario hasta el punto de descarga

**Fuente:** Elaboración propia

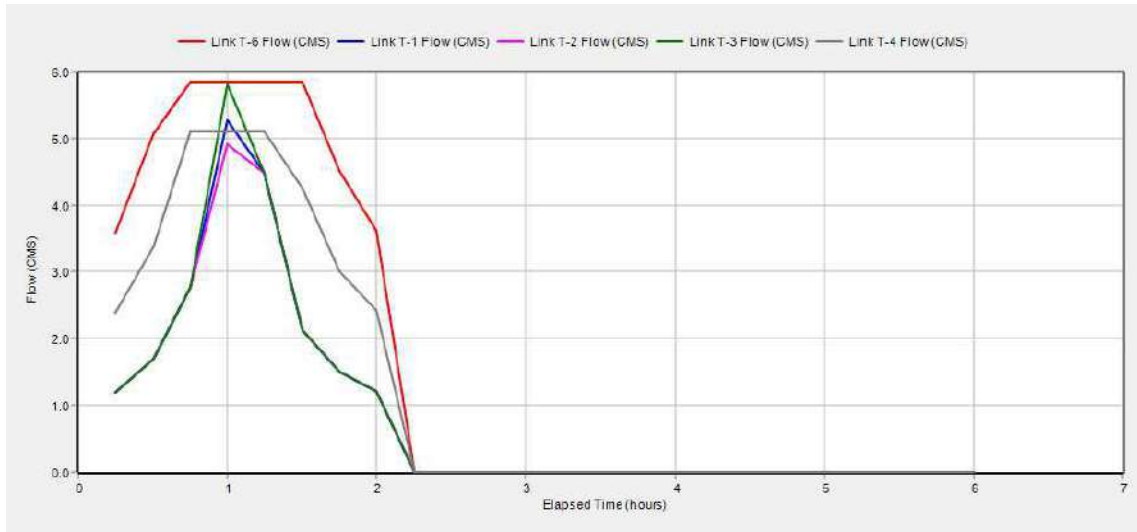


**Figura 6:** Ramal principal 1x1,5x1,5m ACS

**Fuente:** Elaboración propia

También se muestra la gráfica de los caudales de cada tramo simulado.

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo



**Figura 7:** Caudal pico de los tramos simulado

**Fuente:** Elaboración propia

## ANEXO IV

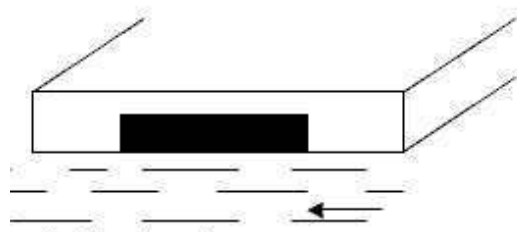
### DIMENSIONAMIENTO DE SUMIDEROS

Los sumideros son estructuras diseñadas para recoger y drenar las aguas de lluvias. Generalmente se ubican en áreas urbanas o semi-urbanas permitiendo drenar el agua de manera controlada, evitando acumulaciones excesivas y la posible inundación. Estos sistemas suelen variar en forma y tamaño, su capacidad puede ser fija o variable, dependiendo de su diseño y ubicación. A medida que el agua se acumula en la cuneta y alcanza la velocidad de diseño, se incorpora al sistema a través de sumideros.

El dimensionamiento de un sistema depende del tipo de sumidero seleccionado, que varía según el método de captación del agua. Este influye en aspectos como la capacidad de recolección, el caudal máximo y la eficiencia en el transporte, siendo clave para definir las especificaciones y el diseño del sistema.

#### Sumideros de ventana o acera

Son también conocidos como sumideros laterales que poseen una abertura de admisión dispuesta en la solera, paralelamente a la dirección del escurrimiento. Este tipo se adapta para instalaciones de cunetas y soleras. Las aberturas de entradas en solera son efectivas en la admisión de flujos que conducen basuras flotantes. Su capacidad interceptora decrece a medida que la pendiente de la cuneta de aproximación aumenta, siendo conveniente emplearlos en la intercepción del escurrimiento por cauce de pendiente longitudinal menor de 3%.



**Figura 1:** Sumidero de ventana

**Fuente:** Elaboración propia

El caudal interceptado se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{L} = \frac{0.39}{y} \cdot \left[ (y + a)^{5/2} - a^{5/2} \right] \quad \text{Ecuación 1}$$

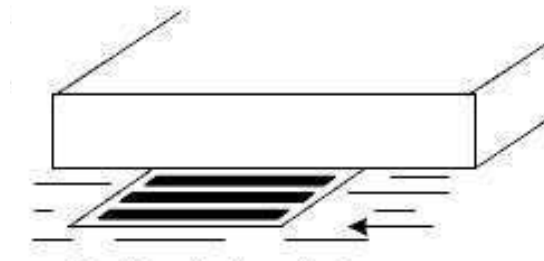
Donde:

- Q: Caudal de aproximación en la cuneta (m<sup>3</sup>/sg)
- L: Longitud de la ventana (m)
- y: Profundidad máxima de aproximación al sumidero (m)
- a: Depresión de la cuneta (m)

Se puede diseñar la longitud de la ventana de forma que el 15% del caudal proveniente de aguas arriba fluya hacia el siguiente sumidero.

### Sumidero de reja o calzada

Una de sus características es su efectivo funcionamiento dentro de un amplio rango de variación de la pendiente longitudinal de la cuneta de aproximación. La ubicación de los sumideros debe evitarse en su colocación en aceras destinadas al tránsito de peatones o en áreas de caminos frecuentados por ciclistas.



**Figura 2:** Sumidero de reja o calzada

**Fuente:** Elaboración propia

La capacidad de captación puede estimarse a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = 2.96 \cdot A \cdot (y + a)^{1/2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- Q: Caudal de aproximación en la cuneta (m<sup>3</sup>/sg)
- A: Área neta de flujo de la rejilla (m<sup>2</sup>)
- y: Profundidad máxima de aproximación al sumidero (m)
- a: Depresión de la cuneta (m)

El caudal calculado debe reducirse en un 25% para considerar la obstrucción de la rejilla debido a la acumulación de desechos. La longitud de la rejilla en dirección del flujo se establece para permitir que la lámina vertiente pase a través de ella sin impactar el borde aguas abajo. Esta longitud se determina mediante la siguiente fórmula empírica:

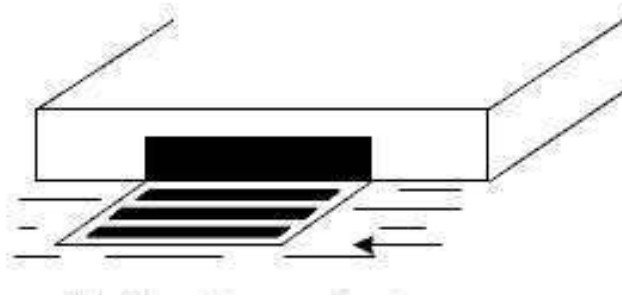
$$L = 0.94 * V * H^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

- L: Longitud libre de rejilla (m)
- V: Velocidad media de aproximación de la cuneta (m/s)
- H: Profundidad de aproximación al sumidero más el espesor de la rejilla (m)

### Sumidero mixto

Los sumideros mixtos están provistos a la vez de entrada lateral en solera y horizontal en rejilla, y son de gran capacidad, reuniendo las ventajas de ambos tipos.



**Figura 3:** Sumidero de mixto

**Fuente:** Elaboración propia

La capacidad de captación se calcula sumando las capacidades de los sumideros de ventana y cuneta, usando las fórmulas correspondientes. En el proyecto, se han dimensionado seis sumideros S-Tipo, correspondientes a sumideros mixtos, cuyos detalles de dimensiones, caudales y cantidad total se presentan en la tabla 1

Diseño de una solución al sistema de desagüe pluvial del área situada entre las calles Nanawa, Vera Centurión y San Justo de la ciudad de Coronel Oviedo

CALCULO DE SUMIDEROS								
Tipo de sumideros	L (m)	y (m)	a (m)	ancho (m)	S. ventana	S. Reja	S. Mixto ( $q = q_1 + 0.75q_2$ )	Cantidad necesaria
					$q_1$ (m <sup>3</sup> /s)	$q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	$q$ (m <sup>3</sup> /s)	$q_{max} = 9$ m <sup>3</sup> /s
S-TIPO 1	1	0.15	0.15	0.5	0.11	0.61	0.56	17
S-TIPO 2	1.5	0.15	0.15	0.5	0.16	0.91	0.84	11
S-TIPO 3	2	0.15	0.15	0.5	0.21	1.22	1.12	9
S-TIPO 4	2.5	0.15	0.15	0.5	0.26	1.52	1.40	7
S-TIPO 5	3	0.15	0.15	0.5	0.32	1.82	1.68	6
S-TIPO 6	3.5	0.15	0.15	0.5	0.37	2.13	1.97	5

**Tabla 1** Cálculo de sumideros

**Fuente:** Elaboración propia

Este proyecto utilizará el sumidero S-TIPO 1 por su excelente relación precio-capacidad, lo que lo hace ideal para cumplir con los requisitos de eficiencia y economía. Su capacidad gestiona adecuadamente el volumen de agua, evitando desbordamientos y maximizando la durabilidad sin generar costos excesivos

Las dimensiones del sumidero S-TIPO 1 se ajustan al diseño de la obra, permitiendo una instalación sencilla y eficiente sin modificaciones adicionales. Esto optimiza el tiempo y los recursos, haciendo del S-TIPO 1 una solución práctica y económicamente viable.

**ANEXO V**

**MEMORIA DE CÁLCULO**

**VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL MÓDULO ACS**

## CALCULO ESTRUCTURAL DE ALCANTARILLA TIPO CAJON

### DATOS:

F'c Concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	250
Peso específico del concreto (kg/m <sup>3</sup> )	2400
Fy acero de refuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	5000
Peso específico del suelo (t/m <sup>3</sup> )	1800
Capacidad portante del suelo (kg/cm <sup>2</sup> )	1.5
Angulo de fricción interna del suelo (°)	18
Profundidad del nivel freático (m)	2.5

Camión de diseño	HS-20-44
Peso rueda trasera (kg)	7250

### DIMENSIONES DE LA SECCION

Ancho de alcantarilla (Ancho de vía) (m)	6
Altura "H" (m)	1.5
Ancho "B" (m)	1.5
Espesor de losas "e" (m)	0.15
Espesor "l" (m)	1
Altura total "A"	1.8
Ancho total "L"	1.8

### PESO DE LA ESTRUCTURA

Peso losa superior (kg)	540
Peso losa inferior (kg)	540
Peso muro izquierdo (kg)	648
Peso muro derecho (kg)	648
Peso total de la estructura (kg)	2376

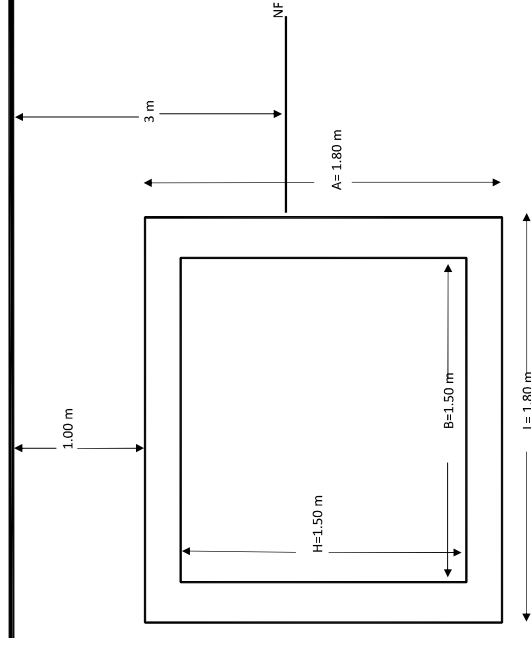
Peso de relleno sobre la estructura (kg/m <sup>2</sup> )	1800
--	------

### CALCULO DE LA CARGA VIVA POR TRAFICO

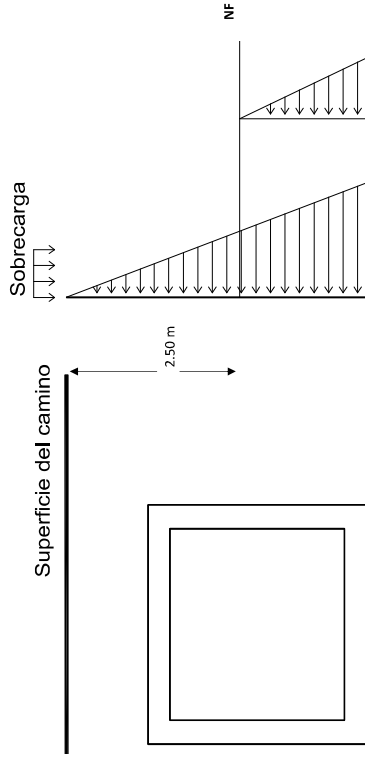
Area de contacto Rueda HS-20-44	
a (m)	0.2
b (m)	0.51

Dimensiones de propagación del area de contacto	
Propagación a (m)	2.419
Propagación b (m)	2.729
Carga P (kg)	7250
Coefficiente de impacto	0.3818
Carga P <sub>4</sub> (kg)	9425
Carga vehicular (kg/m <sup>2</sup> )	1427.72

### Superficie del camino



## EMPUJE DE TIERRAS



Angulo de fricción interna (Radiantes)	0.3142
Coefficiente activo "Ka"	0.5279
Esfuerzo zona superior de muro (kg/m <sup>2</sup> )	2611.41
Esfuerzo en el nivel freático (kg/m <sup>2</sup> )	4606.73
Esfuerzo en la zona inferior del muro (kg/m <sup>2</sup> )	5930.79

## ANÁLISIS EN SITUACION DE ESTRUCTURA LLENA

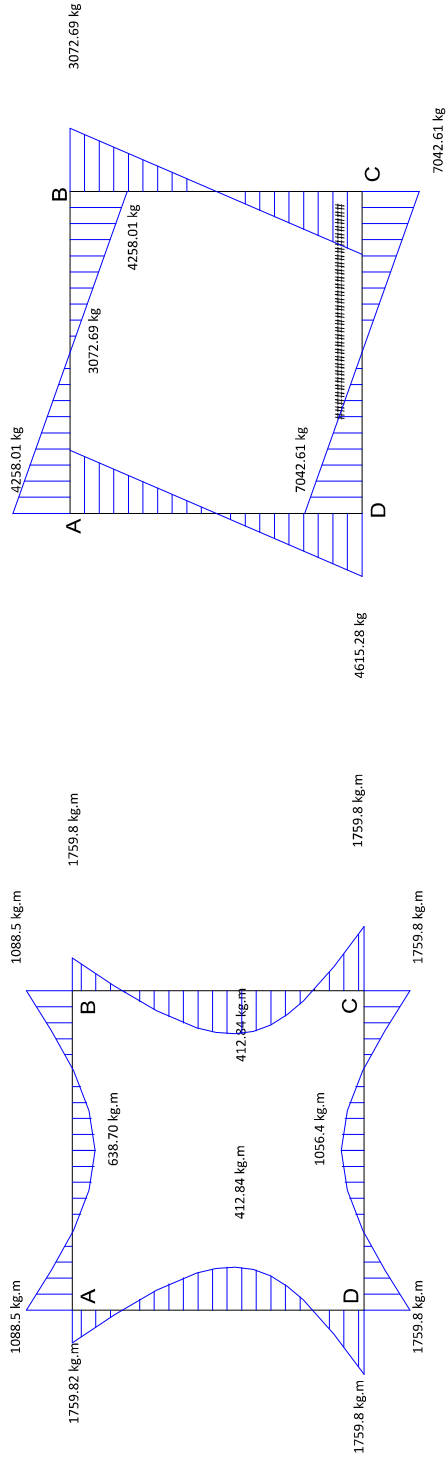
### CARGAS ULTIMAS SOBRE LOS ELEMENTOS

Carga sobre la losa superior (kg/m <sup>2</sup> )	4731.12
Reacción del terreno (kg/m <sup>2</sup> )	7825.12
Carga sobre la losa inferior (kg/m <sup>2</sup> )	-7825.12
Carga en zona superior del muro lateral (kg/m <sup>2</sup> )	2611.41
Carga en zona inferior del muro lateral (kg/m <sup>2</sup> )	5930.79

### MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO

Extremo de losa superior (kg.m)	1277.40
Extremo de losa inferior (kg.m)	2112.78
Zona superior de pared lateral (kg.m)	1063.57
Zona inferior de pared lateral (kg.m)	1242.82





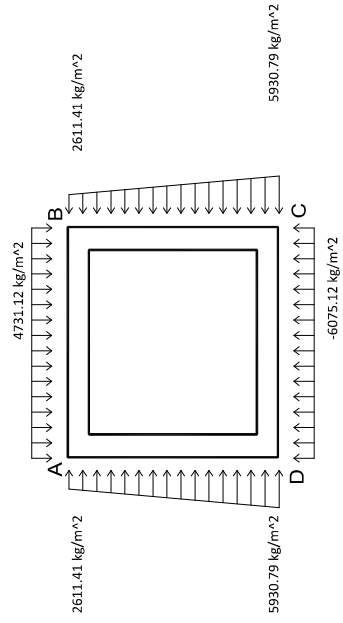
### ANÁLISIS EN SITUACION DE ESTRUCTURA VACIA

#### CARGAS SOBRE LOS ELEMENTOS

Carga sobre la losa superior (kg/m²)	4731.117917
Reacción del terreno (kg/m²)	6075.117917
Carga sobre la losa inferior (kg/m²)	-6075.117917
Carga en zona superior del muro lateral (kg/m²)	2611.41
Carga en zona inferior del muro lateral (kg/m²)	5930.79

#### MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO

Extremo de losa superior (kg.m)	1277.40
Extremo de losa inferior (kg.m)	1640.28
Zona superior de pared lateral (kg.m)	1063.57
Zona inferior de pared lateral (kg.m)	1242.82

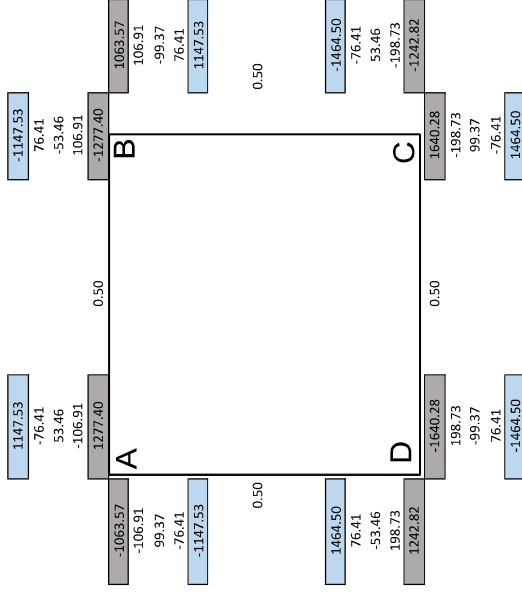


**DISTRIBUCION DE MOMENTOS POR EL METODO DE CROSS**

Calculo de rigideces  $K=4EI/L$

Las secciones son iguales en todo el cajon y el material es el mismo, asi que "EI" es constante

K <sub>AB</sub>	2.22
K <sub>AD</sub>	2.22
SUMA=	4.44
<b>Factor de distribución</b>	
F <sub>AB</sub>	0.50
F <sub>AD</sub>	0.50



<b>MOMENTOS FINALES</b>	
MA=MB	1147.53
MC=MD	1464.50

**CORTANTES EN LA ESTRUCTURA**

En losa superior (kg)	4258.01
En losa inferior (kg)	5467.61

**EN PAREDES LATERALES**

**CORTANTE ISOSTATICA**

Zona superior de pared lateral (kg)	3445.66
Zona inferior de pared lateral (kg)	4242.31

**CORTANTE HIPERESTATICA**

V	-176.0953476
---	--------------

**Zona superior de pared lateral (kg)**

Zona superior de pared lateral (kg)	3269.57
Zona inferior de pared lateral (kg)	4418.41

**MOMENTOS EN LOS CENTROS DE CLARO**

En losa superior (kg.m)	638.70
En losa inferior (kg.m)	820.14
Centro de pared lateral (kg.m)	412.84

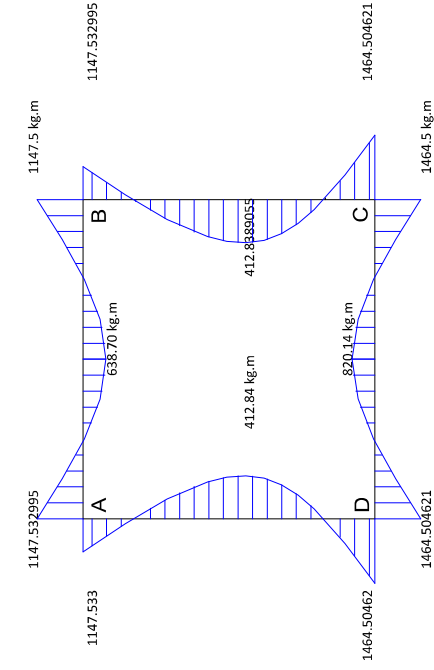
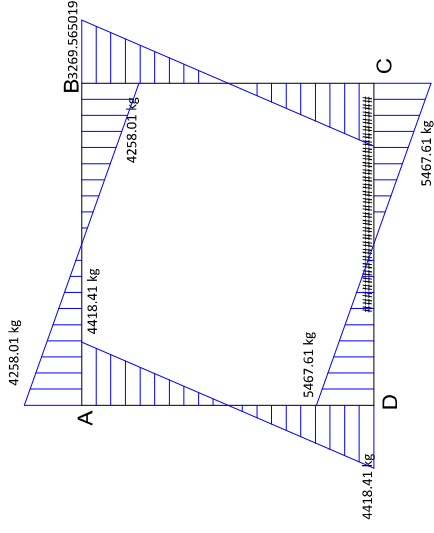
**REVISION POR CORTANTE EN MUROS**

Cortante que absorbe el concreto (kg)	7542.03
---------------------------------------	---------

En losa superior	CUMPLE
En losa inferior	CUMPLE
En muros laterales	CUMPLE

**CAPACIDAD DEL SUELO**

CARGA (kg/m <sup>2</sup> )	6075.12
CAPACIDAD DEL SUELO (kg/m <sup>2</sup> )	15000
FACTOR DE SEGURIDAD <sup>1</sup> >1.5 <sup>1</sup>	2.47
	<b>SI CUMPLE</b>



## CALCULO DE ACERO

LECHO EXTERIOR	
Mmáx (kg.cm)	175981.71
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	250
Base (cm)	100
Peralte d	10
K	0.07821409
Indice de refuerzo w	0.0822007
Porcentaje de acero	0.0048929
Porcentaje mínimo	0.0028
Porcentaje máximo	0.01912128
Area de acero (cm <sup>2</sup> )	4.89
Varilla a utilizar	3
Separacion de barras (cm)	16

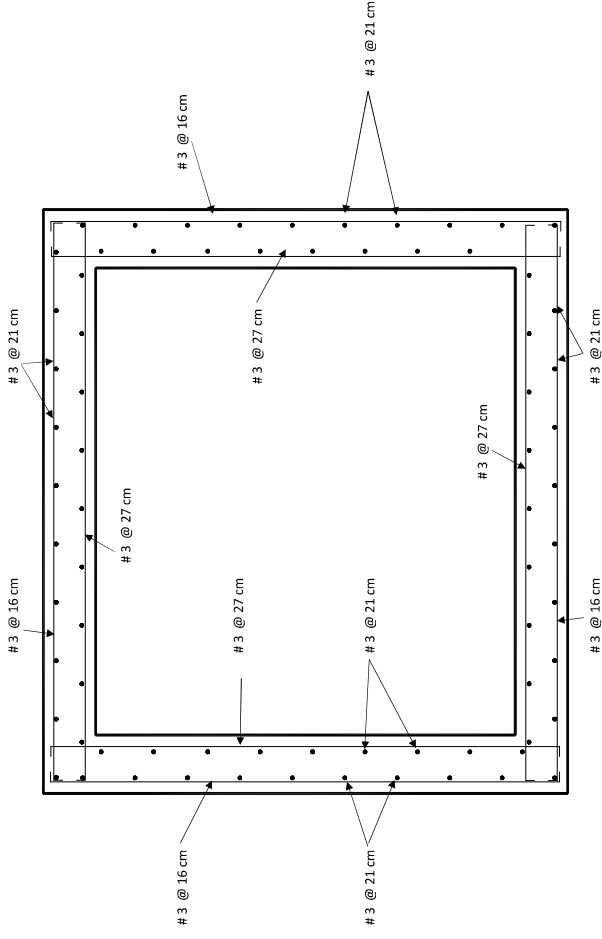
LECHO INTERIOR	
Mmáx (kg.cm)	105639.09
f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	250
Base (cm)	100
Peralte d	10
K	0.04695071
Indice de refuerzo w	0.04832875
Porcentaje de acero	0.00287671
Porcentaje mínimo	0.0028
Porcentaje máximo	0.01912128
Area de acero (cm <sup>2</sup> )	2.88
Varilla a utilizar	3
Separacion de barras (cm)	27

## ACERO POR TEMPERATURA PARA TODOS LOS ELEMENTOS

Porcentaje por temperatura	0.002
Base (cm)	180
Peralte d	10
Area de acero (cm <sup>2</sup> )	3.6
Varilla a utilizar	3
Separacion de barras (cm)	21

SI CUMPLE  
SI CUMPLE

## ARMADO DE LA ALCANTARILLA



### RESUMEN DE REFUERZOS

ELEMENTO	LECHO	AREA DE ACERO (cm <sup>2</sup> )	# DE BARRA A UTILIZAR	SEPARACION (cm)
Losas superior	Exterior	4.89	3	16
	Exterior por temperatura	3.6	3	21
Losas superior	Interior	2.88	3	27
	Interior por temperatura	3.6	3	21
Losas inferior	Interior	2.88	3	27
	Interior por temperatura	3.6	3	21
Losas inferior	Exterior	4.89	3	16
	Exterior por temperatura	3.6	3	21
Paredes laterales	Exterior	4.89	3	16
Paredes laterales	Exterior por temperatura	3.6	3	21
	Interior	2.88	3	27
Paredes laterales	Interior por temperatura	3.6	3	21

VOLUMEN DE MATERIALES

Volumen de concreto	
Losa superior (m³)	1.35
Losa inferior (m³)	1.35
Paredes laterales (m³)	3.24
Total de concreto (m³)	5.94

Cantidad de acero

LOSAS SUPERIOR E INFERIOR LECHO EXTERIOR	
Acero principal	
Largo de barras (m)	1.86
Numero de barras total de ml	37.50
Varilla a utilizar #	70
Total de varilla (kg)	38.85075
Acero por temperatura	
Largo de barras (m)	6.06
Numero de barras total de ml	8.571
Varilla a utilizar #	51.94
Total de varilla (kg)	3
	28.93

LOSAS SUPERIOR E INFERIOR LECHO INTERIOR	
Acero principal	
Largo de barras (m)	1.86
Numero de barras total de ml	22.22
Varilla a utilizar #	41
Total de varilla (kg)	3
	23.023
Acero por temperatura	
Largo de barras (m)	6.06
Numero de barras total de ml	8.571
Varilla a utilizar #	51.94
Total de varilla (kg)	3
	28.93

PAREDES LATERALES LECHO EXTERIOR	
Acero principal	
Largo de barras (m)	1.86
Numero de barras total de ml	11.25
Varilla a utilizar #	21
Total de varilla (kg)	3
	11.655
Acero por temperatura	
Largo de barras (m)	6.06
Numero de barras total de ml	8.571
Varilla a utilizar #	51.94
Total de varilla (kg)	3
	28.93

PAREDES LATERALES LECHO INTERIOR	
Acero principal	
Largo de barras (m)	1.86
Numero de barras total de ml	6.67
Varilla a utilizar #	12
Total de varilla (kg)	3
	6.907
Acero por temperatura	
Largo de barras (m)	6.06
Numero de barras total de ml	8.571
Varilla a utilizar #	51.94
Total de varilla (kg)	3
	28.93

TOTAL DE ACERO REQUERIDO ( 1 modulo 1x1.5x1.5x0.15m)	KG	METROS	CANTIDAD
	65.39	99.9817163	9

Obs: Varilla #3 = Varilla φ 10