

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

## “AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO”

Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Civil

**Autor:**

Arturo Alejandro Barros Barros.

**Director:**

Ing. Andrés Omar Alvarado Martínez PhD.

Cuenca - Ecuador  
Octubre - 2015



## RESUMEN

Los sistemas convencionales de alcantarillado son la solución más utilizada para la recolección y conducción de aguas residuales en poblaciones medianas y ciudades. Sin embargo, el cálculo, representación gráfica y estimación presupuestal demandan una gran inversión en tiempo y recursos. El objetivo de esta propuesta es integrar herramientas computacionales de uso generalizado como Microsoft Excel® y AutoCAD® para mejorar y agilizar estos cálculos, representaciones gráficas y estimaciones presupuestales, con la finalidad de que el usuario dedique más tiempo y recursos en el análisis de criterios técnicos y decisiones que en el uso de las herramientas de diseño. Las herramientas propuestas se desarrollaron en el entorno básico del software propuesto a través de sus lenguajes de programación Visual Basic® y AutoLISP® respectivamente, logrando integrar tanto la parte matemática de cálculo como la representación gráfica y la estimación presupuestal de una manera ágil, rápida y correcta. Se espera que esta herramienta pueda ser utilizada tanto en un entorno educativo por estudiantes y profesores como en un entorno profesional por ingenieros del sector público y privado, como una opción viable y económica a las herramientas comerciales corporativas. En conclusión, la importancia de la creación de esta herramienta es brindar una alternativa a las herramientas comerciales corporativas sin perder de vista la calidad y precisión analítica de la herramienta en cuanto al correcto desarrollo de la parte ingenieril, gráfica y de análisis presupuestario que son fundamentales en los sistemas de alcantarillado, además de abrir la posibilidad de futuras investigaciones que puedan mejorar la herramienta.

**Palabras Claves:** Sistemas de alcantarillado, herramientas computacionales, programación, aguas residuales, ingeniería sanitaria.



## ABSTRACT

Conventional sewer systems are the most used solution for wastewater and runoff collection and transport at medium and large cities. However, the calculation, graphic representation and budget estimation demand a vast amount of resources and time. The objective of this study is to integrate universal computer tools like Microsoft Excel® and AutoCAD® to automatize the calculation and to create automatically graphic representation and budget estimation of sewerage projects, in order to give to the designer more attention to the technical analysis, and configuration of the pipe network rather than spend time in iterative calculations. The proposed tools has been developed in the software's basic environment through its own programming languages, such as Visual Basic® and AutoLISP® respectively, achieving the integration of mathematical calculation, graphic representation and budget estimation in one tool. This tool could be used at educative environments by students and teachers and also in professional environments by public and private engineers, as an economic option to corporate commercial tools. In conclusion, this tool intends to give an alternative to corporate commercial tools without losing analytic accuracy in the calculation, and fine graphic representation and budget estimation. The use of common tools in its development also offers to future users of this tool the possibility to incorporate updates and personalization based on future research and needs.

**Keywords:** sewer systems, computational tools, programing, sewage, sanitary engineering.

**CONTENIDO:**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>DEDICATORIA .....</b>                                      | <b>10</b> |
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>                                  | <b>12</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>                          | <b>13</b> |
| 1.1 ANTECEDENTES. ....  | 13        |
| 1.2 OBJETIVO GENERAL. ....                                    | 14        |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....                               | 14        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO. ....</b>                       | <b>14</b> |
| 2.1 SISTEMA DE ALCANTARILLADO CONVENCIONAL.....               | 14        |
| 2.2 DISEÑO SANITARIO. ....                                    | 15        |
| 2.2.1 DEFINICIONES. ....                                      | 15        |
| 2.2.2 CRITERIOS DE DISEÑO.....                                | 16        |
| 2.2.2.1 DOTACIÓN.....   | 16        |
| 2.2.2.2 POBLACIÓN .....                                       | 16        |
| 2.2.2.3 FACTOR DE RETORNO .....                               | 17        |
| 2.2.2.4 COEFICIENTE DE MAYORACIÓN .....                       | 17        |
| 2.2.2.5 CAUDAL MÁXIMO SANITARIO.....                          | 18        |
| 2.2.2.6 CAUDAL DE INFILTRACIÓN .....                          | 18        |
| 2.2.2.7 CAUDAL ILÍCITO.....                                   | 18        |
| 2.2.2.8 CAUDAL DE DISEÑO SANITARIO.....                       | 19        |
| 2.3 DISEÑO HIDROLÓGICO. ....                                  | 19        |
| 2.3.1 DEFINICIONES .....                                      | 19        |
| 2.3.2 CRITERIOS DE DISEÑO.....                                | 20        |
| 2.3.2.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....                          | 20        |
| 2.3.2.2 INTENSIDAD DE DISEÑO.....                             | 21        |
| 2.3.2.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....                       | 21        |
| 2.3.2.4 ÁREA DE DRENAJE.....                                  | 22        |
| 2.3.2.5 CAUDAL PLUVIAL.....                                   | 22        |
| 2.4 HIDRÁULICA DE TUBERÍAS. ....                              | 22        |
| 2.5 CRITERIOS DE DISEÑO.....                                  | 24        |
| 2.5.1 RADIO HIDRÁULICO .....                                  | 24        |
| 2.5.2 FUERZA TRACTIVA.....                                    | 24        |
| 2.5.3 PENDIENTE.....  | 24        |
| 2.5.4 VELOCIDAD .....   | 26        |
| 2.6 PROGRAMACIÓN EN MACROS DE VISUAL BASIC® PARA EXCEL® ..... | 26        |
| 2.7 PROGRAMACIÓN DE LENGUAJE AUTOLISP® PARA AUTOCAD® .....    | 27        |
| 2.8 NORMATIVA DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO. ....   | 27        |
| 2.9 ANALISIS DE INCERTIDUMBRE. ....                           | 28        |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO III: MÉTODO .....</b>   | <b>28</b> |
| 3.1 ENFOQUE DEL PROYECTO.....   | 28        |
| 3.2 GUÍA/MANUAL FINAL PARA EL USO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....              | 29        |
| 3.2.1 RECOMENDACIONES GENERALES.....  | 29        |
| 3.2.2 INGRESO DE DATOS .....  | 29        |
| 3.2.2.1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO .....  | 29        |
| 3.2.2.2 POZOS.....  | 33        |
| 3.2.2.3 TRAMOS.....   | 37        |
| 3.2.2.4 INTENSIDAD DE DISEÑO DEL PROYECTO.....                                      | 38        |
| 3.2.3 MÓDULO PRINCIPAL DE DISEÑO.....   | 42        |
| 3.2.4 RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA.....   | 47        |
| 3.2.4.1 SALIDA GRAFICA.....   | 47        |
| 3.2.4.2 INFROME DEL PROYECTO.....   | 53        |
| 3.2.4.3 ALMACENAMIENTO DEL PROYECTO .....   | 53        |
| 3.2.4.4 PRESUPUESTO.....  | 55        |
| 3.3 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.....  | 56        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                                    | <b>57</b> |
| 4.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....                       | 57        |
| 4.1.1 RESULTADOS HIDRÁULICOS.....   | 58        |
| 4.1.2 RESULTADOS GEOMÉTRICOS.....   | 59        |
| 4.1.3 RESULTADOS GRÁFICOS.....  | 60        |
| 4.1.4 RESULTADOS ECONÓMICOS .....   | 62        |
| 4.2 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.....  | 63        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                              | <b>67</b> |
| 5.1 FUTUROS USOS Y MEJORAS DE LA HERRAMIENTA.....                                   | 67        |
| 5.2 CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.....   | 68        |
| <br>  |           |
| <b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS .....</b>   | <b>69</b> |
| <br>  |           |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>71</b> |
| 7.1 ANEXO # 1: RELACIONES GEOMÉTRICAS DE SECCIONES PARCIALMENTE LLENAS.....         | 71        |
| 7.2 ANEXO # 2: CÁLCULOS REALIZADOS POR LA HERRAMIENTA "ALCANTARIUM" .....           | 74        |
| 7.3 ANEXO # 3: CÁLCULOS ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.....                              | 80        |
| 7.3.1 ANEXO # 3.1: ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE REALIZADO CON UN 95% DE CONFIANZA..... | 80        |
| 7.3.2 ANEXO # 3.2: ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE REALIZADO CON UN 80% DE CONFIANZA..... | 82        |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILLADO

### Tablas:

|   |    |
|---|----|
| Tabla 2.2-1. Rangos típicos de dotación de agua potable.....  | 16 |
| Tabla 2.2-2. Ecuaciones para determinar el factor de mayoración. ....                                     | 17 |
| Tabla 2.4-1. Ecuaciones representativas de tubería con sección parcialmente llena.....                    | 23 |
| Tabla 4.1-1. Resultados hidráulicos extraídos de la herramienta “Alcantarium”.....                        | 58 |
| Tabla 4.1-2. Resultados geométricos extraídos de la herramienta “Alcantarium” .....                       | 59 |
| Tabla 4.1-3. Características del computador usado. ....   | 61 |
| Tabla 4.1-4. Resultados de rendimiento de herramientas gráficas con baja demanda de RAM.....              | 61 |
| Tabla 4.1-5. Resultados de rendimiento de herramientas gráficas con alta demanda de RAM.....              | 61 |
| Tabla 7.1-1. Cálculo de Relaciones Geométricas de Secciones Parcialmente Llenas.....                      | 73 |
| Tabla 7.3-1. Valores de certidumbre obtenidos del análisis de incertidumbre con un 95% de confianza. .... | 82 |
| Tabla 7.3-2. Valores de certidumbre obtenidos del análisis de incertidumbre con un 80% de confianza. .... | 85 |

### Ecuaciones:

|  |    |
|--|----|
| Ecuación 2.2-1. Proyección geométrica de población. ....                           | 16 |
| Ecuación 2.2-2. Factor de mayoración en función de variación horaria y diaria..... | 17 |
| Ecuación 2.2-3. Caudal medio sanitario.(Von Sperling, 2008) .....                  | 18 |
| Ecuación 2.2-4. Caudal de infiltración propuesto por ETAPA EP.....                 | 18 |
| Ecuación 2.2-5. Caudal de diseño sanitario total (Von Sperling, 2008). ....        | 19 |
| Ecuación 2.3-1. Ecuación de Kirpich (Chow, et al., 1994) .....                     | 20 |
| Ecuación 2.3-2. Ecuación del tiempo de concentración de la tubería.....            | 20 |
| Ecuación 2.3-3. Ecuación del tiempo de concentración total. ....                   | 20 |
| Ecuación 2.3-4. Ecuación de la curva IDF (Ponce, 1989). ....                       | 21 |
| Ecuación 2.3-5. Ecuación representativa IDF (Fiallos, 1999). ....                  | 21 |
| Ecuación 2.3-6. Ecuación de Método Racional (Chow, et al., 1994). ....             | 22 |
| Ecuación 2.4-1. Diámetro de las tuberías del sistema de alcantarillado. ....       | 24 |
| Ecuación 2.5-1. Pendiente mínima (Franco T, 2002). ....                            | 25 |
| Ecuación 2.5-2. Pendiente mínima (ABNT, 1986).....                                 | 25 |
| Ecuación 2.5-3. Pendiente mínima (Mendonça, 1986).....                             | 25 |

### Figuras:

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.4-1. Esquema de una sección parcialmente llena. ....                           | 22 |
| Figura 2.4-2. Características geométricas de la sección circular. ....                  | 23 |
| Figura 3.2-1. Pestaña “Inicio”.....   | 29 |
| Figura 3.2-2. Vista de la pantalla principal de la herramienta “Alcantarium”.....       | 30 |
| Figura 3.2-3. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de datos. ....            | 30 |
| Figura 3.2-4. Menú “Datos”.....   | 31 |
| Figura 3.2-5. Botón “Modificar/Insertar”. ....  | 31 |
| Figura 3.2-6. Cuadro de diálogo para el ingreso de datos.....                           | 32 |
| Figura 3.2-7. Botón “Volver a Inicio”.....  | 33 |
| Figura 3.2-8. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de pozos de revisión..... | 34 |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.2-9. Menú “Pozos”.....  | 34 |
| Figura 3.2-10. Icono de la aplicación Autodesk AutoCAD®.....                                     | 35 |
| Figura 3.2-11. Mensaje de seguridad para carga del archivo.....                                  | 35 |
| Figura 3.2-12. Cuadro de diálogo para apertura de proyecto “COLECTORES”.....                     | 36 |
| Figura 3.2-13. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de áreas de aporte.....           | 37 |
| Figura 3.2-14. Menú “Área Aporte”.....   | 38 |
| Figura 3.2-15. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de intensidades de diseño.....    | 39 |
| Figura 3.2-16. Menú “Intensidad”.....  | 39 |
| Figura 3.2-17. Apartado para la selección del método de cálculo de la intensidad.....            | 40 |
| Figura 3.2-18. Formato de ingreso de factores de Ponce para curvas IDF.....                      | 40 |
| Figura 3.2-19. Formato de ingreso de datos para zonificación del INAMHI.....                     | 41 |
| Figura 3.2-20. Zonificación propuesta por el INAMHI (Fiallos, 1999).....                         | 41 |
| Figura 3.2-21. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de la herramienta.....            | 42 |
| Figura 3.2-22. Ejemplo explicativo de colectores principales y secundarios.....                  | 43 |
| Figura 3.2-23. Diseño realizado dentro de la herramienta.....                                    | 43 |
| Figura 3.2-24. Botón “Limpiar”.....  | 44 |
| Figura 3.2-25. Menú desplegable para selección de caudal pluvial.....                            | 44 |
| Figura 3.2-26. Menú desplegable para selección de caudal sanitario.....                          | 45 |
| Figura 3.2-27. Advertencia de pendiente mínima en la herramienta.....                            | 46 |
| Figura 3.2-28. Posible problema topográfico encontrado en un diseño.....                         | 47 |
| Figura 3.2-29. Botón “AutoCAD”.....  | 47 |
| Figura 3.2-30. Cuadro de diálogo para selección de vista del proyecto.....                       | 48 |
| Figura 3.2-31. Menú “Planta CAD”.....  | 48 |
| Figura 3.2-32. Secuencia de titulación que indica que el proceso ha finalizado.....              | 49 |
| Figura 3.2-33. Cuadro de diálogo de confirmación para dibujar en Autodesk AutoCAD®.....          | 49 |
| Figura 3.2-34. Confirmación de que se ha realizado la representación gráfica.....                | 49 |
| Figura 3.2-35. Menú “Perfil CAD”.....  | 50 |
| Figura 3.2-36. Menú “Perfil CAD” (Continuación).....   | 50 |
| Figura 3.2-37. Selección del tramo de colector en el menú “Perfil”.....                          | 50 |
| Figura 3.2-38. Información topográfica únicamente de los colectores del sistema.....             | 51 |
| Figura 3.2-39. Cuadro de diálogo de confirmación para dibujar en Autodesk AutoCAD®.....          | 52 |
| Figura 3.2-40. Línea de comandos de la aplicación AutoCAD®.....                                  | 52 |
| Figura 3.2-41. Confirmación de que se ha realizado la representación gráfica.....                | 52 |
| Figura 3.2-42. Pestaña “Inicio”.....   | 53 |
| Figura 3.2-43. Cuadro de diálogo para almacenamiento del proyecto.....                           | 53 |
| Figura 3.2-44. Cuadro de diálogo que confirma que no se ha almacenado el proyecto.....           | 54 |
| Figura 3.2-45. Cuadro de diálogo de confirmación de salida de la herramienta.....                | 54 |
| Figura 3.2-46. Cuadro de diálogo de despedida de la herramienta.....                             | 54 |
| Figura 4.1-1. Parte de una representación gráfica obtenida con la herramienta “Alcantarium”..... | 60 |
| Figura 4.1-2. Parte de una representación gráfica obtenida con la herramienta “Alcantarium”..... | 60 |
| Figura 4.1-3. Presupuesto económico generado por la herramienta “Alcantarium”.....               | 62 |
| Figura 4.2-1. Variación del caudal con respecto al coeficiente de escurrimiento.....             | 63 |
| Figura 4.2-2. Variación del diámetro calculado con respecto al coeficiente de escurrimiento..... | 63 |
| Figura 4.2-3. Variación del diámetro asumido con respecto al coeficiente de escurrimiento.....   | 64 |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.2-4. Certidumbre generada en los resultados de diámetro nominal con un 95% de confianza.....               | 64 |
| Figura 4.2-5. Certidumbre generada en los resultados de diámetro calculado con un 80% de confianza.....             | 65 |
| Figura 4.2-6. Certidumbre generada en los resultados de caudal con un 80% de confianza.....                         | 65 |
| Figura 4.2-7. Certidumbre generada en los resultados de diámetro nominal con un 80% de confianza.....               | 66 |
| Figura 4.2-8. Certidumbre generada en los resultados de diámetro calculado con un 80% de confianza.....             | 66 |
| Figura 4.2-9. Certidumbre generada en los resultados de caudal con un 80% de confianza.....                         | 67 |
| Figura 7.2-1. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium”.....                   | 74 |
| Figura 7.2-2. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium”<br>(Continuación)..... | 75 |
| Figura 7.2-3. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium”<br>(Continuación)..... | 76 |
| Figura 7.2-4. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium”<br>(Continuación)..... | 77 |
| Figura 7.2-5. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium”<br>(Continuación)..... | 78 |
| Figura 7.2-6. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium”<br>(Continuación)..... | 79 |

AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILLADO

Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

---

Yo, *Arturo Alejandro Barros Barros*, autor de la tesis "*AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO*", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Octubre de 2015.

Arturo Alejandro Barros Barros.

C.I: 0104983465



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILLADO

---



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

---

Yo, *Arturo Alejandro Barros Barros*, autor de la tesis "*AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO*", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Octubre de 2015.

A handwritten signature in blue ink, reading "Arturo Barros", written over a horizontal line.

Arturo Alejandro Barros Barros.

C.I: 0104983465



### ***DEDICATORIA***

*Este trabajo está dedicado principalmente a mis padres, Arturo y Cecilia, quienes me han apoyado e incentivado desde el inicio de esta larga jornada a pesar de los buenas y malos momentos, al igual que a mi familia quienes han sido un pilar importante tanto en mi formación personal como académica.*

*Finalmente a Daniela Vega, quien llegó a mi vida en el momento indicado, me ha brindado su apoyo en todo este trayecto y ha sido gracias a sus consejos e inspiración que he culminado este proyecto exitosamente.*

*Arturo Barros.*



## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a mi director de tesis, el Ing. Andrés Alvarado Martínez PhD por el apoyo, paciencia y dedicación en este trabajo, así como los conocimientos que adquirí en el transcurso de la misma, por lo que estaré siempre agradecido.*

*A los profesores de la facultad quienes me han guiado durante toda la carrera, y que sin sus conocimientos impartidos, este trabajo y el título que obtendré no serían posibles, en especial al Ing. Esteban Pacheco MSc.*

*A mis familiares y amigos quienes han estado junto a mí en cada paso de este proyecto que emprendí hace algún tiempo llamado universidad, sin su apoyo, sabiduría y consejos no hubiese podido finalizar esta travesía.*

*Finalmente a mis amigos más cercanos, quienes por una formalidad de la vida son conocidos como “compañeros de universidad”, futuros colegas, pero que para mí son mis hermanos, con quienes hemos compartido alegrías, tristezas, males noches, discusiones y celebraciones, pero al final es gracias a su apoyo y amistad, que he logrado finalizar este proyecto de vida.*

*Arturo Barros.*



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

### 1.1 ANTECEDENTES.

Los sistemas de alcantarillado convencionales son el método más utilizado para la recolección de aguas residuales alrededor del mundo. Éstos se encuentran constituidos por redes colectoras diseñadas con flujo a gravedad para así transportar dichas aguas hacia la planta de tratamiento o su destino final en un cuerpo receptor (Organización Panamericana de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2005).

El diseño de una red de colectores implica, como se detallará más adelante, la configuración de un trazado de colectores que, partiendo de tramos de cabecera, se van conectando y alimentando cada vez colectores de mayor tamaño que llevan los flujos acumulados de tramos precedentes hasta uno o varios puntos de descarga final. El trazado de la red necesita del criterio y experiencia del proyectista para dividir los flujos y aprovechar al máximo la topografía de la zona, para reproducir bajo tierra la escorrentía natural que sucedería en la superficie. Por lo tanto, entre una infinidad de posibles trazados, es necesario evaluar aquellos que produzcan al mismo tiempo una solución ingenieril adecuada como una solución económica plausible.

Llegar a una solución ideal implica un ejercicio de ensayo y error, por lo que, para un determinado emplazamiento urbano se puede requerir una gran inversión en cuanto a tiempo y esfuerzo si no se poseen las herramientas necesarias que agilicen los procesos de cálculo hidráulico e hidrológico, ingreso de datos de la obra a diseñar y sobre todo posibiliten en un tiempo adecuado la comparación de distintas alternativas de trazado. Así también, el diseño de un proyecto de alcantarillado implica además la realización de planos detallados del estudio, un análisis técnico económico y constructivo de los materiales a utilizarse y por supuesto, una proyección adecuada y precisa de las cantidades de obra que serán reflejadas finalmente en el presupuesto del proyecto. El diseño de una red condominial que, en esencia es una alternativa económica a los sistemas convencionales, es también configurado como redes de colectores con un flujo a gravedad por lo que, dentro de los objetivos del presente estudio no se realiza una diferenciación entre estas redes.

En la actualidad existen dos grandes opciones para afrontar el diseño de sistemas de alcantarillado: la primera con hojas de cálculo que permiten realizar un ejercicio muy sistemático de la configuración de los colectores con total control del proceso de cálculo y los parámetros de diseño. Esta opción sin embargo, no permite realizar comparaciones ágiles del costo del proyecto y comparar alternativas ya que no permite una integración ágil con una plataforma de visualización y expresión gráfica por lo que los planos deben ser realizados de manera manual, generando una mayor inversión de tiempo no necesariamente en el análisis del diseño ingenieril en sí. La segunda opción son herramientas corporativas comerciales como Bentley SewerGEMS®, SEWERCAD entre otros, que son sistemas completos tanto para el diseño como para su expresión gráfica, sin embargo, no tienen toda la flexibilidad y particularización que permite una hoja de cálculo y, obviamente, tienen un alto costo que limita el acceso para diseños de redes pequeñas con bajo presupuesto.



Estas consideraciones han motivado la configuración de una herramienta computacional de acceso más universal que además de facilitar las necesidades de cálculo de los sistemas de alcantarillado, permita una comparación efectiva entre distintas alternativas y además una integración con la representación gráfica indispensable para la presentación del proyecto.

## 1.2 OBJETIVO GENERAL.

- Integrar herramientas computacionales de uso generalizado para mejorar y agilizar el cálculo de sistemas de alcantarillado convencionales.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Automatizar procesos de cálculos hidráulicos y geométricos de una red de alcantarillado mediante programación de algoritmos e iteraciones.
- Desarrollar una herramienta computacional con base en programación de hojas de cálculo electrónicas para el diseño de sistemas de alcantarillado convencionales.
- Integrar la herramienta de cálculo matemático con opciones de representación gráfica de uso generalizado, para importación y exportación de metadatos.
- Desarrollar e integrar el análisis del presupuesto de obra a los resultados del diseño de una red de alcantarillado convencional utilizando herramientas computacionales de uso generalizado.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

En el siguiente capítulo se presentan definiciones teóricas en las secciones 2.2: DISEÑO SANITARIO y 2.3: DISEÑO HIDROLÓGICO provenientes del CPE INEN 005-9-1 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992)

### 2.1 SISTEMA DE ALCANTARILLADO CONVENCIONAL.

Éste se denomina al conjunto de tuberías y obras complementarias necesarias para recolectar las aguas residuales y/o pluviales hacia un sistema de tratamiento para su posterior proceso, el cual finalizará en algún emisario final, sea este río, quebrada, entre otros. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992)

Estos se clasifican en:

- **Alcantarillado Separado:** Aquel en el cual se independiza la recolección de aguas residuales y pluviales, teniendo los siguientes:



- a) **Alcantarillado Sanitario:** Aquel encargado de recolectar únicamente las aguas residuales domésticas e industriales.
- b) **Alcantarillado Pluvial:** Aquel encargado de recolectar únicamente las aguas de origen pluvial.
- o **Alcantarillado Combinado:** Aquel en el cual se recolecta simultáneamente tanto aguas residuales como pluviales. (Comisión Nacional del Agua, 2009)

## 2.2 DISEÑO SANITARIO.

### 2.2.1 DEFINICIONES.

**Aguas Residuales Domésticas:** Desechos líquidos provenientes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales.

**Aguas Residuales Industriales:** Desechos líquidos provenientes de la industria.

**Áreas Tributarias:** Áreas que contribuyen al escurrimiento de aguas residuales.

**Caudal Máximo Instantáneo:** Caudal máximo de aguas residuales que se podrá observar en cualquier año dentro del periodo de diseño.

**Coefficiente de Retorno:** Relación entre el agua residual producida y el agua potable consumida.

**Coefficiente de Mayoración:** Relación entre el caudal máximo instantáneo y el caudal medio diario considerado en un mismo periodo.

**Coefficiente de Escurrimiento:** Relación entre el volumen total de escurrimiento superficial y el de precipitación.

**Conexiones Clandestinas:** Conexiones a nivel domiciliario que permiten la entrada de la escorrentía pluvial, recogida en los techos o en los patios, directamente al sistema de alcantarillado.

**Dotación de Agua Potable:** Volumen de agua promedio consumido diariamente por cada habitante, en el cual incluye el consumo doméstico, comercial, industrial y público.

**Interceptores:** Colectores que conducen las aguas negras de un sistema de alcantarillado combinado hacia la planta de tratamiento.



**Pozos de Revisión:** Estructuras que permiten el acceso desde la calle al interior de un sistema de alcantarillado.

## 2.2.2 CRITERIOS DE DISEÑO

### 2.2.2.1 DOTACIÓN

Para el cálculo del caudal sanitario, es esencial, la dotación de agua potable, que es la cantidad de agua promedio consumida por cada habitante de una zona determinada, la cual generalmente está especificada por el proveedor de este servicio (Von Sperling, 2008).

En caso de no poseer un cálculo preciso de la dotación, se puede estimar éste mediante tablas de referencia publicadas por varios autores. Se cita a continuación una tabla de referencia del autor Marcos von Sperling (Von Sperling, 2008):

| Tamaño de la Comunidad | Población (hab.) | Dotación (L./hab./día) |
|------------------------|------------------|------------------------|
| Rural                  | < 5000           | 90 – 140               |
| Asentamiento           | 5000 – 10000     | 100 – 160              |
| Pueblo Pequeño         | 10000 – 50000    | 110 – 180              |
| Ciudad Pequeña         | 50000 – 250000   | 120 – 220              |
| Ciudad Grande          | > 250000         | 150 – 300              |

*Nota: En lugares con cortes de dotación de agua, estos valores pueden ser menores*

Fuente: Adaptado de (CETESB, 1977, 1978), (Barnes, et al., 1981), (Dahlhaus & Damrath, 1982), (Hosang & Bischof, 1984)

Tabla 2.2-1. Rangos típicos de dotación de agua potable.

### 2.2.2.2 POBLACIÓN

La población también juega un papel importante en la determinación del caudal sanitario, ya que la misma se debe proyectar correctamente para el periodo de diseño del sistema y se espera que en los años finales del sistema esta población se acerque al 100% de la población proyectada sin sobrepasar ésta (Von Sperling, 2008), esta proyección se realizará mediante la Ecuación 2.2-1:

$$P_f = P_0 * (1 + i)^{td} \quad [hab]$$

Ecuación 2.2-1. Proyección geométrica de población.

**Donde:**  $P_f$ : Población proyectada. [hab]

$P_0$ : Población inicial. [hab]

$i$ : Tasa de crecimiento. [hab/hab]

$td$ : Periodo de diseño. [años]

La población total se calculará mediante el uso de densidades poblacionales estimadas para cada zona del diseño en conjunto con el área de aporte.



### 2.2.2.3 FACTOR DE RETORNO

Es la fracción de agua potable que entra al sistema de alcantarillado en forma de agua residual, en función de factores locales como la localización, uso del suelo, tipo de regulación, condición de pavimento, clima, costumbres, etc. Los valores típicos se encuentran entre el 60% y 85%, y su valor más usual es del 80% (Organización Panamericana de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2005).

### 2.2.2.4 COEFICIENTE DE MAYORACIÓN

Es un coeficiente que permite estimar el caudal máximo de diseño que necesita conducir el colector al multiplicar el coeficiente pico de variación diaria y horaria del caudal de aguas residuales promedio, expresado en la Ecuación 2.2-2:

$$M = k_1 * k_2$$

Ecuación 2.2-2. Factor de mayoración en función de variación horaria y diaria.

Donde:  $M$ : Coeficiente de mayoración. [ – ]

$k_1$ : Relación entre caudal máximo diario y caudal medio diario. [ – ]

$k_2$ : Relación entre caudal máximo horario y caudal medio diario. [ – ]

Otros autores proponen la estimación de este factor en función de la población y el caudal medio diario, entre los cuales tenemos:

| Ecuación                               | Autor             | Condición                           |
|--|-------------------|-------------------------------------|
| $M = 1 + \frac{14}{4 + P^{0.5}}$       | Harmon            | 1000 < P < 1000000                  |
| $M = \frac{5}{P^{0.2}}$                | Babbitt           | 1000 < P < 1000000                  |
| $M = 5 * P^{-0.16}$                    | Giffit            | P < 200000                          |
| $M = 14 * P^{-1/6}$                    | Mara              | ---                                 |
| $M = \frac{3.5}{P^{0.1}}$              | Flores            | ---                                 |
| $M = \frac{5}{P^{0.167}}$              | Sobriño           | ---                                 |
| $M = \frac{18 + P^{0.5}}{4 + P^{0.5}}$ | Fair, Geyer, Okun | ---                                 |
| $M = \frac{3.53}{Q_{md}^{0.0914}}$     | Los Ángeles       | 2.8 < Q <sub>md</sub> < 28400 [l/s] |
| $M = \frac{3.70}{Q_{md}^{0.0733}}$     | Tchobanoglous     | 4 < Q <sub>md</sub> < 5000 [l/s]    |

Tabla 2.2-2. Ecuaciones para determinar el factor de mayoración.



Donde:  $M$ : Coeficiente de mayoración. [ – ]  
 $P$ : Población proyectada. [hab]  
 $Q_{md}$ : Caudal medio diario. [l/s]

### 2.2.2.5 CAUDAL MÁXIMO SANITARIO

Finalmente considerando los criterios previos se obtiene que el caudal medio sanitario es representado por la Ecuación 2.2-3:

$$Q_{Ms} = \frac{P_f * q * R * M}{86400} \quad [l/s]$$

Ecuación 2.2-3. Caudal medio sanitario. (Von Sperling, 2008)

Donde:  $P_f$ : Población proyectada. [hab]  
 $q$ : Dotación de agua potable. [l/hab/día]  
 $R$ : Factor de retorno. [ – ]  
 $M$ : Coeficiente de mayoración. [ – ]

### 2.2.2.6 CAUDAL DE INFILTRACIÓN

Éste incluye el agua del subsuelo que penetra la tubería de la red a diseñar a través de imperfecciones en sus paredes, uniones, entre otros.

Existen algunos valores propuesto por autores como Von Sperling, Mara, Metcalf & Eddy, entre otros, así como instituciones con la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Alcantarillado, Agua Potable y Saneamiento (ETAPA EP); de entre los cuales usaremos la Ecuación 2.2-4:

$$Q_i = 1.18 \text{ l/s/km}$$

Ecuación 2.2-4. Caudal de infiltración propuesto por ETAPA EP.

El cual fue propuesto para el estudio de los Planes Maestros denominados “Programa de Agua Potable y Saneamiento para Cuenca”, realizados en la ciudad de Cuenca (ETAPA EP, 1986).

### 2.2.2.7 CAUDAL ILÍCITO

Es aquel caudal generado por conexiones clandestinas y precipitaciones no consideradas en el diseño, para lo cual se asumirá un valor del 10% del caudal máximo sanitario sin considerar el factor de mayoración ( $M$ ).



### 2.2.2.8 CAUDAL DE DISEÑO SANITARIO

Una vez más considerando todos los parámetros previos, además de considerar el caudal concentrado ( $Q_c$ ), el cual considera cualquier descarga puntual dentro de un sistema como puede ser una industria, una escuela, etc.; se puede obtener que el caudal de diseño sanitario vendrá dado por la Ecuación 2.2-5:

$$Q_{ds} = Q_{Ms} + Q_i + Q_{il} + Q_c$$

Ecuación 2.2-5. Caudal de diseño sanitario total (*Von Sperling, 2008*).

Donde:  $Q_{ds}$ : Caudal de diseño sanitario. [ $m^3/s$ ]  
 $Q_{Ms}$ : Caudal máximo sanitario. [ $m^3/s$ ]  
 $Q_i$ : Caudal de infiltración. [ $m^3/s$ ]  
 $Q_{il}$ : Caudal ilícito. [ $m^3/s$ ]  
 $Q_c$ : Caudal concentrado. [ $m^3/s$ ]

## 2.3 DISEÑO HIDROLÓGICO.

### 2.3.1 DEFINICIONES

**Análisis Estadístico Hidrológico:** Estudio de datos hidrológicos observados en el tiempo, con el propósito de proyectar dichos datos para un periodo mayor.

**Áreas Tributarias:** Áreas que contribuyen al escurrimiento de aguas pluviales.

**Curvas de Intensidad, Duración, Frecuencia:** Curvas que proporcionan la intensidad máxima de lluvia, para una duración y frecuencia determinada.

**Intensidad de Lluvia:** Lluvia por unidad de tiempo.

**Periodo de Retorno:** Lapso promedio dentro del cual se espera que un evento sea igualado o superado.

**Tiempo de Concentración:** Lapso necesario para que la escorrentía llegue desde el punto más alejado del área tributaria al punto considerado.

**Usos del Suelo:** Asignación que se le da a una zona geográfica dependiente de las características geomorfológicas del sector (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992).



## 2.3.2 CRITERIOS DE DISEÑO

### 2.3.2.1 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Conociendo ya su definición, se analizará dos diferentes casos:

#### ○ **Tiempo de Concentración Superficial.**

En este caso se utilizará para el tiempo de concentración producido por la precipitación en la microcuenca de cada tubería, utilizando el método de Kirpich (1940) mediante la Ecuación 2.3-1:

$$t_{cs} = 0.0003245 * \left( \frac{L}{S^{1/2}} \right)^{0.77} \quad [min]$$

Ecuación 2.3-1. Ecuación de Kirpich (*Chow, et al., 1994*)

*Donde: L: Longitud del canal. [m]*

*S: Pendiente transversal de la cuenca. [m/m]*

#### ○ **Tiempo de Concentración de la Tubería.**

En este caso se estimará el tiempo de concentración generado entre el principio y final de cada tubería mediante la Ecuación 2.3-2:

$$t_{ct} = \frac{L}{V * 60} \quad [min]$$

Ecuación 2.3-2. Ecuación del tiempo de concentración de la tubería.

*Donde: L: Longitud de la tubería. [m]*

*V: Velocidad de la tubería. [m/s]*

Para esto se usará un proceso iterativo a fin de encontrar el tiempo de concentración correspondiente a la velocidad de la tubería.

Finalmente se estimará el tiempo de concentración final ( $t_c$ ) como la suma de los 2 tipos de tiempo de concentración, obteniendo la Ecuación 2.3-3:

$$t_c = t_{cs} + t_{ct} \quad [min]$$

Ecuación 2.3-3. Ecuación del tiempo de concentración total.

*Donde:  $t_{cs}$ : Tiempo de concentración superficial. [min]*

*$t_{ct}$ : Tiempo de concentración de la tubería. [min]*



### 2.3.2.2 INTENSIDAD DE DISEÑO

Al igual que en el tiempo de concentración esta podrá ser determinado de 2 maneras:

#### ○ Ecuaciones Para las Curvas IDF

Estas se emplearán mediante un modelo matemático que relaciona la intensidad de la lluvia con la duración de la tormenta (Ponce, 1989), mediante la Ecuación 2.3-4:

$$i = \frac{\lambda}{(t_c + \theta)^\eta} \quad [mm/h]$$

Ecuación 2.3-4. Ecuación de la curva IDF (Ponce, 1989).

*Donde: i: Intensidad de lluvia de diseño. [mm/h]*

*t<sub>c</sub>: Tiempo de concentración. [min]*

*λ, θ, η: Constantes obtenidas mediante regresión lineal.*

#### ○ Ecuaciones Representativas del INAMHI

Estas se emplearán mediante una caracterización pluviográfica del Ecuador, determinando una correspondencia entre los valores de intensidad y precipitación máxima en 24 horas (Fiallos, 1999), mediante la Ecuación 2.3-5:

$$i = \frac{K * Id_{TR}}{t_c^\eta} \quad [mm/h]$$

Ecuación 2.3-5. Ecuación representativa IDF (Fiallos, 1999).

*Donde: i: Intensidad de lluvia de diseño. [mm/h]*

*t<sub>c</sub>: Tiempo de concentración. [min]*

*Id<sub>TR</sub>: Intensidad diaria para un tiempo de retorno. [mm/h]*

*K, η: Constantes obtenidas mediante regresión lineal.*

### 2.3.2.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Se define como la relación entre la escorrentía directa y la precipitación en un período de tiempo dado, el cual puede obtener valores entre 0 y 1. (Chow, et al., 1994), siendo ésta la variable menos precisa, ya que requiere del conocimiento y la experiencia de un hidrólogo el cual debe escoger esta variable de tal manera que represente todos los efectos no considerados en la escorrentía directa.

### 2.3.2.4 ÁREA DE DRENAJE

Ésta será el área determinada mediante líneas divisorias de drenaje que contribuyan a cada tramo del sistema, lo que se realizará mediante la topografía existente en el lugar teniendo consideraciones especiales para el área de drenaje sanitaria, las cuales se despreciarán teniendo un área de drenaje común para ambos casos (Chow, et al., 1994).

### 2.3.2.5 CAUDAL PLUVIAL

Este se obtendrá mediante el método Racional, el cual dice que si una lluvia con una intensidad  $i$  empieza de manera instantánea y continua indefinidamente, la tasa de escurrimiento continuará hasta llegar al tiempo de concentración  $t_c$ , punto en el que toda la cuenca se encuentra contribuyendo al caudal en la salida de la cuenca. Multiplicando esta intensidad denominada máxima por el área de drenaje obtenemos el caudal en dicho punto, el cual al dividirse sobre el caudal pico produce un coeficiente denominado coeficiente de escurrimiento  $C$  (Chow, et al., 1994); lo que resulta en la Ecuación 2.3-6:

$$Q = \frac{C * i * A}{0.36} \quad [l/s]$$

Ecuación 2.3-6. Ecuación de Método Racional (Chow, et al., 1994).

Donde:  $Q$ : Caudal Pluvial Máximo. [l/s]  
 $C$ : Coeficiente de Escurrimiento. [ - ]  
 $i$ : Intensidad de Diseño. [mm/h]  
 $A$ : Área de Drenaje. [ha]

## 2.4 HIDRÁULICA DE TUBERÍAS.

Para el dimensionamiento de las tuberías se debe realizar un pequeño análisis previo del comportamiento de las secciones parcialmente llenas en una tubería circular, el cual se procederá mediante la aplicación de relaciones geométricas, la ecuación de Manning y la ecuación de continuidad:

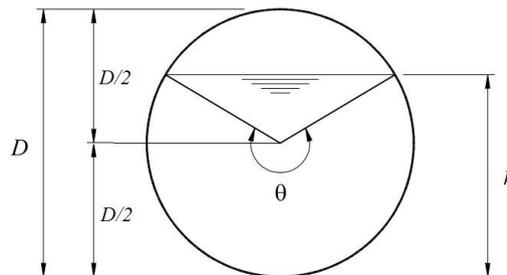


Figura 2.4-1. Esquema de una sección parcialmente llena.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

De lo que se obtuvo:

| Parámetro            | Sección Parcialmente Llena   | Sección Llena                     | Relación  |
|----------------------|--|-----------------------------------|---|
| Calado (h)           | $h = \frac{D}{2} * \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$               | $D = h$                           | $\frac{h}{D} = \frac{1}{2} * \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$  |
| Área (A)             | $a = \frac{D^2}{4} * \left(\frac{\pi * \theta}{360} - \frac{\cos(\theta)}{2}\right)$ | $A = \frac{\pi * D^2}{4}$         | $\frac{a}{A} = \left(\frac{\theta}{360} - \frac{\cos(\theta)}{2 * \pi}\right)$  |
| Perímetro Mojado (P) | $p = \pi * D * \left(\frac{\theta}{360}\right)$                                      | $P = \pi * D$                     | $\frac{p}{P} = \left(\frac{\theta}{360}\right)$   |
| Radio Hidráulico (R) | $r = \frac{D}{4} * \left(1 - \frac{\sin(\theta) * 360}{2 * \theta * \pi}\right)$     | $R = \frac{D}{4}$                 | $\frac{r}{R} = \left(1 - \frac{\sin(\theta) * 360}{2 * \theta * \pi}\right)$  |
| Velocidad (V)        | $v = \frac{r^{2/3} * J^{1/2}}{N}$  | $V = \frac{R^{2/3} * J^{1/2}}{N}$ | $\frac{v}{V} = \left(\frac{r}{R}\right)^{2/3} = \left(1 - \frac{\sin(\theta) * 360}{2 * \theta * \pi}\right)^{2/3}$                                 |
| Caudal (Q)           | $q = a * v$  | $Q = A * V$                       | $\frac{q}{Q} = \left(\frac{\theta}{360} - \frac{\cos(\theta)}{2 * \pi}\right) * \left(1 - \frac{\sin(\theta) * 360}{2 * \theta * \pi}\right)^{2/3}$ |

Tabla 2.4-1. Ecuaciones representativas de tubería con sección parcialmente llena.

Resolviendo todas las ecuaciones obtenidas en la Tabla 2.4-1 se obtuvo la gráfica de características geométricas cuyos cálculos serán presentados en el Anexo #1, resultando la Figura 2.4-2:

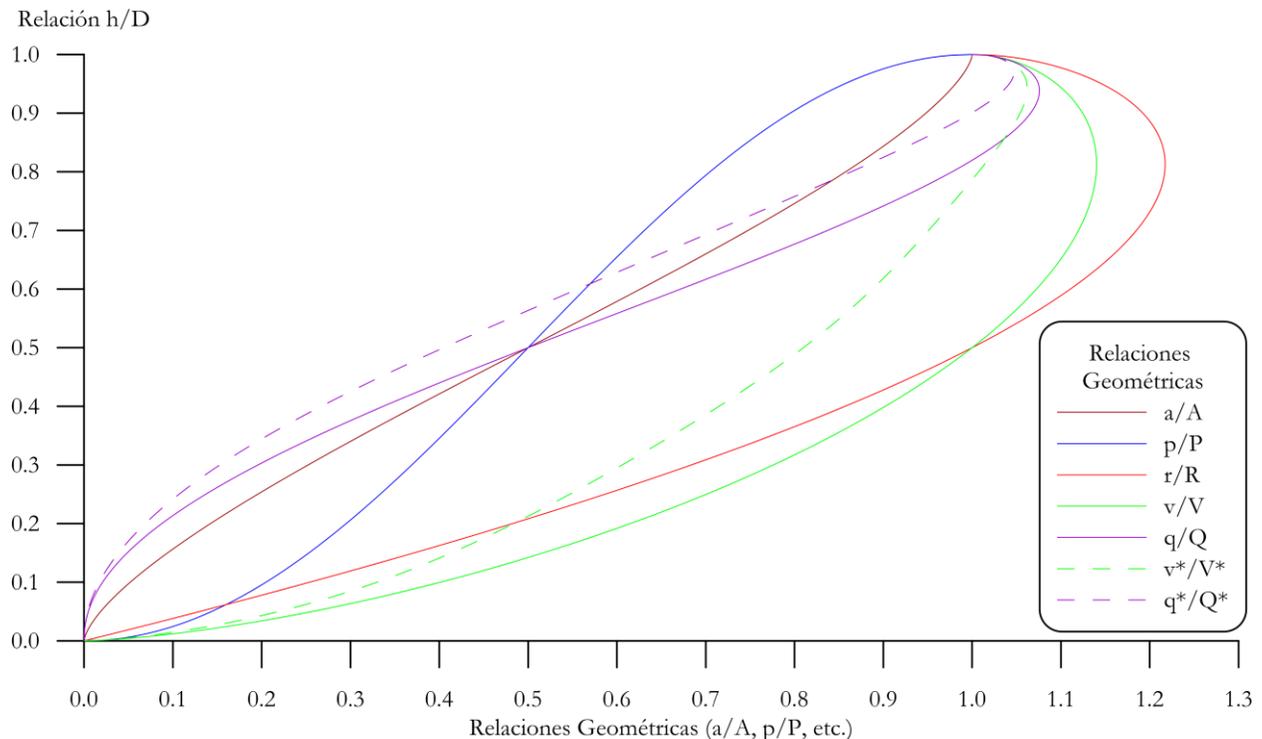


Figura 2.4-2. Características geométricas de la sección circular.



Lo que se puede observar en la Figura 2.4-2, es que la velocidad máxima se encuentra aproximadamente al utilizar una relación  $h/D$  del 80%, es decir que la tubería se encuentre un 80% llena, la cual se recomendará como la relación ideal. Para el dimensionamiento de las tuberías se analizará como flujo de canal abierto mediante las ecuaciones de Manning y continuidad, asumiendo un 80% máximo entre la relación calado-diámetro ( $h/D$ ). Así se tiene como resultado la relación para el diámetro de las tuberías, expresado en la Ecuación 2.4-1:

$$\phi = \left( \frac{0.977 * Q * 4^{5/3}}{J^{1/2} * \pi} \right)^{3/8}$$

Ecuación 2.4-1. Diámetro de las tuberías del sistema de alcantarillado.

Donde:  $\phi$ : Diámetro del sistema de alcantarillado. [m]  
 $Q$ : Caudal de entrada. [ $m^3/s$ ]  
 $J$ : Pendiente de la tubería. [m/m]

## 2.5 CRITERIOS DE DISEÑO

### 2.5.1 RADIO HIDRÁULICO

El radio hidráulico  $R_H$  mínimo y máximo se determinará a través de la Figura 2.4-2, junto con los valores de  $h/D$  máximos y mínimos del 20% y 80% respectivamente.

### 2.5.2 FUERZA TRACTIVA

La fuerza tractiva  $\tau$  deberá tener un valor mínimo de 1 Pa, teniendo como valor mínimo para su verificación con caudales de aporte reales de 0.6 Pa (Organización Panamericana de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2005).

Como parámetro adicional, cuando existen dudas sobre la calidad de construcción, debido a los materiales de construcción utilizados, puede ser apropiado un valor mínimo de 1.5 Pa (Mara, et al., 2001).

### 2.5.3 PENDIENTE

La pendiente mínima tendrá varias consideraciones con la finalidad de lograr un diseño óptimo y económico. Considerando factores como la tensión tractiva mínima, el caudal inicial, el coeficiente de Manning y la ecuación de la continuidad se pueden considerar 3 opciones para el criterio de la pendiente mínima:



- 1 La primera es la pendiente capaz de provocar la tensión tractiva suficiente para arrastrar el material depositado en el fondo provocando así auto limpieza del tramo, expresada en la Ecuación 2.5-1 (Franco T, 2002):

$$J_{min} = \frac{\tau}{\rho * g * r_H} \quad [m/m]$$

Ecuación 2.5-1. Pendiente mínima (Franco T, 2002).

Donde:  $J_{min}$ : Pendiente mínima. [m/m]  
 $\tau$ : Tensión tractiva mínima [Pa]  
 $\rho$ : Densidad del Agua. [1000 Kg/m<sup>3</sup>]  
 $g$ : Aceleración de la gravedad. [9.81 m<sup>2</sup>/s]  
 $r_H$ : Radio Hidráulico parcialmente lleno. [m]

- 2 Verificando el valor de tensión tractiva de 1.0 Pa, calculado para un caudal inicial  $Q_i$  con un coeficiente de Manning de 0.013 (valor recomendado para seguridad del diseño), la pendiente mínima que satisface estas condiciones puede expresarse con la Ecuación 2.5-2 (ABNT, 1986):

$$J_{min} = 0.0055 * Q_i^{-0.47} \quad [m/m]$$

Ecuación 2.5-2. Pendiente mínima (ABNT, 1986).

Donde:  $J_{min}$ : Pendiente mínima. [m/m]  
 $Q_i$ : Caudal inicial [m<sup>3</sup>/s]

- 3 Finalmente se tiene una tercera opción, la cual fue creada a partir de las ecuaciones de Manning y de la fuerza tractiva a través de la Ecuación 2.5-3 (Mendonça, 1986):

$$J_{min} = \left(\frac{\tau}{\gamma}\right)^{16/13} * M^{-24/13} * n^{-6/13} * Q^{-6/13} \quad [m/m]$$

$$\text{con } M = \left(\frac{R^2}{A}\right)^{1/4}$$

Ecuación 2.5-3. Pendiente mínima (Mendonça, 1986)

Donde:  $J_{min}$ : Pendiente mínima. [m/m]  
 $\tau$ : Tensión tractiva mínima [Pa]  
 $\gamma$ : Densidad del Agua [1000 Kg/m<sup>3</sup>]  
 $R$ : Radio Hidraulico sección llena [m]  
 $A$ : Área sección llena [m<sup>2</sup>]  
 $n$ : Coeficiente de Manning [ - ]  
 $Q$ : Caudal sección llena [m<sup>3</sup>/s]



#### 2.5.4 VELOCIDAD

Entre los criterios de velocidad se encuentran los criterios de velocidad mínima y velocidad máxima de cada colector para el diseño de un sistema de alcantarillado.

En cuanto a la velocidad mínima adoptando los criterios del Capítulo 2.5.2, la velocidad mínima será aquella que cumpla con el criterio de auto limpieza, es decir, que la tensión tractiva en la tubería sea la mínima aceptable; mientras que la velocidad máxima según estudios con la finalidad de evitar la mezcla aire-agua residual y la corrosión de la tubería debe ser menor a 5 m/s.

#### 2.6 PROGRAMACIÓN EN MACROS DE VISUAL BASIC® PARA EXCEL®.

Visual Basic for Applications® (VBA®), es un lenguaje de programación incorporado a la herramienta Microsoft Excel® que permite una interacción sencilla en cuanto a su uso, pero completa en cuanto a su facilidad, con las hojas de cálculo que son el eje central de la herramienta. (Mcdonald, 2000).

Mediante esta herramienta de programación se pueden introducir Macros a nuestras hojas de cálculo, donde un Macro es un “script” (código) de programación que permite realizar tanto procesos matemáticos y lógicos internamente, así como la automatización de procesos iterativos utilizando los valores de la hoja de cálculo; todo esto mediante un algoritmo y pseudocódigo que será implementado en la herramienta a través de su lenguaje de programación.

VBA cuenta con la facilidad de no tener que escribir complejos scripts de programación para llegar a una orden o comando, debido a las librerías internas proporcionadas con la herramienta y la interacción de las funciones de la herramienta Microsoft Excel®, así como en todos los productos de la compañía Microsoft®; lo que permite al usuario realizar de manera sencilla, scripts personalizados con el fin de potencializar los procesos de cálculo de Microsoft Excel®. (Mcdonald, 2000).

Un pequeño ejemplo de este lenguaje de programación sería el crear una función que pueda usarse dentro de una hoja de cálculo de Microsoft Excel® con el siguiente código:

```

Function ManningV(s,R,n)
ManningV = (R^(2/3) * s^(1/2))/n
End Function

```

Esto permitirá dirigirse directamente a Microsoft Excel®, y al igual que cualquier otro comando incluido en la aplicación, posicionarse sobre una celda y escribir:

```
= ManningV(Celda 1,Celda 2,Celda 3)
```

Siendo la Celda 1, la celda en la que se encuentre el valor de la pendiente; la Celda 2, en la que se encuentre el valor del radio hidráulico; y finalmente la Celda 3, en la que se encuentre el valor del coeficiente n de Manning. Entonces, se obtiene directamente el valor de la velocidad (V) usando la ecuación de Manning.



De la misma manera se puede usar este lenguaje de programación para cualquier fórmula que desee el usuario, así como iteraciones a través de los comandos “For”, “Do Until”, entre otros, así como otras funciones con interacción de la herramienta Microsoft Excel® para cálculos internos.

## 2.7 PROGRAMACIÓN DE LENGUAJE AUTOLISP® PARA AUTOCAD®.

LISP es un lenguaje de programación o instrucción para computadora. El nombre proviene de las 3 primeras letras de la palabra “LIST” (Lista) y la primera letra de la palabra “PROCESSING” (Proceso), lo que significaría un procesamiento de listas. Además de un lenguaje de programación, LISP es también un lenguaje formal matemático y algebraico con una rigurosidad definida.

LISP está diseñado principalmente para el procesamiento de listados de símbolos consolidados. Es generalmente usado para cálculo integral y diferencial a través de símbolos, así como teoría de circuitos eléctricos, lógica matemática, entre otros.

El lenguaje se desarrolla a través de símbolos y el uso de paréntesis como identificadores para los comandos y separaciones, sobre el cual se puede observar un pequeño ejemplo:

$$\left( COND \left( (P)(E) \right) \left( (Q)(F) \right) \left( (R)(G) \right) \right)$$

0      12   22   2112   22   2112   22   210

En este ejemplo se puede ver el nivel de instrucción identificado por los paréntesis, en este caso 0,1 y 2; siendo 0 el mayor orden de instrucción. El ejemplo nos habla de un condicional (orden 0), en el cual si se cumple la instrucción **P**, se toma la expresión **E**; si se cumple la instrucción **Q**, se toma la expresión **F**; y finalmente si se cumple la instrucción **R**, se toma la expresión **G**.

Este lenguaje se utilizará posteriormente en el lenguaje AutoLISP, un lenguaje adaptado a los comandos de la herramienta Autodesk AutoCAD® para este proyecto. (Abrahams, et al., 1967; McCarthy, et al., 2005)

## 2.8 NORMATIVA DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO.

Se ha considerado en el presente estudio, normativas de países e instituciones latinoamericanas y otra bibliografía relevante de sistemas de alcantarillado que se cita a continuación:

- “GUÍAS PARA EL DISEÑO DE TECNOLOGÍAS DE ALCANTARILLADO” – Organización Panamericana de la Salud (OPS), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) – Páginas 1-72.
- “CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN C.E.C: NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES” – Instituto Ecuatoriano de Normalización – Octava Parte – Páginas 181-198.



- “PROJETO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO SANITÁRIO” – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Páginas 1-7.
- “TÉCNICAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL: MODIFICACIONES A LA NORMA BOLIVIANA NB-688” – Ing. Alcides Franco T. – Páginas 1-34.
- “WASTEWATER CHARACTERISTICS, TREATMENT AND DISPOSAL” – Marcos von Sperling – Páginas 1-28.
- “MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO: ALCANTARILLADO SANITARIO” – Comisión Nacional de Agua – Páginas 1-11.

## 2.9 ANALISIS DE INCERTIDUMBRE.

Dentro de los diseños de sistemas de alcantarillado entran en juego varias variables y parámetros que en muchos casos tienen un origen empírico y sus valores son asignados con base en la experiencia del diseñador. Para analizar el comportamiento de varios parámetros y considerar los intervalos dentro de los cuales es afectado, se ha considerado un análisis de incertidumbre. La incertidumbre se define como “Una estimación unida al resultado de un ensayo que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se afirma que está en el valor verdadero” (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013), pero conociendo que el “valor verdadero” es un término que no puede llegar a conocerse se adoptará que el concepto de la incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza el intervalo de valores que puede ser razonablemente atribuidos al medirlo.

## CAPÍTULO III: MÉTODO

### 3.1 ENFOQUE DEL PROYECTO.

Este proyecto se encuentra enfocado con la finalidad de dar una solución confiable y ágil de diseño para un sistema de alcantarillado cumpliendo todas las normas de análisis y presentación de resultados que proporciona una herramienta corporativa comercial, la cual puede significar una alta inversión económica.

Esta herramienta se encuentra enfocada principalmente a diseñadores particulares, fiscalizadores, docentes, estudiantes e instituciones gubernamentales como municipios pequeños y medianos que realizan fiscalización e intervenciones directas en sus territorios en sistemas pequeños, sin la necesidad de adquirir herramientas comerciales como las antes mencionadas.

Esta herramienta tiene como objetivo principal ofrecer una alternativa fácil, ágil y potente a dichas herramientas comerciales, añadiendo la posibilidad de una exportación directa de datos a AutoCAD®,



consiguiendo de esta manera la representación gráfica del proyecto en corto tiempo y de manera automática.

Finalmente tiene un enfoque académico, debido al estudio de incertidumbre que se genera en este trabajo. Éste sirve como base para investigaciones posteriores en el tema de incertidumbre en los sistemas de alcantarillado, el cual posee un gran campo de acción además de ser un campo sobre el cual se pueden realizar innumerables descubrimientos a favor de los sistemas de alcantarillado.

## 3.2 GUÍA/MANUAL FINAL PARA EL USO DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.

### 3.2.1 RECOMENDACIONES GENERALES

- Configurar el computador para trabajar con el formato correcto, es decir, con punto (".") para decimales y espacio (" ") para el separador de miles desde:

Panel de Control => Región => Opciones Avanzadas.

- Para un óptimo funcionamiento del programa se recomienda que la aplicación Autodesk AutoCAD® sea la versión estándar internacional cuyo idioma es el Inglés. En versiones de otros idiomas (de uso poco frecuente) podrían existir ciertos inconvenientes con la integración matemática-gráfica con la aplicación Microsoft Excel®, sin embargo, no afectarían en lo esencial de la aplicación gráfica.

**Nota:** Las columnas que necesitan ingresar datos se encuentran identificadas de color verde oliva, mientras que las columnas que no requieren y no podrán ser modificadas se encuentran de color plateado; además solo se podrá acceder a las columnas modificables por comodidad del diseñador.

### 3.2.2 INGRESO DE DATOS

#### 3.2.2.1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO

- 1 Dar click en la pestaña "Inicio".

Inicio

Figura 3.2-1. Pestaña "Inicio".

- 2 Dar click en el botón "Inicio" si se desea abrir un proyecto nuevo, caso contrario dar click en el botón "Proyecto Existente" el cual abrirá un cuadro de dialogo que permitirá únicamente buscar archivos de Microsoft Excel® (\*.xlsx) en los cuales se encuentran los proyectos Alcantarium. También existe un vínculo al manual de usuario y la opción de guardar y salir de la herramienta.



Figura 3.2-2. Vista de la pantalla principal de la herramienta “Alcantarium”.

**Nota:** Si el formato Regional no es el correcto como se recomendó en las “Recomendaciones Generales”, es decir, la configuración del separador de decimales con comas (“,”), así como del separador de millares con un espacio (“ ”), la herramienta no permitirá continuar con el proceso y un asistente dirigirá al usuario a la configuración regional del panel de control del computador donde se debe realizar el cambio en la sección de “Configuraciones adicionales”, una vez realizado dicho cambio de manera correcta el programa permitirá continuar con el proceso. Para acceder directamente a cambiar esta configuración se puede dar click en “Formato” que es el primer botón del cuadro de diálogo anterior.

- 3 Una vez seleccionado “Inicio”, el nuevo cuadro de diálogo es el que se presenta en la Figura 3.2-3. Un nuevo proyecto de diseño se inicia con el botón “Datos”. Bajo cada botón en el cuadro de diálogo se encuentra un marcador que indica si la información está completa para continuar al siguiente menú. En caso de mostrarse el marcador sin seleccionar, significa que la información se encuentra vacía o incompleta.

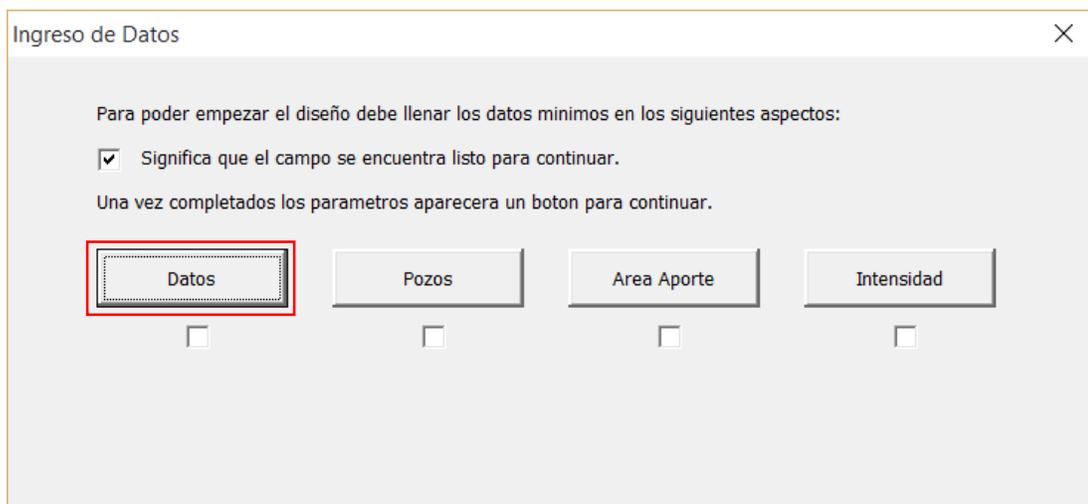


Figura 3.2-3. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de datos.

AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

- 4 Dentro del menú “Datos” se visualizará la información básica del diseño con sus respectivos símbolos y unidades; de igual manera en la parte derecha se encontrará un indicador para conocer si los datos se encuentran completos o no, que se presenta en la Figura 3.2-4.

| PARAMETRO                              | DATO | SÍMBOLO    | UNIDAD     |
|--|------|------------|------------|
| Dotación                               |      | <b>Do</b>  | (L/Hab.-d) |
| Tasa de Crecimiento                    |      | <b>c</b>   | %          |
| Periodo de Diseño (SANITARIO)          |      | <b>Pd</b>  | Años       |
| Periodo de Retorno (PLUVIAL)           |      | <b>Pr</b>  | Años       |
| <b>Densidad Poblacional (Minima)</b>   |      |            |            |
|  |      |            |            |
|  |      |            |            |
| Coeficiente de Retorno                 |      | <b>k</b>   | Qar/Qap    |
| Tiempo Concentración inicial           |      | <b>Tc</b>  | min.       |
| <b>Coefficiente Escurrimiento</b>      |      |            |            |
|  |      |            |            |
|  |      |            |            |
| Tension Tractiva Minima                |      | <b>τ</b>   | kg/cm2     |
| Tension Tractiva Minima                |      | <b>τ</b>   | Pa         |
| Tirante Min / Diametro                 |      | <b>h/D</b> |            |
| Tirante Max / Diametro                 |      | <b>h/D</b> |            |
| Profundidad Pozo Revisión (VIA)        |      | <b>h</b>   | m          |
| Profundidad Pozo Revisión (AREA VERDE) |      | <b>h</b>   | m          |
| Caudal Minimo (SANITARIO)              |      | <b>qm</b>  | L/s        |
| Velocidad Máxima                       |      | <b>V</b>   | m/s        |

|                 |    |   |
|-----------------|----|---|
| DATOS COMPLETOS | NO | X |
|-----------------|----|---|

Figura 3.2-4. Menú “Datos”.

- 5 Si se desea ingresar o modificar los datos del proyecto dar click en el botón “Modificar/Insertar”, ubicado en la parte derecha del menú “Datos”, que se presenta en la Figura 3.2-4.



Figura 3.2-5. Botón “Modificar/Insertar”.

- 6 Se mostrará a continuación un cuadro de dialogo que permitirá ingresar los datos básicos necesarios para el proyecto como la dotación del sector, tasa de crecimiento, periodo de diseño, zonificación, entre otros, como se muestra en la Figura 3.2-6, encontrando en la parte inferior 4 botones que se explicarán a continuación.



Ingreso de Datos

**Ingreso de Datos**

|                              |                               |                               |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Dotacion                     | <input type="text"/>          | L/hab/dia                     |
| Tasa de Crecimiento          | <input type="text"/>          | %                             |
| Periodo de Diseño            | <input type="text"/>          | Años                          |
| Zonificacion                 | <input type="text"/>          | Zonas                         |
| Nombre Zona                  | Densidad Poblacional (hab/Ha) | Coefficiente de Escurrimiento |
| Coefficiente de Retorno      | <input type="text"/>          | Qar/Qap                       |
| Tiempo Concentracion Inicial | <input type="text"/>          | Minutos                       |
| Tension Tractiva Maxima      | <input type="text"/>          | Kg/cm2                        |
| Tirante Minimo / Diametro    | <input type="text"/>          |                               |
| Tirante Maximo / Diametro    | <input type="text"/>          |                               |
| Profundida Pozo en Via       | <input type="text"/>          | mts                           |
| Profundida Pozo en Terreno   | <input type="text"/>          | mts                           |
| Caudal Sanitario Minimo      | <input type="text"/>          | L/s                           |
| Velocidad Maxima             | <input type="text"/>          | m/s                           |

Valores Usuales      Modificar Actuales

Continuar      Cancelar

Figura 3.2-6. Cuadro de diálogo para el ingreso de datos.

- 7 El primero denominado “Valores Usuales” permite ingresar rápidamente valores predeterminados en el diseño de sistemas de alcantarillado entre los cuales se encuentran:
- Coeficiente de retorno ( $R$ ).
  - Tiempo de concentración inicial ( $t_{ci}$ ).
  - Tensión tractiva máxima ( $\tau$ ).
  - La relación tirante mínimo / diámetro ( $h/d_{min}$ ).
  - La relación tirante máximo / diámetro ( $h/d_{max}$ ).
  - Profundidad del pozo en vía.
  - Profundidad del pozo en terreno.
  - Caudal sanitario mínimo.
  - Velocidad máxima de la tubería.

Este botón muestra dichos valores al dar 1 click sobre éste, y cancela la orden y oculta los valores al dar nuevamente click sobre éste.

- 8 El segundo denominado “Modificar Actuales” permite modificar los valores actuales de los datos básicos del proyecto, mostrando dentro de los cuadros de textos los valores actuales del proyecto.
- 9 Finalmente el tercer y cuarto botón son los de “Continuar” y “Cancelar” respectivamente.
- 10 Una vez ingresados y/o modificados todos los datos básicos, el marcador en la parte derecha indicará que los datos se encuentran completos y un visto bueno de confirmación.
- 11 Finalmente completos los datos básicos se procede a dar click en el botón “Volver a Inicio”, que se encuentra ubicado en la parte inferior derecha del menú “Datos”.

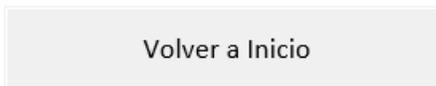


Figura 3.2-7. Botón “Volver a Inicio”.

### 3.2.2.2 POZOS

- Una vez que se regresó al menú “Inicio”, se podrá constatar que el marcador bajo el botón “Datos” se encuentra seleccionado.
- Seleccionar el botón “Pozos”, que se muestra en la Figura 3.2-8, si el marcador inferior se encuentra marcado, significa que la información se encuentra completa, caso contrario significa que la información se encuentra vacía o incompleta.

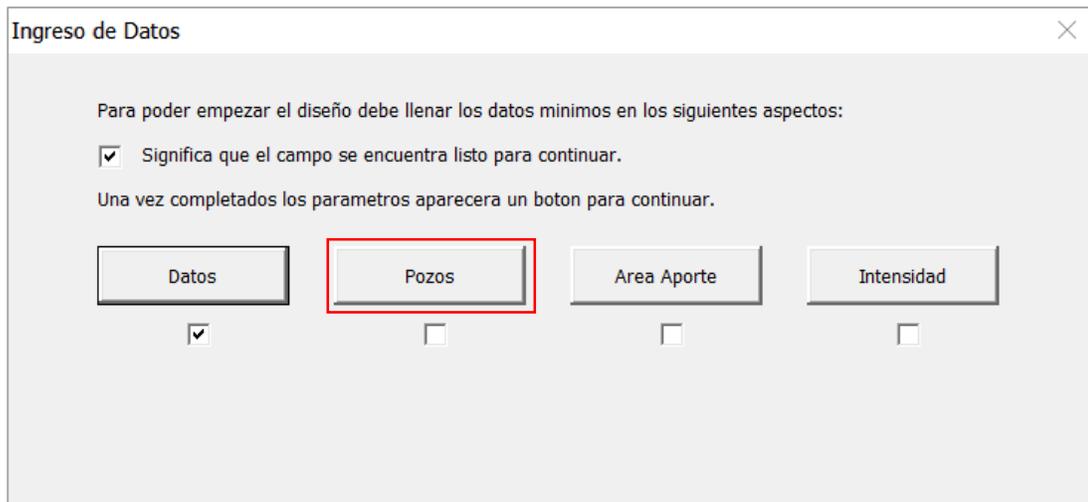


Figura 3.2-8. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de pozos de revisión.

- 3 Aquí se visualizará la información de la ubicación geográfica de los pozos de revisión; de igual manera en la parte derecha se encontrará un indicador para conocer si los datos se encuentran completos o no.



Figura 3.2-9. Menú “Pozos”.

Existen 2 opciones de ingreso para las coordenadas de los pozos de revisión: Ingreso manual e ingreso mediante la herramienta para Autodesk AutoCAD® “Colectores” que es un utilitario desarrollado por el autor del presente trabajo que se explica más adelante.

❖ **Para el ingreso manual:**

- 4 Ingresar los datos con el siguiente formato que se presenta en la Figura 3.2-9.
- 5 Una vez ingresados y/o modificados todos los datos básicos, el marcador en la parte derecha de la Figura indicará que los datos se encuentran completos y un visto bueno de confirmación.

- 6 Finalmente completos los datos básicos se procede a dar click en el botón “Volver a Inicio”, visualizado en la Figura 3.2-7, que se encuentra ubicado en la parte derecha inferior del menú “Pozos”, como se muestra en la Figura 3.2-9.

❖ **Para el ingreso con la herramienta “Colectores”:**

- 4 Abrir la aplicación Autodesk AutoCAD®.

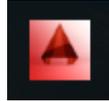


Figura 3.2-10. Icono de la aplicación Autodesk AutoCAD®.

- 5 Buscar el archivo “Colectores.lsp” y lo arrastrarlo en la aplicación AutoCAD®.
- 6 Cuando aparezca el mensaje de seguridad: “Un archivo ejecutable fue encontrado afuera de la carpeta especificada de confianza, que desea hacer?”, pulsar en cargar (*Load*) para autorizar la ejecución de la herramienta:

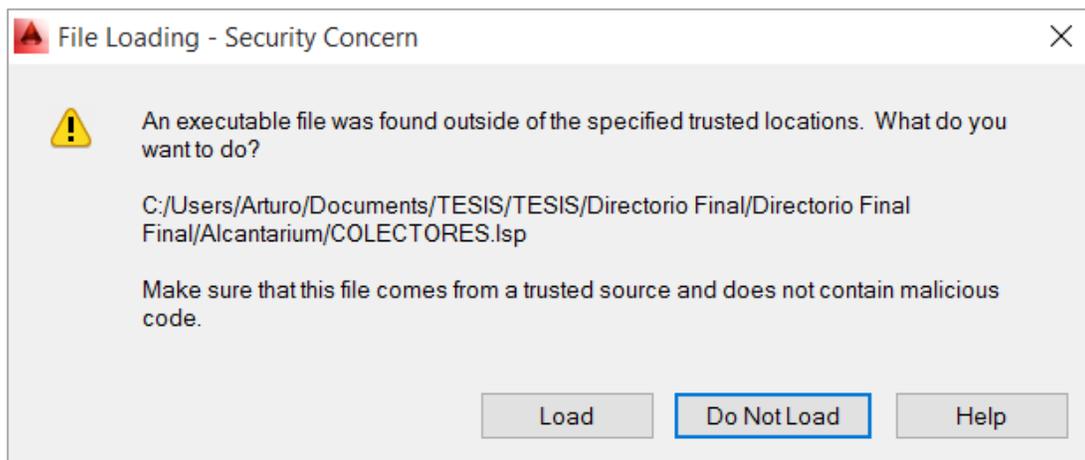


Figura 3.2-11. Mensaje de seguridad para carga del archivo.

- 7 Una vez cargado el archivo en AutoCAD®, escribir colectores en la línea de comandos de la aplicación.
- 8 La aplicación preguntará si es un proyecto nuevo, cuyas opciones son: Si/No/Listado (s/n/l).
- 9 Al escoger “Sí” (s) en el paso #8 se debe asignar un nombre al archivo del proyecto que contendrá la información geográfica (\*.txt) creado en la carpeta “Documentos” por defecto en caso de ser un archivo nuevo de AutoCAD®, o en la carpeta en la que se encuentre el archivo de AutoCAD® que se utilizó, Al escoger ”No” (n) se debe ingresar manualmente el nombre de información geográfica existente en la carpeta “Documentos” por defecto en caso de ser un archivo nuevo de

AutoCAD®, o en la carpeta en la que se encuentre el archivo de AutoCAD® que se utilizó; por último si se escoge la opción “Listado” (l) mostrará un cuadro de apertura de archivos en el cual se puede escoger el nombre del archivo y cualquier ubicación dentro del ordenador.

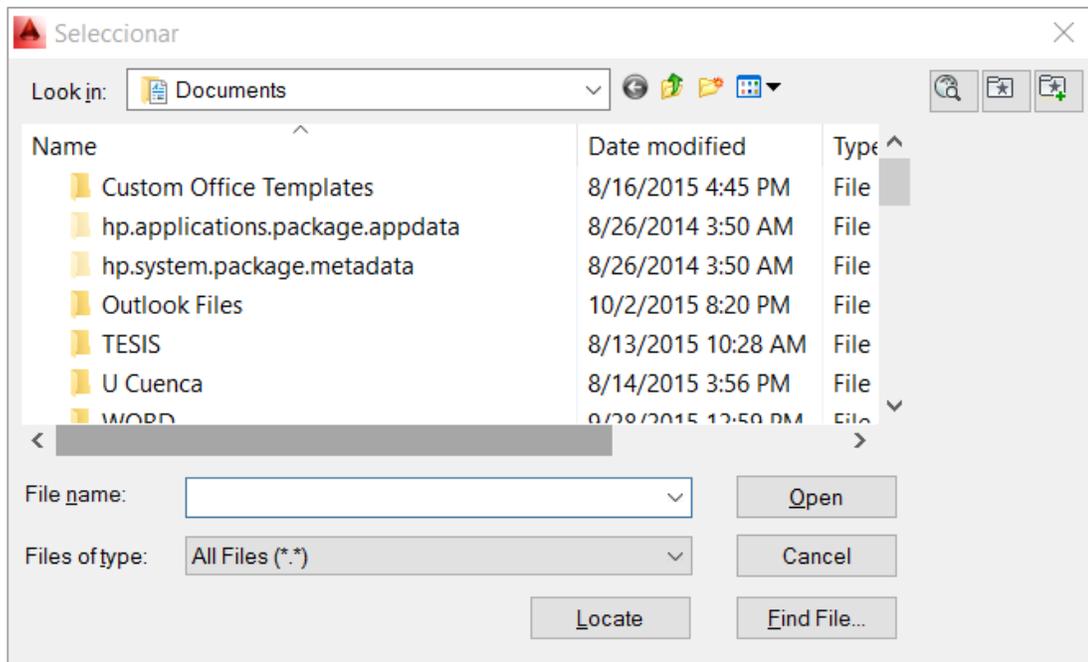


Figura 3.2-12. Cuadro de diálogo para apertura de proyecto “COLECTORES”.

- 10 Ingresar el número de decimales que utilizará la herramienta.
- 11 Ingresar el número de identificación del pozo inicial, por ejemplo al ingresar 1 la herramienta lo registrará como “P1”; seguido del número del pozo final del colector a ingresar.
- 12 Con el mouse seleccionar la coordenada del pozo inicial, si este punto no consta con información exacta de elevación el programa requerirá seleccionar la 1ra curva de nivel más cercana con información de elevación, a continuación la 2da curva de nivel más cercana, lo que realizará una interpolación de alturas obteniendo la elevación del punto deseado.
 

**Nota:** Si se desea ingresar una elevación ya conocida se debe ingresar manualmente dicha elevación, cuando el programa indique que seleccionemos la curva de nivel más cercana, con el siguiente formato (1,1,elevación) y (2,2,elevación) para la primera y segunda curva de nivel más cercanas respectivamente.
- 13 Repetir el paso #12 para el caso del pozo final.
- 14 Ingresadas las coordenadas de los pozos inicial y final la herramienta preguntará si se desea salir de la misma, al seleccionar “Si” (s) la herramienta cerrará y el archivo (\*.txt) se encontrará listo

con la información geográfica; en el caso de seleccionar “No” (n) la herramienta vuelve al paso #11 y se debe repetir el proceso hasta conseguir toda la información deseada.

- 15 Una vez obtenida la información desde la herramienta “Colectores”, volver a la herramienta en Microsoft Excel® y nuevamente en la pestaña “Pozos” dar click en el botón “Importar”.
- 16 Al pulsar el botón “Importar” se mostrará un cuadro de apertura en donde se debe buscar y abrir el proyecto (\*.txt) generado con la herramienta “Colectores” y automáticamente la herramienta ingresará los pozos eliminando valores repetidos por error.
- 17 En caso de ser necesario se debe realizar manualmente una depuración de datos.
- 18 Una vez ingresados y/o modificados todos los datos geográficos de los pozos de revisión, el marcador en la parte derecha indicará que los datos se encuentran completos y un visto bueno de confirmación, como se muestra en la Figura 3.2-9.
- 19 Finalmente completos los datos básicos se procede a dar click en el botón “Volver a Inicio”, que se presenta en la Figura 3.2-7.

### 3.2.2.3 TRAMOS

- 1 Una vez que se regresó al menú “Inicio”, se podrá constatar que el marcador bajo el botón “Pozos” se encuentra seleccionado.
- 2 Seleccionar el botón “Área Aporte”, si el marcador inferior se encuentra marcado, significa que la información se encuentra completa, caso contrario significa que la información se encuentra vacía o incompleta.

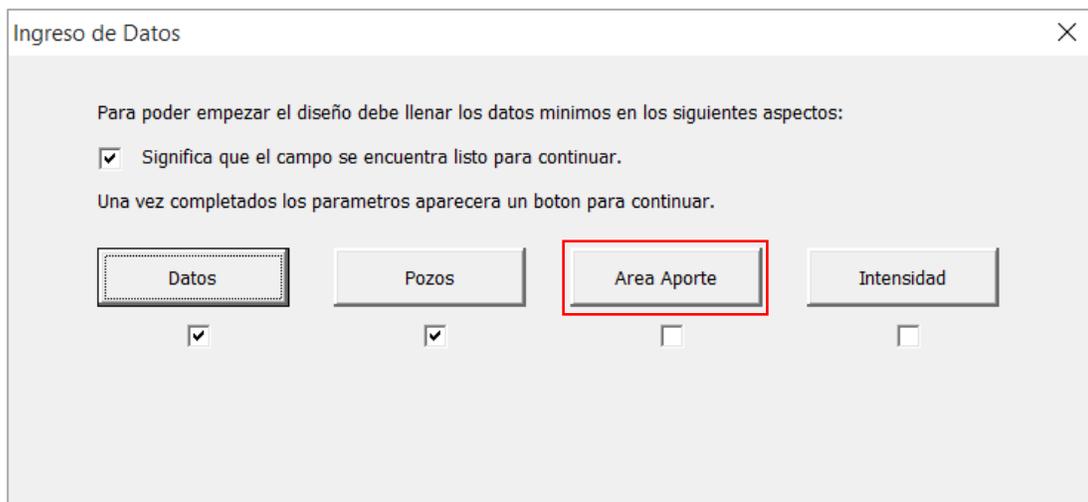


Figura 3.2-13. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de áreas de aporte.

- 3 Aquí se visualizará la información de las áreas de aporte de cada colector; de igual manera en la parte derecha se encontrará un indicador, que se muestra en la Figura 3.2-14 para conocer si los datos se encuentran completos o no.

| Tramo |  | Area (m2) | Area Manual (ha) | Area (ha) |
|-------|--|-----------|------------------|-----------|
|       |  |           |                  |           |

|                 |    |   |
|-----------------|----|---|
| DATOS COMPLETOS | NO | X |
|-----------------|----|---|

Figura 3.2-14. Menú “Área Aporte”.

- 4 Ingresar los datos con el formato que se muestra en la Figura 3.2-14.
- 5 Mediante la ayuda de una lista automática que utilizará como base de datos la información ingresada en la pestaña “Pozos” se puede llenar de manera rápida los tramos identificando el pozo inicial y final de cada colector, en la primera columna izquierda y la contigua derecha bajo el título “Tramo” como se observa en la Figura 3.2-14.
- 6 Llenar la información del área de aporte de cada colector de la siguiente manera: En la columna “Área (m2)” ingresar el área de aporte en [ $m^2$ ] del tramo y este automáticamente lo transformará en [ $ha$ ], teniendo como segunda opción ingresar el área de aporte directamente en [ $ha$ ] en la columna “Área Manual (ha)”.
- 7 Una vez ingresados y/o modificados todos las áreas de aporte, el marcador en la parte derecha indicará que los datos se encuentran completos y un visto bueno de confirmación.
- 8 Finalmente completos los datos básicos se procede a dar click en el botón “Volver a Inicio”, en la Figura 3.2-7.

#### 3.2.2.4 INTENSIDAD DE DISEÑO DEL PROYECTO

- 1 Una vez que se regresó al menú “Inicio”, se podrá constatar que el marcador bajo el botón “Área Aporte” se encuentra seleccionado.
- 2 Seleccionar el botón “Intensidad”, si el marcador inferior se encuentra marcado, significa que la información se encuentra completa, caso contrario significa que la información se encuentra vacía o incompleta.

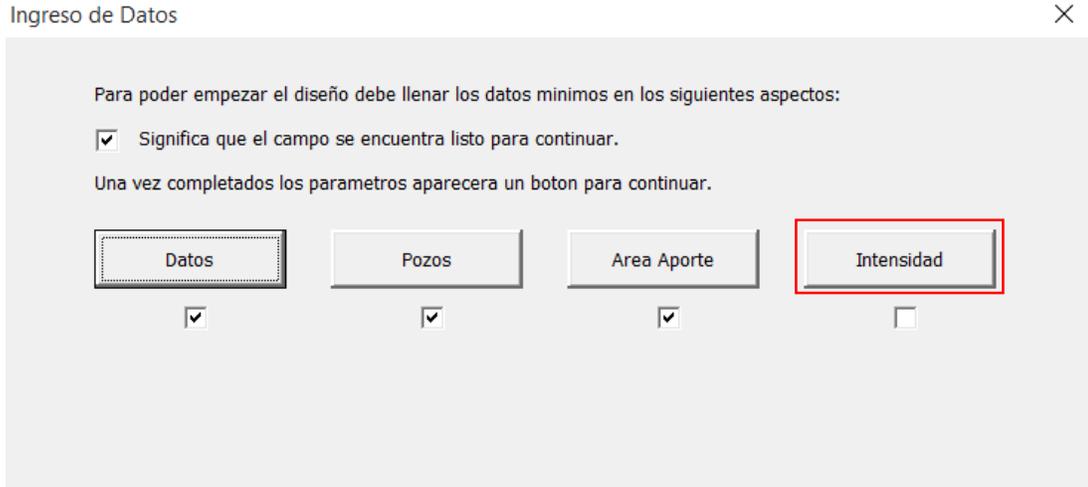


Figura 3.2-15. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de intensidades de diseño.

- 3 Aquí se visualizará la información de la intensidad de lluvia de diseño; de igual manera en la parte inferior se encuentra un indicador para conocer si los datos se encuentran completos o no.



Figura 3.2-16. Menú “Intensidad”.

Existen 2 opciones para el ingreso de la información hidrológica de la zona del proyecto y así obtener la intensidad de diseño del proyecto: La primera es ingresar los factores que caracterizan las curvas IDF, y la segunda es a través de la zonificación de intensidad de lluvia en el Ecuador publicada por el INAMHI (Fiallos, 1999).



Figura 3.2-17. Apartado para la selección del método de cálculo de la intensidad.

#### ❖ Mediante factores Curvas IDF

- En el apartado “Método” que se muestra en la Figura 3.2-17, seleccionar la opción “Curvas IDF” mediante la ayuda del menú desplegable, y con esto aparecerá la información a llenar con el siguiente formato:

| PERIODO RETORNO | INTENSIDAD                      |   |   | $I = A/[t+C]^B$                    |   |   |
|-----------------|---------------------------------|---|---|------------------------------------|---|---|
|                 | Para $5 \leq t \leq 60$ minutos |   |   | Para $60 \leq t \leq 1440$ minutos |   |   |
|                 | A                               | B | C | A                                  | B | C |
|                 |                                 |   |   |                                    |   |   |
|                 |                                 |   |   |                                    |   |   |
|                 |                                 |   |   |                                    |   |   |
|                 |                                 |   |   |                                    |   |   |

Figura 3.2-18. Formato de ingreso de factores de Ponce para curvas IDF.

- Una vez ingresados y/o modificados todos los coeficientes correspondientes a las curvas IDF, el marcador en la parte inferior indicará que los datos se encuentran completos y un visto bueno de confirmación.

**Nota:** Para que los datos estén completos deben existir al menos 2 periodos de retorno para de esta manera poder realizar una interpolación. Los valores ingresados deben ser menor y mayor al periodo de diseño, en vista que no se realizarán extrapolaciones.

- Finalmente completos los datos de intensidad de diseño se procede a dar click en el botón “Volver a Inicio”, que se muestra en la Figura 3.2-7.

#### ❖ Mediante factores Curvas IDF

- En el apartado “Método” que se muestra en la Figura 3.2-17, seleccionar la opción “Ecuaciones Representativas” mediante la ayuda del menú desplegable, y con esto aparecerá la información a llenar con el siguiente formato:

AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

| Precipitación en 24 Horas<br>(mm) |
|-----------------------------------|
|                                   |
| Zona                              |
|                                   |

Figura 3.2-19. Formato de ingreso de datos para zonificación del INAMHI.

- Ingresar la precipitación promedio en 24 horas para el sector a diseñar en milímetros.
- Escoger la zona de diseño mediante el menú despegable en caso de conocer el número de zona, o en su defecto se puede dar click en los números referenciados en el mapa del Ecuador que se muestra en la Figura 3.2-20 y automáticamente se cargará la zona de diseño.

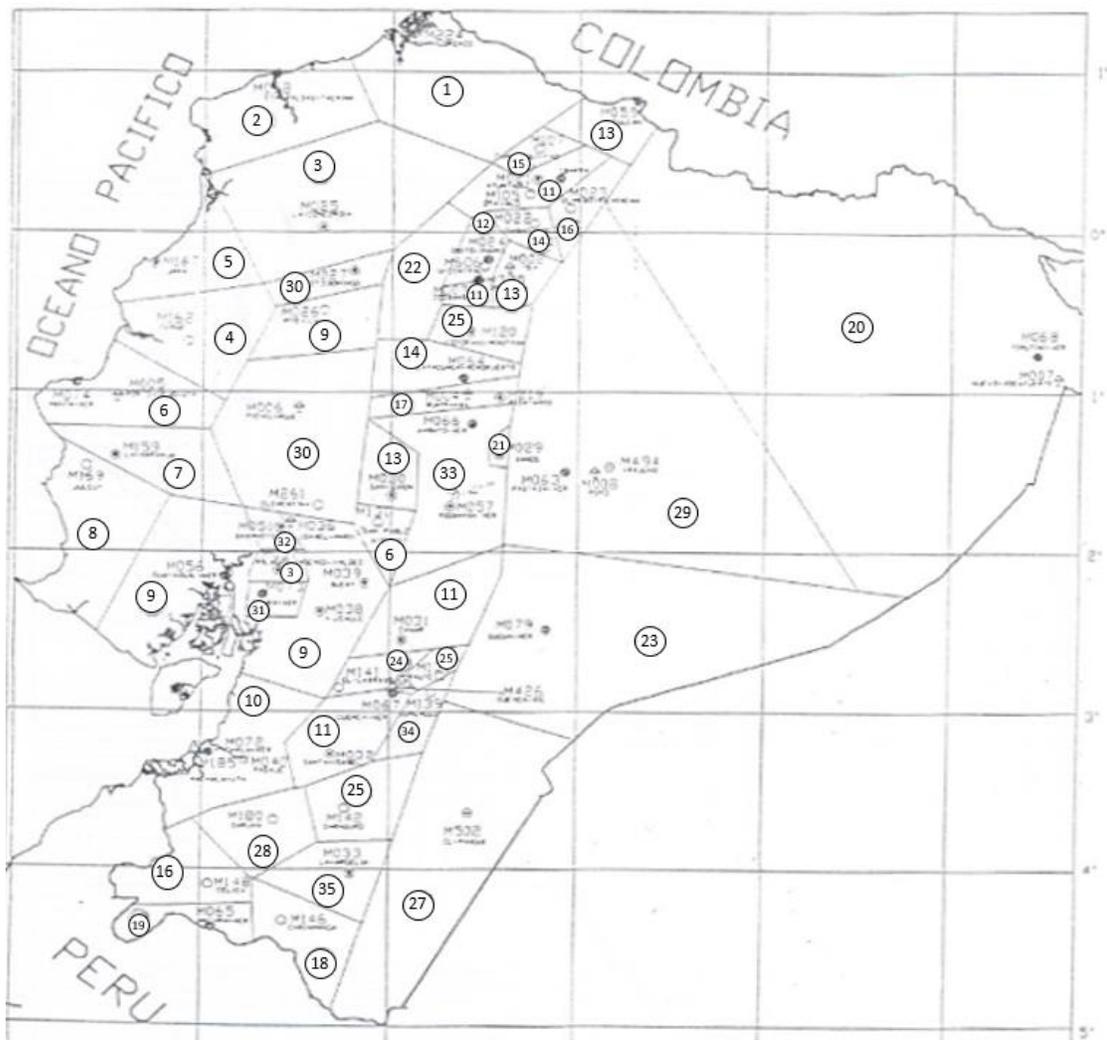


Figura 3.2-20. Zonificación propuesta por el INAMHI (Fiallos, 1999).

- 7 Una vez ingresados y/o modificados todos los coeficientes correspondientes a las curvas IDF, el marcador en la parte inferior indicará que los datos se encuentran completos y un visto bueno de confirmación.
- 8 Finalmente completos los datos de intensidad de diseño se procede a dar click en el botón “Volver a Inicio”, que se presenta en la Figura 3.2-7.

### 3.2.3 MÓDULO PRINCIPAL DE DISEÑO.

- 1 Una vez que se regresó al menú “Inicio”, se podrá constatar que el marcador bajo el botón “Intensidad” se encuentra seleccionado.
- 2 Cuando toda la información se encuentre completa (todos los “check” se encuentren marcados), se encontrará un botón denominado “Continuar” y se dará click en dicho botón.

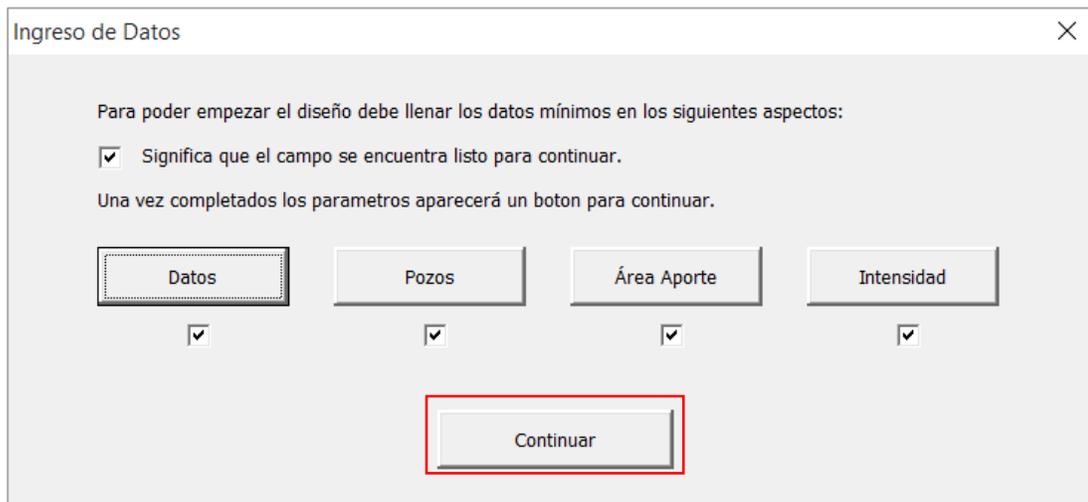


Figura 3.2-21. Menú central “Inicio” con enfoque en el ingreso de la herramienta.

- 3 La hoja desplegada necesita inicialmente la configuración de diseño de los colectores ingresando los identificadores de los pozos de forma descendente en la columna denominada “Pozo N°”, es decir, primero los pozos aguas arriba y posteriormente los pozos aguas abajo continuamente.

**Nota:** Si se trata de un diseño con varios tramos secundarios que descargan en un colector, el orden de los colectores será de menor a mayor importancia, es decir, primero diseñar los colectores secundarios y finalmente los principales como se explicará en el siguiente ejemplo que se presenta en la Figura 3.2-22 y la Figura 3.2-23:



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILADO

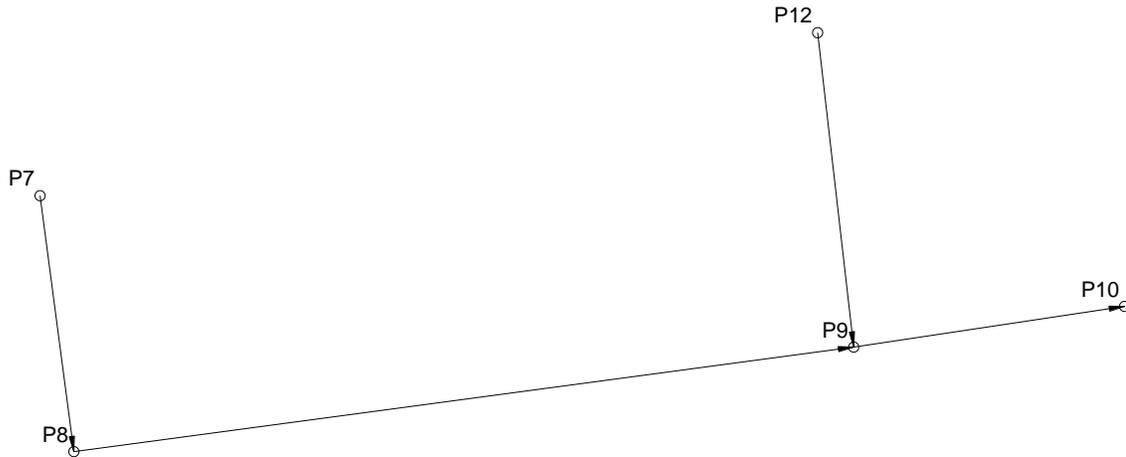


Figura 3.2-22. Ejemplo explicativo de colectores principales y secundarios.

| Pozo N° | Inicio Ramal | Pozos Aportante | Derivador | Zona    | Tramo   |       |
|---------|--------------|-----------------|-----------|---------|---------|-------|
|         |              |                 |           |         | Inicial | Final |
| P12     | X            |                 |           | Limpiar | P12     | P9    |
| P9      |              |                 |           | Alta    |         |       |
| P7      | X            |                 |           | Alta    | P7      | P8    |
| P8      |              |                 |           |         |         |       |
| P9      | XX           | P9 (7)          |           | Alta    | P8      | P9    |
| P10     |              |                 |           | Alta    | P9      | P10   |

Figura 3.2-23. Diseño realizado dentro de la herramienta.

En este caso el colector secundario es el compuesto por el tramo P12-P9, dejando como colector principal el generado entre los tramos P7-P10, cabe recalcar que el cambio de dirección no implica que un colector sea secundario o principal, los colectores principales son aquellos tramos continuos de mayor longitud que inician con un pozo de cabecera y terminan en un emisario final, mientras que los secundarios terminan en un tramo principal, y de la misma manera en cuantos niveles jerárquicos se encuentren en el diseño, como se muestra en la Figura 3.2-22.

- Se colocará una “X” junto a los pozos de cabecera para que el programa pueda identificarlos en la columna denominada “Inicio / Ramal”, de igual manera se colocará una “XX” en los pozos aportados, es decir, aquellos pozos que reciban caudal proveniente de un colector secundario.
- En caso de ser necesario para el diseño se colocará una “D” en la columna denominada “Derivador” que generará un derivador de caudal sanitario en ese pozo de revisión, el mismo que divide las aguas residuales de las agua pluviales, enviando las últimas a un cuerpo receptor cercano

logrando de esta manera disminuir el caudal contenido anteriormente en el colector lo que significa una disminución general del diámetro de los colectores.

- En la columna denominada “Zona” ingresaremos la zonificación asignada en los datos básicos del proyecto, lo que asignará a dicho tramo un coeficiente de escorrentía y densidad poblacional determinada; en caso de querer eliminar todos los valores dar click en el botón “Limpiar”, como se presenta en la Figura 3.2-24.

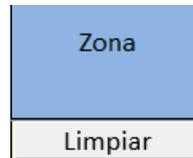


Figura 3.2-24. Botón “Limpiar”.

**Nota:** La zona se escoge de un menú desplegable en cada celda, si se selecciona cualquier zona en el pozo de cabecera de cada colector la herramienta automáticamente asignará dicha zona al resto de tramos del colector, sin embargo las zonas pueden ser modificadas manualmente tramo a tramo en caso de ser necesario.

- En la columna denominada “Tipo” ingresar si el tramo será construido en una vía transitada o en predios condominiales, lo que asignará a dicho tramo una altura mínima del pozo de revisión para dicho tramo; en caso de querer eliminar todos los valores dar click en el botón “Limpiar”.

**Nota:** El tipo de pozo se escoge de un menú desplegable en cada celda, si se selecciona cualquier tipo en el pozo de cabecera de cada colector la herramienta automáticamente asignará dicho tipo al resto de tramos del colector, sin embargo el tipo de colector puede ser modificado manualmente tramo a tramo en caso de ser necesario.

- Opcional: En caso de no tener información sobre las coordenadas norte y este del proyecto, sobre las que se calculará la distancia de cada tramo, ingresar la distancia de cada tramo en metros.

Si se desea que el proyecto considere el caudal pluvial, dirigirse a la columna denominada “Coeficiente de Escorrimento C”, y en su primera celda se encontrará un menú desplegable, en el cual se debe escoger la opción “SI”, caso contrario escoger la opción “X” lo que hará que la herramienta no considere el aporte pluvial del proyecto, convirtiéndolo así en un alcantarillado sanitario separado.

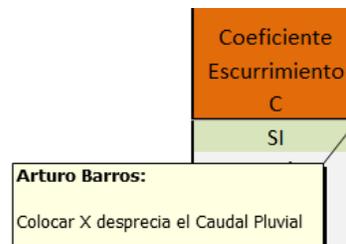


Figura 3.2-25. Menú desplegable para selección de caudal pluvial.

- 9 Dirigirse a la columna denominada “Pendiente Lateral %” e ingresar el valor de la máxima pendiente perpendicular al tramo del colector; si no se conoce dicha información dar click en el botón “Predeterminado”, lo que establecerá la pendiente perpendicular de la tubería en 1%. (Valor propuesto para considerar escorrentía superficial).
- 10 En la columna denominada “Tiempo de Concentración, Velocidad”, dar click en el botón “Inicializar” lo cual establecerá la velocidad de la tubería en 1 m/s para realizar el cálculo inicial del tiempo de concentración de la tubería.
- 11 Luego dar click en el botón “Iterar”, en la columna denominada “Tubería”, lo cual realizará la iteración necesaria para calcular el tiempo de concentración dentro del tramo de la tubería con la velocidad final del flujo en el colector.
- 12 Si se desea que el proyecto considere el caudal sanitario dirigirse a la columna denominada “Dotación l/hab/día”, y en su primera celda se encontrará un menú desplegable, en el cual se debe escoger la opción “SI”, caso contrario escoger la opción “X” lo que hará que la herramienta no considere el aporte pluvial del proyecto, convirtiéndolo así en un alcantarillado pluvial separado.



Figura 3.2-26. Menú desplegable para selección de caudal sanitario.

- 13 Dirigirse a las columnas denominadas “Factor de Mayoración”, y con la ayuda de un menú desplegable se escogerá entre las diferentes ecuaciones del factor de mayoración.
- 14 En la columna denominada “q Concentración” ingresar, en caso de ser necesario, el caudal concentrado que reciba dicho colector proveniente de edificaciones especiales como escuelas, industrias, etc., en litros por segundo (l/s).

**Nota:** Una vez completados los datos iniciales se puede ver el cálculo final del caudal para uno de los colectores en la columna denominada “q Diseño TOTAL”

- 15 Dirigirse a la columna denominada “Material”, y de igual manera mediante la ayuda de un menú desplegable se escogerá el material de la tubería de los colectores.

**Nota:** El material de la tubería se escoge de un menú desplegable en cada celda, si se selecciona cualquier material en el pozo de cabecera de cada colector la herramienta automáticamente asignará dicho material al resto de tramos del colector, pero estos pueden ser modificados manualmente tramo a tramo en caso de ser necesario.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

- 16 Seguido a esto la herramienta calculará el diámetro necesario para el tramo, el mismo que puede ser modificado manualmente en caso de ser necesario, en la columna denominada “Diámetro Impuesto” en milímetros (mm).

**Nota:** En las columnas previas se puede ver 2 diferentes valores del diámetro calculado para la tubería, el primero se lo realiza con la pendiente inicial del tramo, es decir, la pendiente generada entre los pozos de revisión; el segundo se lo realiza con la pendiente final del tramo, es decir, la pendiente final una vez realizadas las modificaciones geométricas definidas por el usuario.

- 17 Dirigirse a la columna denominada “Pendiente Impuesta”, en donde en caso de ser necesario se modificará la pendiente inicial de la tubería, si la pendiente definitiva es menor a la mínima.

**Nota:** Si la pendiente definitiva es menor a la mínima, dicha celda se marcará de color rojo; el análisis de la pendiente mínimas se realiza con el criterio geométrico que la tirante sobre el diámetro sea del 20%, así como la pendiente mínima para auto limpieza (tensión tractiva) como se presenta en la Figura 3.2-27.

| Pendiente Impuesta % | Pendiente Inicial % | Pendiente Definitiva % | h/D Mínima | $\theta$ Mínimo Grados | $\theta$ Mínimo Rad | RH Mínimo mm | Tirante Mínimo mm | Pendiente Mínima % | Velocidad Min m/s | Velocidad Max m/s |
|----------------------|---------------------|------------------------|------------|------------------------|---------------------|--------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 0.60%                | 0.60%               | 0.60%                  | 0.2        | 105.973                | 1.850               | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
|                      | 0.50%               | 0.50%                  | 0.2        | 105.973                | 1.850               | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
|                      | 3.10%               | 3.80%                  | 0.2        | 105.973                | 1.850               | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
|                      | 4.10%               | 2.50%                  | 0.2        | 105.973                | 1.850               | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |

Figura 3.2-27. Advertencia de pendiente mínima en la herramienta.

- 18 Dirigirse a la columna denominada curvas ajustadas, en donde se encontrará la información del comportamiento geométrico e hidráulico del tramo de la tubería; aquí con la ayuda se escogerá “SI” si deseamos que las curvas geométricas consideren la variación del coeficiente de Manning, caso contrario se seleccionará “NO” si se desea considerar el coeficiente de Manning como constante.
- 19 Avanzar hasta la columna denominada “Salto” donde se tiene la posibilidad, en caso de ser necesario, de ingresar un valor que modificará la elevación del pozo inicial de cada tramo, descendiendo el pozo si el valor ingresado es positivo y ascendiendo el pozo en caso contrario, modificando así la pendiente final del tramo.
- 20 Finalmente en la columna denominada “Profundizar” se tiene la posibilidad, en caso de ser necesario, ingresar un valor que modificará la elevación de los pozos inicial y final de cada tramo, descendiendo los pozos si el valor ingresado es positivo y ascendiendo los pozos en caso contrario, sin modificar la pendiente final del tramo hasta que el pozo final llegue a tener la elevación del siguiente pozo inicial, en este caso a pesar de incrementar el valor de profundización solo descenderá la elevación del pozo inicial lo que finalmente modificará la pendiente definitiva.

**Nota:** Estas 2 últimas opciones deben ser usadas solo en caso de ser necesario por motivos de obstáculos o problemas topográficos en el tramo, como se muestra en la Figura

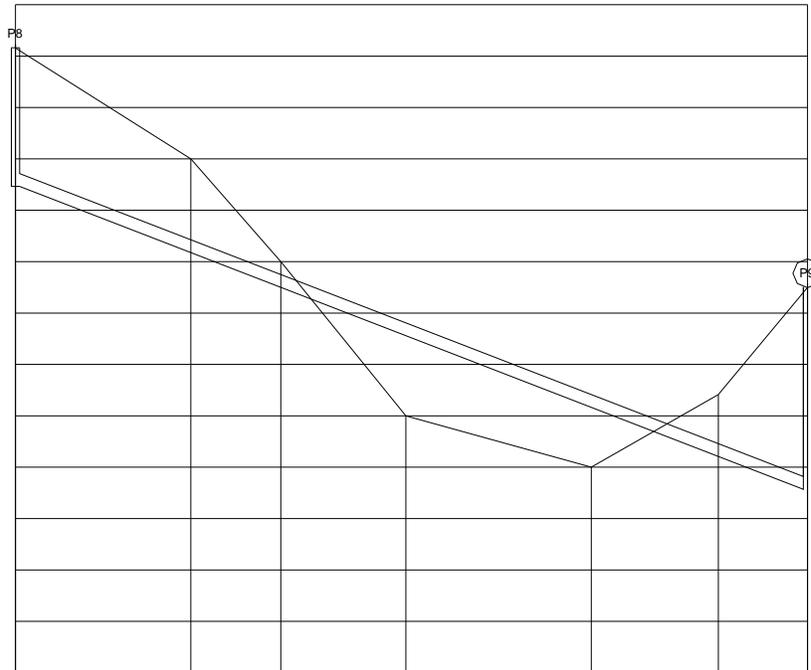


Figura 3.2-28. Posible problema topográfico encontrado en un diseño.

En la Figura 3.2-28 se observa que la tubería se encuentra por encima del terreno debido a que las cotas iniciales y finales del colector nos dan una pendiente continua y el terreno presenta una discontinuidad en su topografía, problema encontrado continuamente en el diseño de sistemas de alcantarillado. Al encontrarse con este problema se debe recurrir a un “Salto” o “Profundización”, con el fin de evitar esta discontinuidad y conseguir que la tubería se encuentre por debajo de terreno.

### 3.2.4 RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA

#### 3.2.4.1 SALIDA GRAFICA

- 1 Dirigirse a la herramienta repitiendo los pasos #1 y #2 de la Sección 3.2.3: MÓDULO PRINCIPAL DE DISEÑO.
- 2 En la parte superior izquierda de la herramienta dar click en el botón “AutoCAD”:



Figura 3.2-29. Botón “AutoCAD”.

Con lo que aparecerá el siguiente cuadro de diálogo:

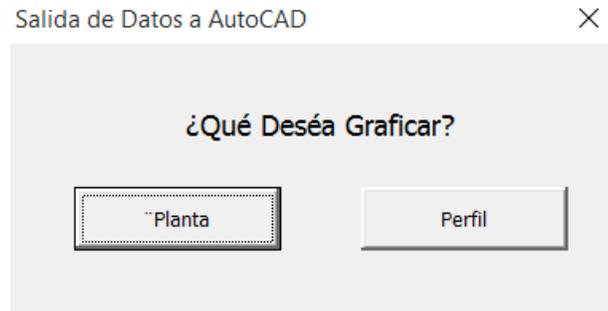


Figura 3.2-30. Cuadro de diálogo para selección de vista del proyecto.

La herramienta preguntará que se desea graficar: la vista en planta o perfil del proyecto.

❖ **Para graficar la Planta del proyecto:**

- 3 Dar click en el botón “Planta”, lo que dirigirá al usuario al menú “Planta CAD”.

|                                     |             |                 |             |     |                         | Información Mostrada |                 |                 |    |
|-------------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----|-------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|----|
|                                     | Nombre Capa | Color           | Color (RGB) |     | Color (RGB) Modificador | Color Final          |                 |                 |    |
|                                     | Tubería     | Colector_Planta | Rojo        | 255 | 0                       | 0                    | Planta          | Longitud        | SI |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Pozos       | Pozos_Planta    | Magenta     | 255 | 0                       | 255                  | Volver a Diseño | Diametro        | SI |
|                                     | Texto       | Texto_Planta    | Azul        | 0   | 0                       | 255                  |                 | Pendiente       | SI |
| Altura Texto                        |             | 2               |             |     |                         |                      |                 | Caudal Lleno    | X  |
|                                     |             |                 |             |     |                         |                      |                 | Caudal Real     | X  |
|                                     |             |                 |             |     |                         |                      |                 | Velocidad Llena | X  |
|                                     |             |                 |             |     |                         |                      |                 | Velocidad Real  | X  |

Figura 3.2-31. Menú “Planta CAD”.

- 4 En la columna denominada “Nombre Capa” ingresar el nombre que se desea para la capa de la tubería, pozos de revisión y texto de los planos.

**Nota:** El nombre asignado a cada elemento no puede tener espacios, si se desea ingresar más de 1 palabra se lo debe realizar mediante la adición de un guion bajo ( \_ ), como se muestra en la Figura 3.2-31, con el siguiente formato:

*palabra1\_palabra2*

- 5 Luego se selecciona el color de la capa para cada elemento mediante la ayuda de un menú desplegable en la columna denominada “Color”, lo que generará automáticamente el código RGB (Red, Green, Blue) del color seleccionado y mostrará el color que adoptará cada elemento en la columna denominada “Color Final”.
- 6 Si se desea se pueden modificar los colores predeterminados mediante las columnas denominadas “Color (RGB) Modificador”, y el color resultante se visualizará en la columna “Color Final”, como se presenta en la Figura 3.2-31.

- 7 Finalmente dar click en el botón “Planta” y el programa se minimizará automáticamente para realizar el procesamiento de datos; cuando la herramienta finalice el proceso el icono de Microsoft Excel® ubicado en la barra de tareas, éste titilará indicando que el proceso ha finalizado.



Figura 3.2-32. Secuencia de titilación que indica que el proceso ha finalizado.

Dar click en el ícono de Microsoft Excel® con lo que aparecerá un cuadro de dialogo con el siguiente texto, al cual se debe dar click en el botón “OK”.

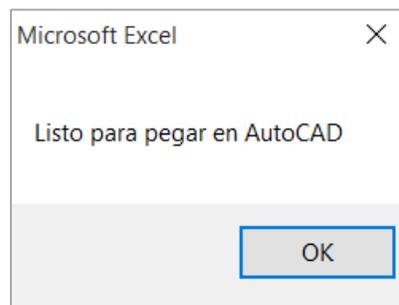


Figura 3.2-33. Cuadro de diálogo de confirmación para dibujar en Autodesk AutoCAD®.

- 8 Abrir la aplicación Autodesk AutoCAD® y en la línea de comando pegar la información obtenida de la herramienta lo que automáticamente generará la representación gráfica del proyecto en su vista de planta.

**Nota:** El pegado de la información se lo puede realizar presionando las teclas (Ctrl) + (v), o en su defecto presionando el botón derecho del mouse sobre la línea de comandos y seleccionando la opción “Pegar”.

Finalmente volver a la herramienta con lo que aparecerá un nuevo cuadro de dialogo con el siguiente texto, al cual se debe dar click en el botón “OK” nuevamente.

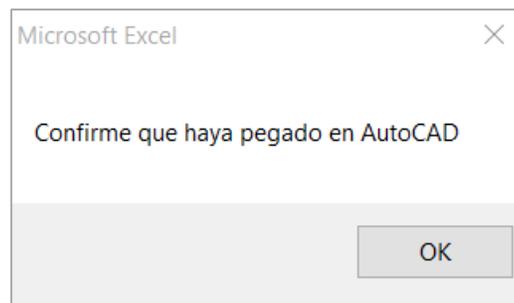


Figura 3.2-34. Confirmación de que se ha realizado la representación gráfica.

## ❖ Para graficar el Perfil del proyecto:

- 3 Dar click en el botón “Perfil”, lo que dirigirá al usuario al menú “Perfil CAD”.

|   | Tramo | Pozo | Abscisa | Abscisa (Pozo) | Cota | Cota Terreno (Pozo) |
|---|-------|------|---------|----------------|------|---------------------|
| X |       | ▼    |         |                |      |                     |

Figura 3.2-35. Menú “Perfil CAD”.

|        |                 | Capa | Color    | Color (RGB) |     | Color (RGB) Modificador | Color Final |
|--------|-----------------|------|----------|-------------|-----|-------------------------|-------------|
| Perfil | Perfil_Perfil   |      | Magenta  | 255         | 0   | 255                     |             |
|        | Guitarra_Perfil |      | Amarillo | 255         | 255 | 0                       |             |
|        | Texto_Perfil    |      | Rojo     | 255         | 0   | 0                       |             |
|        | Tuberia_Perfil  |      | Azul     | 0           | 0   | 255                     |             |
|        | Grilla_Perfil   |      | Verde    | 0           | 255 | 0                       |             |

Figura 3.2-36. Menú “Perfil CAD” (Continuación).

- 4 Aquí ingresar la información topográfica del perfil, en la columna denominada “Tramo” con la ayuda de un menú despegable se seleccionará el pozo inicial del colector y la herramienta reflejará la información de abscisa y cota del terreno en las columnas “Abscisa (Pozo)” y “Cota Terreno (Pozo)” respectivamente, así como una “X” de color amarillo a la izquierda del tramo con lo que indicará la presencia de un pozo de revisión, que se presenta en la Figura 3.2-35.

**Nota:** Al lado derecho de cada pozo de cada pozo de revisión, dentro del nombre del tramo, se encuentra entre paréntesis el número de fila de los tramos con respecto a la hoja de cálculo, lo que ayudará a seguir un orden específico en la selección de los tramos evitando confusiones al diseñador.

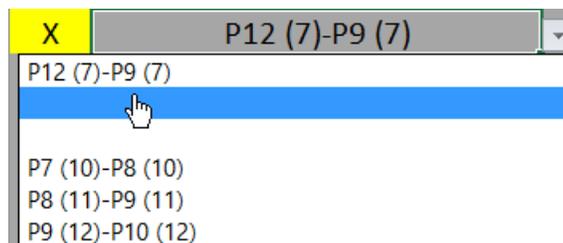


Figura 3.2-37. Selección del tramo de colector en el menú “Perfil”.

- 5 Seguido a esto ingresar la información topográfica del terreno en las columnas aledañas a la izquierda, es decir, en las columnas denominadas “Abscisa” y “Cota” respectivamente
- 6 A continuación ingresar el siguiente tramo de nuestro colector mediante la ayuda del menú despegable en cada celda de la columna “Tramo” y repetir el paso #4.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

- 7 Cuando se ha alcanzado el último tramo del colector incluida la repetición del paso #4 seleccionar nuevamente el tramo final del colector con lo que se verán las letras “TF” con fondo de color azul a la izquierda, lo que indicará que es el tramo final del colector.
- 8 Repetir los pasos #3 al #6 para todos los colectores dentro del diseño.

**Nota:** Si no se posee información sobre la nivelación topográfica se omitirá el paso #4 y se ingresarán los tramos del colector de manera continua, con la condición de que la representación gráfica únicamente contará con la topografía de los pozos de revisión, como se puede observar en la Figura 3.2-38.

|    | Tramo          | Pozo | Abscisa | Abscisa (Pozo) | Cota | Cota Terreno (Pozo) |
|----|----------------|------|---------|----------------|------|---------------------|
| X  | P12 (7)-P9 (7) | P12  |         | 0+000.00       |      | 2590.143            |
| TF | P12 (7)-P9 (7) | P9   |         | 0+062.02       |      | 2592.499            |

Figura 3.2-38. Información topográfica únicamente de los colectores del sistema.

- 9 Una vez finalizado el ingreso de la nivelación topográfica dirigirse al apartado a la derecha denominado “Escala V”, e ingresar la escala vertical de la representación gráfica de la vista en perfil del proyecto.
- 10 En la columna denominada “Nombre Capa” ingresar el nombre que se desea para la capa de la tubería, pozos de revisión y texto de los planos.

**Nota:** El nombre asignado a cada elemento no puede tener espacios, si se desea ingresar más de 1 palabra se lo debe realizar mediante la adición de un guion bajo ( \_ ), con el siguiente formato:

*palabra1\_palabra2*

- 11 Seguido a esto seleccionar el color de la capa para cada elemento mediante la ayuda de un menú desplegable en la columna denominada “Color”, lo que generará automáticamente el código RGB (Red, Green, Blue) del color seleccionado y mostrará el color que adoptará cada elemento en la columna denominada “Color Final”.
- 12 Si se desea se puede modificar los colores predeterminados mediante las columnas denominadas “Color (RGB) Modificador”, y el color resultante se visualizará en la columna “Color Final”.
- 13 Finalmente dar click en el botón “Perfil” y el programa se minimizará automáticamente para realizar el procesamiento de datos; cuando la herramienta finalice el proceso, el ícono de Microsoft Excel® ubicado en la barra de tareas, titilará indicándonos que el proceso ha finalizado.

Dar click en el ícono de Microsoft Excel® con lo que aparecerá una cuadro de diálogo con el siguiente texto, al cual se debe dar click en el botón “OK”.

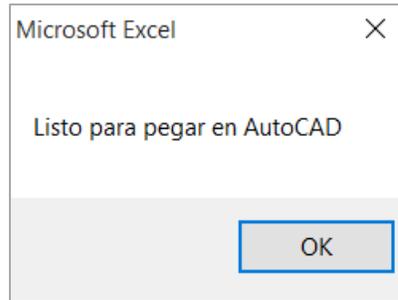


Figura 3.2-39. Cuadro de diálogo de confirmación para dibujar en Autodesk AutoCAD®.

- 14 Abrir la aplicación Autodesk AutoCAD® y en la línea de comando pegar la información obtenida de la herramienta lo que automáticamente generará la representación gráfica del proyecto en su vista de planta.

**Nota:** El pegado de la información se lo puede realizar presionado las teclas (Ctrl) + (v), o en su defecto presionando el botón derecho del mouse sobre la línea de comandos y seleccionando la opción “Pegar”.



Figura 3.2-40. Línea de comandos de la aplicación AutoCAD®.

- 15 Finalmente volver a la herramienta con lo que aparecerá un nuevo cuadro de dialogo con el siguiente texto:

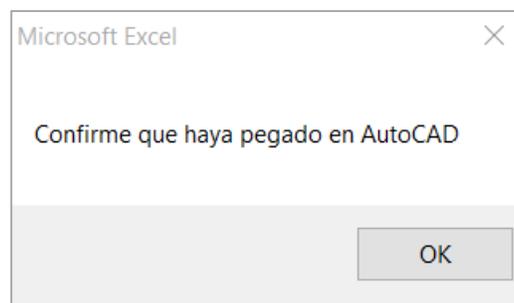


Figura 3.2-41. Confirmación de que se ha realizado la representación gráfica.

Al cual se debe dar click en el botón “OK” nuevamente.

**Nota:** Si se desea realizar simplemente cambios en la parte visual de la representación gráfica de la vista en perfil del proyecto, es decir, en la coloración de sus elementos, después de realizar los cambios como indican los pasos #11 y #12, finalmente se debe repetir el paso #14 en adelante.

### 3.2.4.2 INFORME DEL PROYECTO.

- 1 Dirigirse a la herramienta repitiendo los pasos #1 y #2 de la Sección 3.2.3: MÓDULO PRINCIPAL DE DISEÑO.
- 2 En la parte superior izquierda de la herramienta dar click en el botón “Informe” lo que dirigirá al usuario a la pestaña “Informe” en la cual se encontrará un cuadro resumen del diseño con la información más relevante del mismo.

### 3.2.4.3 ALMACENAMIENTO DEL PROYECTO

- 1 Dar click en la pestaña “Inicio”.



Figura 3.2-42. Pestaña “Inicio”.

- 2 Dar click en el botón “Guardar y Salir”, con lo que aparecerá el siguiente cuadro de diálogo:

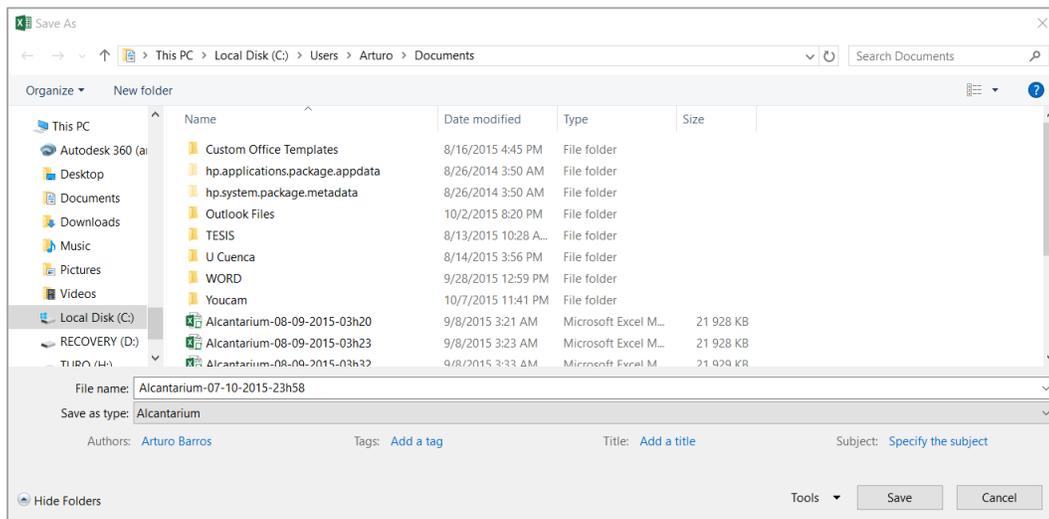


Figura 3.2-43. Cuadro de diálogo para almacenamiento del proyecto.

En el cual nos pedirá una locación para almacenar el proyecto, y la herramienta automáticamente lo llamará “Alcantarium”, seguido de la fecha y hora actuales del sistema (“Alcantarium-[Fecha]-[Hora]”). El nombre se puede cambiar manualmente, con la excepción de llamarlo “Alcantarium”; para continuar, dar click en el botón “Save/Guardar”, caso contrario si se da click en el botón “Cancel/Cancelar” la herramienta no guardará la información.

**Nota:** Si no se decide guardar el proyecto, la herramienta mostrará el siguiente cuadro de diálogo indicando que el proyecto no se ha guardado:

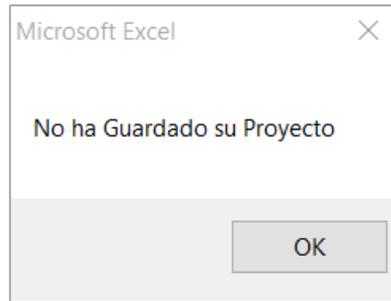


Figura 3.2-44. Cuadro de diálogo que confirma que no se ha almacenado el proyecto.

- 3 Seguido a esto, la herramienta preguntará si se desea salir o no de la aplicación con el siguiente cuadro de diálogo:



Figura 3.2-45. Cuadro de diálogo de confirmación de salida de la herramienta.

Si se selecciona Sí/Yes, la herramienta se cerrará y mostrará el siguiente dialogo:

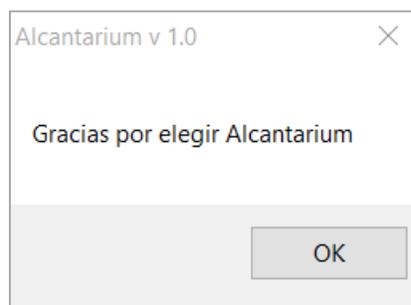


Figura 3.2-46. Cuadro de diálogo de despedida de la herramienta.

Al cual se debe dar click en el botón “OK” lo que finalizará la herramienta.



### 3.2.4.4 PRESUPUESTO

- 1 Dirigirse a la herramienta repitiendo los pasos #1 y #2 de la Sección 3.2.3: MÓDULO PRINCIPAL DE DISEÑO.
- 2 En la parte superior izquierda de la herramienta dar click en el botón “Preparar Presupuesto”, lo que dirigirá al usuario a la pestaña “Auxiliar Presupuesto” en la cual se encontrará la información constructiva del proyecto.
- 3 En la parte inferior derecha se encontrará la sección denominada “Datos Generales” e ingresar los porcentajes de excavación de cada tipo de suelo según sea el requerimiento de la obra, teniendo en cuenta que el total de los porcentajes debe ser igual al 100%, caso contrario la herramienta mostrará el porcentaje total en fondo color rojo indicando así un error.
- 4 En la siguiente sección en la parte inferior se encontrarán los porcentajes del procedimiento de relleno (Máquina y Manual); ingresar los datos de la misma manera que el paso #2, es decir, considerando que el total de los porcentajes debe ser el 100%
- 5 Continuando con la información constructiva, en la siguiente sección en la parte inferior se encontrarán los porcentajes de cargado del material (Máquina y Manual); ingresar los datos de la misma manera que el paso #2, es decir, considerando que el total de los porcentajes debe ser el 100%
- 6 En la parte derecha se encontrará la sección con información complementaria como porcentaje de desbroce, acarreo, abatimiento freático, entre otros, que deberán ser ingresados en las celdas de color amarillo.
- 7 Si en nuestro proyecto consta la ubicación de domiciliarias, dar click en el botón “Domiciliarias”, caso contrario dirigirse al paso #8; si se dio click en el botón “Domiciliarias”, la herramienta dirigirá al usuario a la pestaña con el mismo nombre, aquí se encontrarán 2 tipos de domiciliarias: PVC y Hormigón Simple.
- 8 A continuación en la parte derecha ingresar el número de domiciliarias que requiera el proyecto, tanto de PVC como de Hormigón Simple, así como su diámetro (en el caso de PVC), su longitud y la altura de excavación de las mismas.
- 9 Finalmente, una vez completa la información dar click en el botón “Generar Presupuesto” y la herramienta generará el presupuesto del proyecto con detalle de los rubros del mismo y con base en precios unitarios predeterminados que son factibles de actualizarlos en cualquier momento.

**Nota:** En la parte superior del presupuesto se encuentran las celdas referidas a la ubicación del proyecto, responsable de la obra, entre otros que deberán ser llenados por el diseñador a su conveniencia.



### 3.3 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.

Se realizará un análisis que permita estimar el error que produce la incertidumbre de ciertas variables en la entrada de datos dentro de la obtención de los resultados principales de la herramienta: el caudal, el diámetro calculado y el diámetro nominal adoptado de la tubería.

Las variables a analizar son:

- Coeficiente de Esguerramiento ( $C$ ).
- Coeficiente de Mayoración ( $M$ ).
- Intensidad de Diseño ( $i$ ).
- Rugosidad ( $n$ ).
- Factor de Retorno ( $R$ ).

Las variables excluidas del analizar son:

- Área de Drenaje ( $A$ ).
- Dotación de Agua Potable ( $q$ ).
- Población Servida ( $P$ ).
- Longitud del Tramo ( $L$ ).
- Pendiente ( $J$ ).
- Material de la Tubería.

La estimación de la incertidumbre se la realizará mediante el siguiente proceso:

- 1 Establecer las variables que no se considerarán dentro del análisis mencionadas anteriormente ( $A, q, P, L, J, Material$ ).
- 2 Establecer un caso base para el cálculo de la tubería con las variables también mencionadas anteriormente ( $C, M, i, n, R$ ) como constantes con la finalidad de realizar la variación de cada variable manteniendo el valor de las otras, es decir, un análisis univariable, y así obtener los valores de caudal, diámetro calculado y diámetro nominal.
- 3 Realizar la variación de las variables, una a la vez manteniendo las demás variables analizadas como constantes como se mencionó en el punto 2 obteniendo los diferentes valores resultantes.
- 4 Imponer rangos de las variables a ser analizadas.
- 5 Hallar el error relativo entre los valores resultantes de la variable en cuestión comparando con el resto de valores del rango establecido para cada variable.
- 6 Imponer un valor de confianza para comparar el error mínimo aceptable del valor obtenido por cada uno de los valores en comparación al valor actual
- 7 Comparar los valores que dan una confianza menor a la establecida encontrando así el mayor y menor valor



- 8 Hallar la diferencia entre el valor actual de la variable con los valores mayores y menores hallados en el paso #7 y adoptar el valor de la certidumbre como la menor diferencia de las halladas con lo que se asegura que cumpla la confianza mínima ya sea en sentido positivo o negativo.
- 9 Repetir los pasos #7 y #8 para todos los valores del rango establecido en el paso #4
- 10 Graficar los valores del rango de la variable contra los valores de certidumbre para cada una de las variables resultantes ya mencionadas anteriormente
- 11 Finalmente repetir este proceso para el resto de variables y analizamos el resultado gráfico obtenido de cada una.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.**

Una vez finalizada la creación de la herramienta con su respectivo manual de usuario, se realizaron pruebas reales con la misma mediante el diseño de un sistema de alcantarillado de 15 hectáreas, con una total de 28 pozos de revisión en una longitud total de 1.81 km.

Los resultados fueron analizados en los siguientes aspectos:

- Resultados Hidráulicos.
- Resultados Geométricos.
- Resultados Gráficos.
- Resultados Económicos.

Los 2 primeros resultados se obtuvieron del informe generado por la herramienta en la cual se presentarán solo aquellos datos importantes para el diseñador y constructor del sistema, entre los cuales se encontrarán la longitud del tramo, caudal, entre otros; mientras que los resultados gráficos se los realizo con las herramientas proporcionadas por la herramienta para la representación gráfica mediante la integración con la aplicación Autodesk AutoCAD®.

Finalmente se mostrarán los resultados económicos generados de manera automática por la herramienta mediante una base de precios unitarios modificable por el usuario con la finalidad de ajustar las necesidades y requerimientos legales de la locación donde se realizará el diseño del sistema de alcantarillado.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

#### 4.1.1 RESULTADOS HIDRÁULICOS

Los resultados hidráulicos incluidos en el Anexo #2 muestran que la herramienta realizó los cálculos de manera correcta en cuanto a todos sus aspectos como caudal total de diseño, material definido para la tubería, diámetro adoptado por los colectores, entre otros que se pueden encontrar en la Tabla 4.1-1:

| ID    | Pozo       | Tramo     | Zona  | Tipo | Longitud | Longitud | Caudal de | Material              | Diámetro | Tirante | Velocidad | Flujo        | Número |
|-------|------------|-----------|-------|------|----------|----------|-----------|-----------------------|----------|---------|-----------|--------------|--------|
|       |            |           |       |      | Parcial  | Total    |           |                       | Diseño   |         | Nominal   |              |        |
|       |            |           |       |      | m        | m        | l/s       |                       |          | mm      | mm        |              |        |
| 7     | P12<br>P9  | P12 - P9  | Media | Vía  | 0+062.02 | 0+062.02 | 16.76     | Policloruro de Vinilo | 200      | 127.6   | 0.85      | Subcrítico   | 0.800  |
| 10    | P13<br>P10 | P13 - P10 | Alta  | Vía  | 0+069.33 | 0+069.33 | 18.18     | Policloruro de Vinilo | 200      | 127.9   | 0.92      | Subcrítico   | 0.863  |
| 13    | P14<br>P11 | P14 - P11 | Alta  | Vía  | 0+063.82 | 0+063.82 | 15.83     | Policloruro de Vinilo | 200      | 123.0   | 0.84      | Subcrítico   | 0.812  |
| 16    | P19<br>P9  | P19 - P9  | Alta  | Vía  | 0+039.41 | 0+039.41 | 9.04      | Policloruro de Vinilo | 110      | 78.1    | 1.38      | Supercrítico | 1.558  |
| 19    | P7<br>P8   | P7 - P8   | Alta  | Vía  | 0+050.59 | 0+050.59 | 13.88     | Policloruro de Vinilo | 160      | 130.2   | 0.88      | Subcrítico   | 0.673  |
| 20    | P9<br>P8   | P8 - P9   | Alta  | Vía  | 0+154.07 | 0+204.65 | 75.51     | Policloruro de Vinilo | 250      | 158.5   | 2.49      | Supercrítico | 2.092  |
| 21    | P10<br>P9  | P9 - P10  | Alta  | Vía  | 0+053.64 | 0+258.29 | 84.91     | Policloruro de Vinilo | 250      | 197.4   | 2.26      | Supercrítico | 1.467  |
| 22    | P11<br>P10 | P10 - P11 | Alta  | Vía  | 0+055.66 | 0+313.95 | 93.71     | Policloruro de Vinilo | 315      | 219.0   | 1.77      | Supercrítico | 1.211  |
| 23    | P2<br>P11  | P11 - P2  | Alta  | Vía  | 0+116.81 | 0+430.76 | 111.09    | Policloruro de Vinilo | 250      | 180.5   | 2.59      | Supercrítico | 2.101  |
| 26    | P21<br>P22 | P21 - P22 | Alta  | Vía  | 0+051.14 | 0+051.14 | 12.40     | Policloruro de Vinilo | 200      | 105.8   | 0.79      | Subcrítico   | 0.849  |
| 27    | P16<br>P22 | P22 - P16 | Alta  | Vía  | 0+019.67 | 0+070.81 | 14.27     | Policloruro de Vinilo | 160      | 74.8    | 1.41      | Supercrítico | 1.897  |
| 30    | P20<br>P17 | P20 - P17 | Alta  | Vía  | 0+045.38 | 0+045.38 | 8.05      | Policloruro de Vinilo | 110      | 72.0    | 1.34      | Supercrítico | 1.637  |
| 33    | P15<br>P16 | P15 - P16 | Alta  | Vía  | 0+064.38 | 0+064.38 | 12.89     | Policloruro de Vinilo | 110      | 64.2    | 2.43      | Supercrítico | 3.284  |
| 34    | P17<br>P16 | P16 - P17 | Alta  | Vía  | 0+150.40 | 0+214.78 | 47.13     | Policloruro de Vinilo | 200      | 128.8   | 2.38      | Supercrítico | 2.206  |
| 35    | P18<br>P17 | P17 - P18 | Alta  | Vía  | 0+095.83 | 0+310.61 | 63.32     | Policloruro de Vinilo | 250      | 158.0   | 2.09      | Supercrítico | 1.765  |
| 36    | P3<br>P18  | P18 - P3  | Alta  | Vía  | 0+092.60 | 0+403.21 | 77.07     | Policloruro de Vinilo | 250      | 158.0   | 2.55      | Supercrítico | 2.149  |
| 39    | P23<br>P24 | P23 - P24 | Alta  | Vía  | 0+024.81 | 0+024.81 | 3.94      | Policloruro de Vinilo | 110      | 64.1    | 0.74      | Crítico      | 1.008  |
| 40    | P25<br>P24 | P24 - P25 | Alta  | Vía  | 0+027.05 | 0+051.87 | 6.98      | Policloruro de Vinilo | 110      | 58.3    | 1.47      | Supercrítico | 2.139  |
| 41    | P26<br>P25 | P25 - P26 | Alta  | Vía  | 0+083.76 | 0+135.63 | 23.23     | Policloruro de Vinilo | 160      | 97.4    | 1.95      | Supercrítico | 2.125  |
| 42    | P27<br>P26 | P26 - P27 | Alta  | Vía  | 0+073.14 | 0+208.77 | 38.66     | Policloruro de Vinilo | 160      | 127.5   | 2.49      | Supercrítico | 1.993  |
| 43    | P28<br>P27 | P27 - P28 | Alta  | Vía  | 0+053.13 | 0+261.90 | 49.04     | Policloruro de Vinilo | 250      | 180.3   | 1.42      | Crítico      | 1.046  |
| 44    | P5<br>P28  | P28 - P5  | Alta  | Vía  | 0+030.00 | 0+291.91 | 52.76     | Policloruro de Vinilo | 200      | 133.8   | 2.12      | Supercrítico | 2.028  |
| 47    | P6<br>P5   | P6 - P5   | Alta  | Vía  | 0+024.48 | 0+024.48 | 5.01      | Policloruro de Vinilo | 160      | 45.1    | 1.14      | Supercrítico | 2.009  |
| 48    | P4<br>P5   | P5 - P4   | Alta  | Vía  | 0+061.97 | 0+086.45 | 13.35     | Policloruro de Vinilo | 160      | 96.5    | 1.14      | Supercrítico | 1.245  |
| 49    | P3<br>P4   | P4 - P3   | Alta  | Vía  | 0+102.64 | 0+189.10 | 32.55     | Policloruro de Vinilo | 250      | 178.3   | 0.95      | Subcrítico   | 0.711  |
| 50    | P2<br>P3   | P3 - P2   | Alta  | Vía  | 0+101.02 | 0+290.12 | 44.11     | Policloruro de Vinilo | 250      | 162.6   | 1.41      | Supercrítico | 1.162  |
| 51    | P1<br>P2   | P2 - P1   | Alta  | Vía  | 0+044.39 | 0+334.51 | 50.63     | Policloruro de Vinilo | 200      | 121.5   | 2.28      | Supercrítico | 2.338  |
| Total |            |           |       |      | 1+811.14 |          | 994.30    |                       |          |         |           |              |        |
| Max   |            |           |       |      | 0+154.07 | 0+430.76 | 111.09    |                       | 315      | 219.0   | 2.59      |              | 3.28   |
| Min   |            |           |       |      | 0+019.67 | 0+039.41 | 3.94      |                       | 110      | 45.1    | 0.74      |              | 0.67   |

Tabla 4.1-1. Resultados hidráulicos extraídos de la herramienta “Alcantarium”.

Los cálculos se realizaron de manera automática, con la opción de realizar ajustes manuales en caso de ser necesario como el caso de la pendiente inicial del tramo en caso de que no cumpla con la pendiente mínima calculada.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

#### 4.1.2 RESULTADOS GEOMÉTRICOS

En cuanto a la geometría del proyecto, la herramienta realizó de manera automática los cálculos de pendiente definitiva de la tubería, ubicación topográfica de la tubería, entre otros parámetros que ayudarán finalmente a la obtención tanto de los resultados gráficos, como de los resultados económicos de la herramienta, es decir, el presupuesto de obra generado, obteniendo la Tabla 4.1-2:

| ID    | Pozo       | Tramo     | Zona  | Tipo | Longitud Parcial | Longitud Total       | Pendiente Definitiva | h/D   | q/Q   | v/V   | Altura Clave |       | Altura Pozo |       |
|-------|------------|-----------|-------|------|------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
|       |            |           |       |      | m                | m                    | %                    |       |       |       | Inicial      | Final | Inicial     | Final |
| 7     | P12<br>P9  | P12 - P9  | Media | Vía  | 0+062.02         | 0+000.00<br>0+062.02 | 0.60%                | 0.707 | 0.697 | 0.949 | 1.00         | 3.73  | 1.20        | 3.93  |
| 10    | P13<br>P10 | P13 - P10 | Alta  | Vía  | 0+069.33         | 0+000.00<br>0+069.33 | 0.70%                | 0.710 | 0.699 | 0.950 | 1.00         | 1.01  | 1.20        | 1.21  |
| 13    | P14<br>P11 | P14 - P11 | Alta  | Vía  | 0+063.82         | 0+000.00<br>0+063.82 | 0.60%                | 0.668 | 0.672 | 0.934 | 1.00         | 1.27  | 1.20        | 1.47  |
| 16    | P19<br>P9  | P19 - P9  | Alta  | Vía  | 0+039.41         | 0+000.00<br>0+039.41 | 3.20%                | 0.845 | 0.787 | 1.000 | 1.00         | 1.02  | 1.11        | 1.13  |
| 19    | P7<br>P8   | P7 - P8   | Alta  | Vía  | 0+050.59         | 0+000.00<br>0+050.59 | 0.70%                | 0.990 | 0.892 | 1.051 | 1.00         | 2.35  | 1.16        | 2.51  |
| 20    | P9<br>P8   | P8 - P9   | Alta  | Vía  | 0+154.07         | 0+204.65             | 3.80%                | 0.705 | 0.695 | 0.948 | 2.51         | 3.68  | 2.76        | 3.93  |
| 21    | P10<br>P9  | P9 - P10  | Alta  | Vía  | 0+053.64         | 0+258.29             | 2.60%                | 0.958 | 0.866 | 1.041 | 3.68         | 2.91  | 3.93        | 3.16  |
| 22    | P11<br>P10 | P10 - P11 | Alta  | Vía  | 0+055.66         | 0+313.95             | 1.30%                | 0.809 | 0.763 | 0.987 | 3.16         | 3.19  | 3.47        | 3.50  |
| 23    | P2<br>P11  | P11 - P2  | Alta  | Vía  | 0+116.81         | 0+430.76             | 3.30%                | 0.602 | 0.629 | 0.907 | 3.50         | 3.54  | 3.75        | 3.79  |
| 26    | P21<br>P22 | P21 - P22 | Alta  | Vía  | 0+051.14         | 0+000.00<br>0+051.14 | 0.60%                | 0.524 | 0.578 | 0.872 | 1.00         | 1.91  | 1.20        | 2.11  |
| 27    | P16<br>P22 | P22 - P16 | Alta  | Vía  | 0+019.67         | 0+070.81             | 2.80%                | 0.279 | 0.409 | 0.724 | 2.11         | 2.12  | 2.27        | 2.28  |
| 30    | P20<br>P17 | P20 - P17 | Alta  | Vía  | 0+045.38         | 0+000.00<br>0+045.38 | 3.20%                | 0.752 | 0.726 | 0.966 | 1.00         | 1.00  | 1.11        | 1.11  |
| 33    | P15<br>P16 | P15 - P16 | Alta  | Vía  | 0+064.38         | 0+000.00<br>0+064.38 | 11.70%               | 0.630 | 0.647 | 0.919 | 1.00         | 2.17  | 1.11        | 2.28  |
| 34    | P17<br>P16 | P16 - P17 | Alta  | Vía  | 0+150.40         | 0+214.78             | 4.60%                | 0.718 | 0.704 | 0.953 | 2.08         | 1.15  | 2.28        | 1.35  |
| 35    | P18<br>P17 | P17 - P18 | Alta  | Vía  | 0+095.83         | 0+310.61             | 2.70%                | 0.701 | 0.693 | 0.947 | 1.35         | 1.43  | 1.60        | 1.68  |
| 36    | P3<br>P18  | P18 - P3  | Alta  | Vía  | 0+092.60         | 0+403.21             | 4.00%                | 0.701 | 0.693 | 0.947 | 1.68         | 1.77  | 1.93        | 2.02  |
| 39    | P23<br>P24 | P23 - P24 | Alta  | Vía  | 0+024.81         | 0+000.00<br>0+024.81 | 1.10%                | 0.628 | 0.646 | 0.918 | 1.00         | 1.55  | 1.11        | 1.66  |
| 40    | P25<br>P24 | P24 - P25 | Alta  | Vía  | 0+027.05         | 0+051.87             | 4.70%                | 0.539 | 0.588 | 0.879 | 1.66         | 1.68  | 1.77        | 1.79  |
| 41    | P26<br>P25 | P25 - P26 | Alta  | Vía  | 0+083.76         | 0+135.63             | 4.40%                | 0.661 | 0.667 | 0.931 | 1.79         | 1.83  | 1.95        | 1.99  |
| 42    | P27<br>P26 | P26 - P27 | Alta  | Vía  | 0+073.14         | 0+208.77             | 5.70%                | 0.967 | 0.873 | 1.044 | 1.99         | 2.03  | 2.15        | 2.19  |
| 43    | P28<br>P27 | P27 - P28 | Alta  | Vía  | 0+053.13         | 0+261.90             | 1.10%                | 0.850 | 0.791 | 1.002 | 2.19         | 2.24  | 2.44        | 2.49  |
| 44    | P5<br>P28  | P28 - P5  | Alta  | Vía  | 0+030.00         | 0+291.91             | 3.20%                | 0.537 | 0.587 | 0.878 | 2.49         | 2.50  | 2.69        | 2.70  |
| 47    | P6<br>P5   | P6 - P5   | Alta  | Vía  | 0+024.48         | 0+000.00<br>0+024.48 | 3.40%                | 0.162 | 0.309 | 0.616 | 1.00         | 2.54  | 1.16        | 2.70  |
| 48    | P4<br>P5   | P5 - P4   | Alta  | Vía  | 0+061.97         | 0+086.45             | 1.50%                | 0.651 | 0.661 | 0.927 | 2.54         | 1.99  | 2.70        | 2.15  |
| 49    | P3<br>P4   | P4 - P3   | Alta  | Vía  | 0+102.64         | 0+189.10             | 0.50%                | 0.837 | 0.782 | 0.997 | 2.15         | 2.37  | 2.40        | 2.62  |
| 50    | P2<br>P3   | P3 - P2   | Alta  | Vía  | 0+101.02         | 0+290.12             | 1.20%                | 0.732 | 0.713 | 0.959 | 2.62         | 3.54  | 2.87        | 3.79  |
| 51    | P1<br>P2   | P2 - P1   | Alta  | Vía  | 0+044.39         | 0+334.51             | 4.10%                | 0.455 | 0.533 | 0.838 | 3.59         | 3.17  | 3.79        | 3.37  |
| Total |            |           |       |      | 1+811.14         |                      |                      |       |       |       |              |       |             |       |
| Max   |            |           |       |      | 0+154.07         | 0+430.76             | 11.70%               | 0.990 | 0.892 | 1.051 | 3.68         | 3.73  | 3.93        | 3.93  |
| Min   |            |           |       |      | 0+019.67         | 0+039.41             | 0.50%                | 0.162 | 0.309 | 0.616 | 1.00         | 1.00  | 1.11        | 1.11  |

Tabla 4.1-2. Resultados geométricos extraídos de la herramienta "Alcantarium"

Estos resultados también se pueden observar en el Anexo #2, así como en la Tabla 4.1-2. Respecto los resultados hidráulicos y geométricos se concluye que la obtención de los mismos fue exitosa, logrando estos resultados de manera eficiente y en un corto tiempo.



4.1.3 RESULTADOS GRÁFICOS

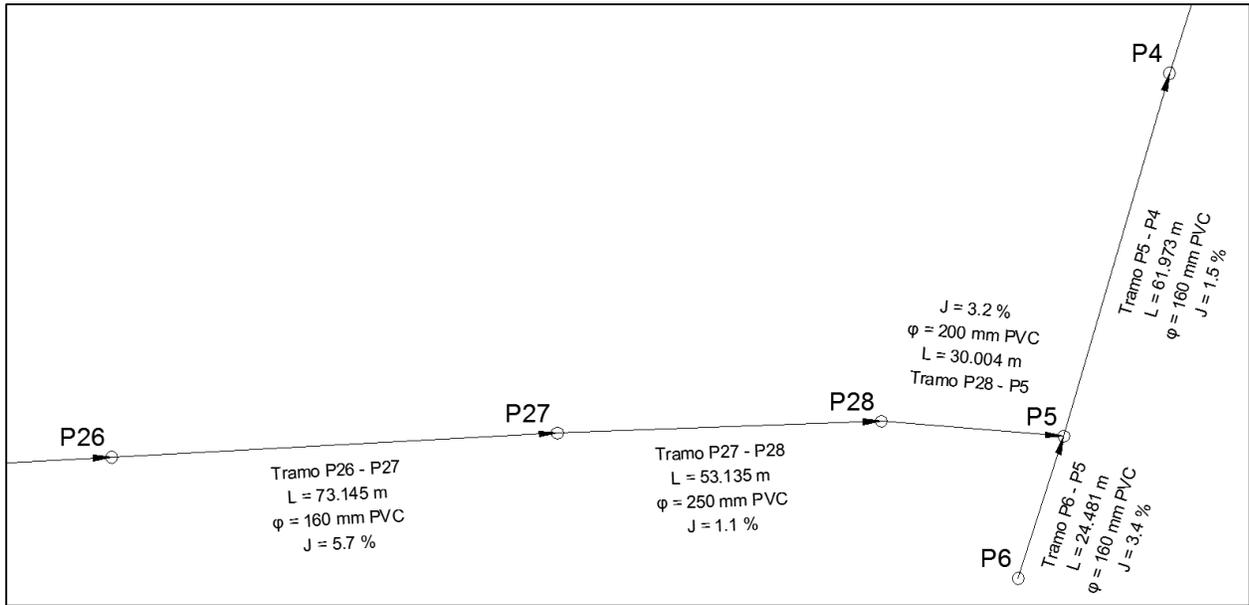


Figura 4.1-1. Parte de una representación gráfica obtenida con la herramienta “Alcantarium”.

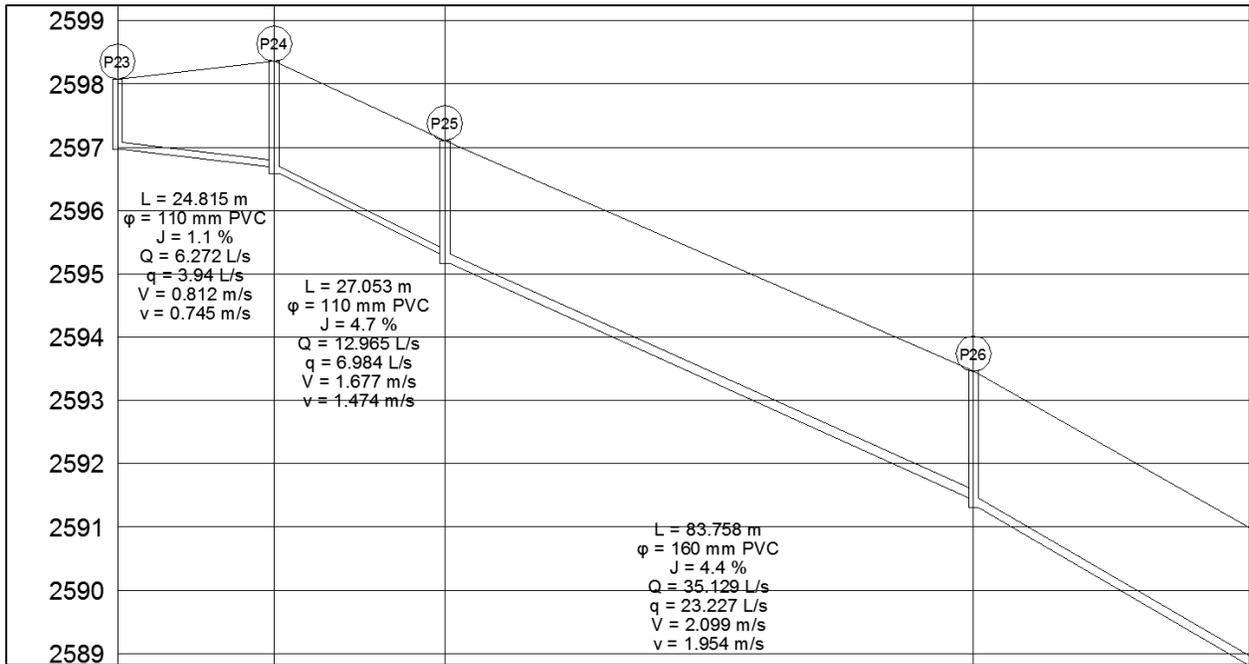


Figura 4.1-2. Parte de una representación gráfica obtenida con la herramienta “Alcantarium”.

Respecto a los resultados gráficos se concluye, al igual que los resultados hidráulicos y geométricos, que la integración de la representación gráfica con la parte matemática fue exitosa, logrando estos resultados de una manera eficiente y en un corto tiempo.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

En la Figura 4.1-1 y la Figura 4.1-2 se puede observar que las salidas gráficas automáticas que genera la herramienta tanto en su vista en perfil como en planta, realizando ésta de una manera rápida y fácil para el usuario sin perder de vista la calidad ingenieril de la misma.

Para estos resultados se realizaron pruebas de rendimiento de la herramienta, en las cuales se probó el tiempo de generación de la representación gráfica de la vista en perfil del proyecto, así como su vista en planta y finalmente la importación de datos de la herramienta “COLECTORES” hacia la hoja de cálculo.

Dichas pruebas se realizaron en un computador con las siguientes características:

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>Procesador</b>      | Intel® Core™ i7-4510U CPU @ 2.00 GHz / 2.60 GHz. |
| <b>Memoria RAM</b>     | 16.0 GB DDR 3.                                   |
| <b>Tipo de Sistema</b> | 64-bit.  |
| <b>Disco Duro</b>      | TOSHIBA MQ01ABD100 @ 7200 RPM.                   |
| <b>Tarjeta Gráfica</b> | NVIDIA GeForce GTX 850M: 4 GB.                   |

Tabla 4.1-3. Características del computador usado.

| Número de Prueba | Vista en Perfil (seg.) | Vista en Planta (seg.) | Importación “COLECTORES” (seg.) |
|------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| 1                | 48.76                  | 9.48                   | 13.12                           |
| 2                | 47.25                  | 10.60                  | 12.86                           |
| 3                | 47.97                  | 10.32                  | 13.37                           |
| 4                | 48.01                  | 10.50                  | 13.48                           |
| 5                | 48.22                  | 9.94                   | 13.09                           |

Tabla 4.1-4. Resultados de rendimiento de herramientas gráficas con baja demanda de RAM.

Estas pruebas se realizaron con baja demanda de RAM (Random Access Memory) en el equipo, es decir se probó a la herramienta evitando otros procesos del equipo, motivo por el cual dichas pruebas se realizaron nuevamente con alta demanda de RAM, utilizando procesos comunes para el equipo como usar el navegador de internet con numerosas pestañas, inclusive durante la reproducción de videos online, así como algunas aplicaciones abiertas incluido Autodesk AutoCAD® que generalmente posee una gran demanda de memoria obteniendo los siguientes resultados:

| Número de Prueba | Vista en Perfil (seg.) | Vista en Planta (seg.) | Importación “COLECTORES” (seg.) |
|------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| 1                | 90.94                  | 17.91                  | 24.84                           |
| 2                | 85.63                  | 17.20                  | 23.35                           |
| 3                | 86.45                  | 18.06                  | 24.02                           |
| 4                | 87.54                  | 17.96                  | 24.56                           |
| 5                | 85.13                  | 17.85                  | 23.98                           |

Tabla 4.1-5. Resultados de rendimiento de herramientas gráficas con alta demanda de RAM.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

#### 4.1.4 RESULTADOS ECONÓMICOS

A continuación se muestra el presupuesto económico generado automáticamente por la herramienta, en el cual se detalla los rubros a usarse en el proyecto y generando los costos en base a la Base de Precios Unitario de Agosto de 2013, actualizable en la herramienta.

| SISTEMA:   |        | PRESUPUESTO REFERENCIAL: \$ 163 160.43  |        | OFERENTE: |                 |              |
|------------|--------|---|--------|-----------|-----------------|--------------|
| UBICACION: |        | FECHA:  |        | NUT:      |                 |              |
| OBRA:      |        | RESPONSABLE:  |        |           |                 |              |
| ITEM       | CODIGO | RUBRO   | UNIDAD | CANTIDAD  | PRECIO UNITARIO | PRECIO TOTAL |
| <b>1</b>   |        | <b>REPLANTEO</b>  |        |           |                 |              |
| 1.01       | 522039 | Replanteo mayor a 1.0 km.   | km     | 1.81      | 423.15          | 765.91       |
| <b>2</b>   |        | <b>NIVELACION</b>   |        |           |                 |              |
| 2.01       | 580006 | Nivelacion de 1000 a 5000 m   | m      | 1814      | 0.22            | 399.08       |
| <b>3</b>   |        | <b>EXCAVACION A MANO</b>  |        |           |                 |              |
| 3.01       | 502002 | Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 0 y 2 m                      | m3     | 19.6      | 9.18            | 179.93       |
| 3.02       | 502003 | Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 2 y 4 m                      | m3     | 54.8      | 10.88           | 596.23       |
| 3.03       | 502007 | Excavación a mano en Terreno Conglomerado, Profundidad entre 0 y 2 m                      | m3     | 39.2      | 11.35           | 444.92       |
| 3.04       | 502008 | Excavación a mano en Terreno Conglomerado, Profundidad entre 2 y 4 m                      | m3     | 109.5     | 16.31           | 1785.95      |
| <b>4</b>   |        | <b>EXCAVACION MECANICA</b>  |        |           |                 |              |
| 4.01       | 503001 | Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad,                    | m3     | 234.7     | 2.68            | 629          |
| 4.02       | 503016 | Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 2 a 4 m de profundidad,                    | m3     | 656.9     | 2.84            | 1865.6       |
| 4.03       | 503002 | Excavación mecánica en suelo conglomerado de 0 a 2 m de profundidad,                      | m3     | 684.6     | 3.68            | 2519.33      |
| 4.04       | 503014 | Excavación mecánica en suelo conglomerado de 2 a 4 m de profundidad,                      | m3     | 1915.7    | 4.35            | 8333.3       |
| <b>5</b>   |        | <b>NIVEL FREATICO</b>   |        |           |                 |              |
| 5.01       | 522001 | Abatimiento del nivel freatico  | Hora   | 362       | 5.62            | 2034.44      |
| <b>6</b>   |        | <b>DESBORCE Y LIMPIEZA</b>  |        |           |                 |              |
| 6.01       | 520002 | Desbroce y limpieza   | m2     | 5805      | 1.23            | 7140.15      |
| <b>7</b>   |        | <b>ENTIBADO</b>   |        |           |                 |              |
| 7.01       | 523001 | Entibado Continuo   | m2     | 1504.11   | 10.2            | 15341.88     |
| <b>8</b>   |        | <b>RELLENO Y DESALOJO</b>   |        |           |                 |              |
| 8.01       | 514004 | Relleno compactado  | m3     | 1185.75   | 3.58            | 4245.01      |
| 8.02       | 514001 | Tapado de zanjas con maquina  | m3     | 3529      | 1.62            | 5717.39      |
| 8.03       | 540121 | Tapado manual de zanjas   | m3     | 186       | 3.52            | 653.84       |
| 8.04       | 535200 | Material de Reposicion (Incluye esponjamiento)  | m3     | 1185.75   | 10.94           | 12972.16     |
| 8.05       | 535569 | Suministro y colocacion de material granular (Grava)                                      | m3     | 1185.75   | 24.96           | 29596.43     |
| 8.06       | 513002 | Transporte de material hasta 5km  | m3     | 12055     | 2.21            | 26641.55     |
| <b>9</b>   |        | <b>SUMINISTRO TUBERIAS PVC</b>  |        |           |                 |              |
| 9.01       | 535775 | Sum. Tuberia PVC para Alcant, U/E D=110 mm serie 6. Tipo B.                               | m      | 202       | 3.67            | 741.34       |
| 9.02       | 535776 | Sum. Tuberia PVC para Alcant, U/E D=160 mm serie 5. Tipo B.                               | m      | 294       | 6.4             | 1881.6       |
| 9.03       | 535777 | Sum. Tuberia PVC para Alcant, U/E D=200 mm serie 5. Tipo B.                               | m      | 417       | 10.81           | 4507.77      |
| 9.04       | 535778 | Sum. Tuberia PVC para Alcant, U/E D=250 mm serie 5. Tipo B.                               | m      | 728       | 11.27           | 8204.56      |
| 9.05       | 535779 | Sum. Tuberia PVC para Alcant, U/E D=315 mm serie 5. Tipo B.                               | m      | 173       | 17.78           | 3075.94      |
| <b>10</b>  |        | <b>COLOCACION DE TUBERIA PVC</b>  |        |           |                 |              |
| 10.01      | 540013 | Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=110 mm   | m      | 202       | 0.48            | 96.96        |
| 10.02      | 509030 | Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=160 mm   | m      | 294       | 0.61            | 179.34       |
| 10.03      | 509037 | Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=200 mm   | m      | 417       | 0.96            | 400.32       |
| 10.04      | 509052 | Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=250 mm   | m      | 728       | 1.1             | 800.8        |
| 10.05      | 509077 | Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=315 mm   | m      | 173       | 1.18            | 204.14       |
| <b>11</b>  |        | <b>POZOS DE REVISION</b>  |        |           |                 |              |
| 11.01      | 534007 | Pozo de revision de h=0 a 1,5 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 1         | 266.89          | 266.89       |
| 11.02      | 534006 | Pozo de revision de h=0 a 2,0 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 4         | 305.23          | 1220.92      |
| 11.03      | 534001 | Pozo de revision de h=0 a 2,5 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 5         | 357.22          | 1786.1       |
| 11.04      | 534002 | Pozo de revision de h=0 a 3,0 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 3         | 406.18          | 1218.54      |
| 11.05      | 534003 | Pozo de revision de h=0 a 3,5 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 1         | 459.67          | 459.67       |
| 11.06      | 534004 | Pozo de revision de h=0 a 4,0 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 3         | 519.33          | 1557.99      |
| 11.07      | 534005 | Pozo de revision de h=0 a 4,5 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 3         | 586.47          | 1759.41      |
| 11.08      | 534008 | Pozo de revision de h=0 a 5,0 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 3         | 662.63          | 1987.89      |
| 11.09      | 534009 | Pozo de revision de h=0 a 5,5 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 3         | 744.97          | 2234.91      |
| 11.10      | 534010 | Pozo de revision de h=0 a 6,0 m, Tapa y Brocal tipo A                                     | u      | 3         | 838.15          | 2514.45      |
| <b>12</b>  |        | <b>DOMICILIARIAS CONVENCIONALES - PVC ( 30 u.) - Costo unitario : \$ 195.01 - (L:6 m)</b> |        |           |                 |              |
| 12.01      | 502002 | Excavación a mano en Suelo sin clasificar, Profundidad entre 0 y 2 m                      | m3     | 17.01     | 9.18            | 156.16       |
| 12.02      | 503001 | Excavación mecánica en suelo sin clasificar de 0 a 2 m de profundidad,                    | m3     | 136.08    | 2.68            | 364.7        |
| 12.03      | 503002 | Excavación mecánica en suelo conglomerado de 0 a 2 m de profundidad,                      | m3     | 17.01     | 3.68            | 62.6         |
| 12.04      | 514004 | Relleno compactado  | m3     | 169.92    | 3.58            | 608.32       |
| 12.05      | 514001 | Tapado de zanjas con maquina  | m3     | 0.18      | 1.62            | 0.3          |
| 12.06      | 540121 | Tapado manual de zanjas   | m3     | 0.09      | 3.52            | 0.32         |
| 12.07      | 535200 | Material de Reposicion (Incluye esponjamiento)  | m3     | 84.87     | 10.94           | 928.49       |
| 12.08      | 535775 | Sum. Tuberia PVC para Alcant, U/E D=110 mm serie 6. Tipo B.                               | m      | 180.00    | 3.67            | 660.6        |
| 12.09      | 540013 | Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=110 mm   | m      | 180.00    | 0.48            | 86.4         |
| 12.10      | 529020 | Pozo de revision domiciliario TIL con tubo de 300 mm                                      | u      | 30.00     | 46              | 1380         |
| 12.11      | 535571 | Sum. Adaptador PVC para Alcant.   | u      | 30.00     | 21.24           | 637.2        |
| 12.12      | 509032 | Colocacion Accesorios PVC para alcantarillado   | u      | 30.00     | 8.25            | 247.5        |
| 12.13      | 513001 | Cargada de material a mano  | m3     | 67.90     | 6.09            | 413.5        |
| 12.14      | 513003 | Cargada de Material a maquina   | m3     | 16.97     | 1.11            | 18.85        |
| 12.15      | 513002 | Transporte de material hasta 5km  | m3     | 84.87     | 2.21            | 187.57       |
| 12.16      | 580050 | Catastro de domiciliarias   | u      | 30.00     | 3.26            | 97.8         |
| <b>13</b>  |        | <b>ADICIONALES</b>  |        |           |                 |              |
| 13.01      | 580040 | Catastro de alcantarillado  | Km     | 1.81      | 192.53          | 348.48       |

|                               |     |     |              |
|-------------------------------|-----|-----|--------------|
| <b>SUBTOTAL</b>               |     | \$  | 163 160.43   |
| <b>IMPUESTOS</b>              | IVA | 12% | \$ 19 579.25 |
| <b>TOTAL DEL PRESUPUESTO</b>  |     | \$  | 182 739.68   |
| COSTO POR METRO: 90.15 (\$/m) |     |     |              |

Figura 4.1-3. Presupuesto económico generado por la herramienta “Alcantarium”.

## 4.2 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.

Una vez realizado el análisis incertidumbre o sensibilidad para un colector se obtuvieron los siguientes resultados:

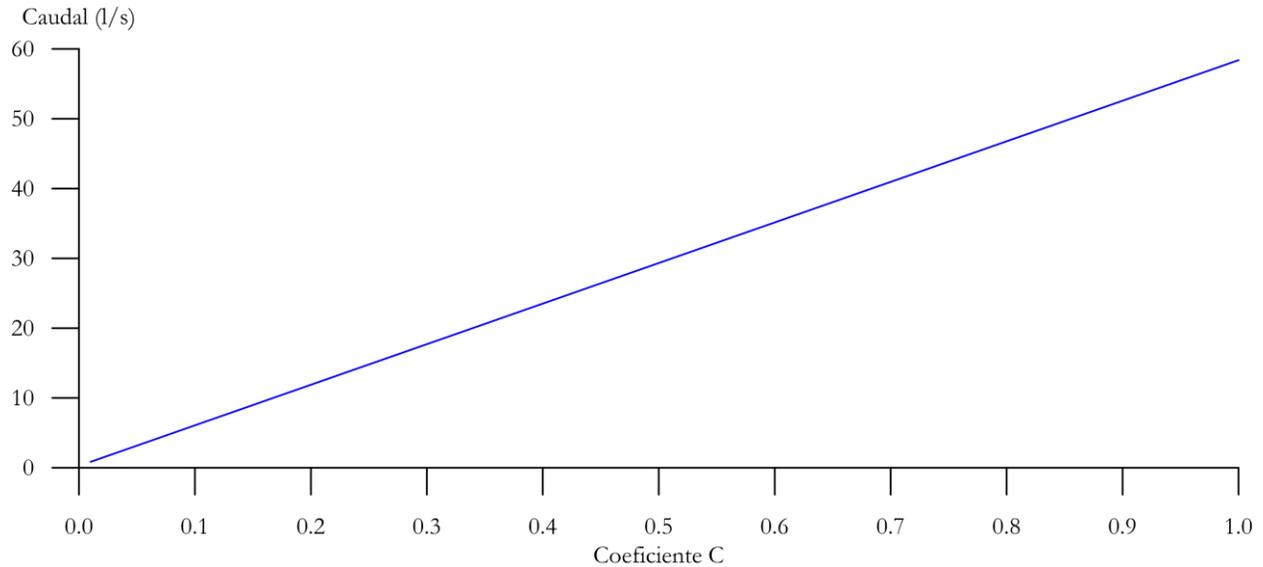


Figura 4.2-1. Variación del caudal con respecto al coeficiente de escurrimiento.

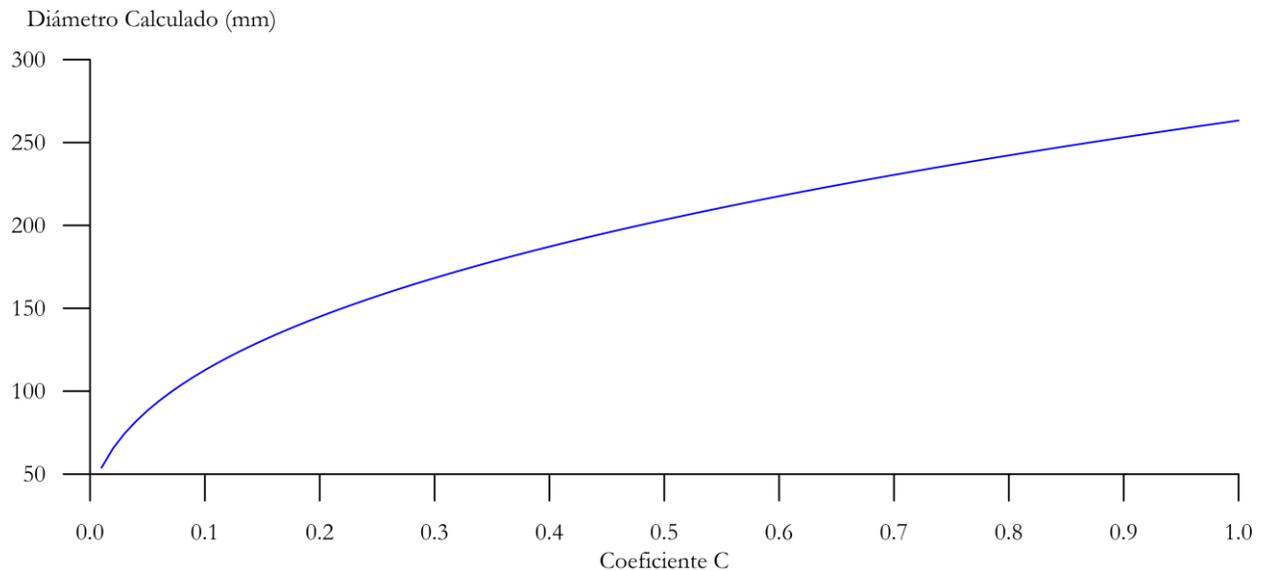


Figura 4.2-2. Variación del diámetro calculado con respecto al coeficiente de escurrimiento.

AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

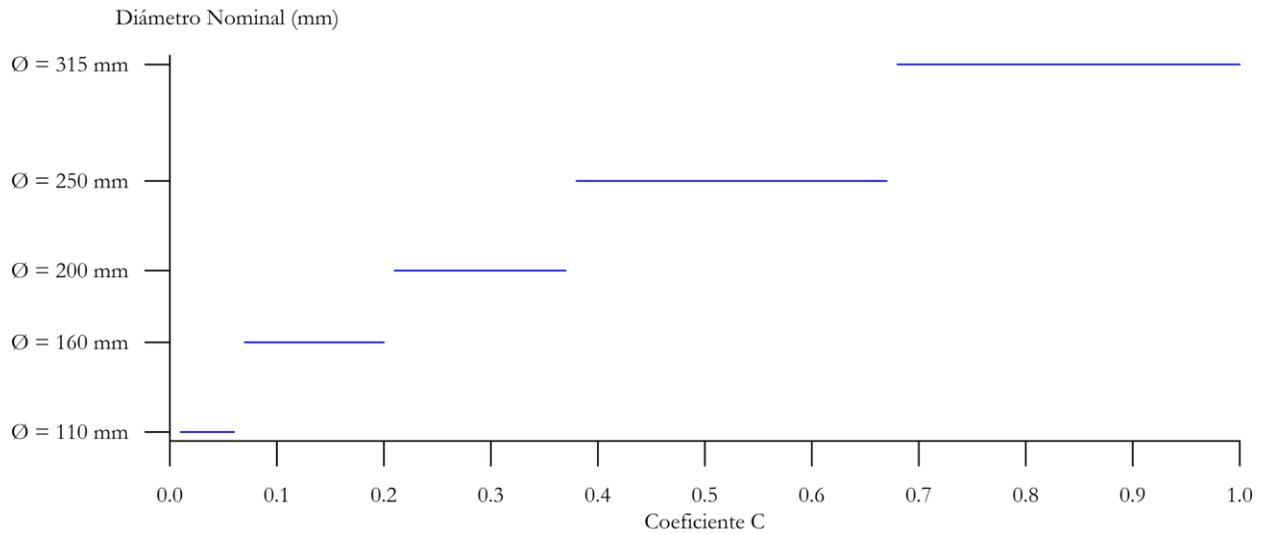


Figura 4.2-3. Variación del diámetro asumido con respecto al coeficiente de escurrimiento.

Se puede observar en la Figura 4.2-1 es que al igual que en su ecuación, el caudal obtenido es directamente proporcional al coeficiente de escurrimiento (C), mientras que en la Figura 4.2-2 el comportamiento del diámetro calculado es exponencial con respecto al coeficiente de escurrimiento; estos resultados indican la necesidad de un análisis de incertidumbre o sensibilidad, debido a la variabilidad de sus resultados con los cambios del coeficiente analizado.

Así, se procedió a realizar la comparativa de los diferentes resultados obtenidos mediante la variación de los coeficientes permitidos en el rango y de esta manera obtener la certidumbre para cada rango de la serie, los cuales son presentados en el Anexo #3.1 y Anexo #3.2 de los cuales se obtienen las siguientes curvas:

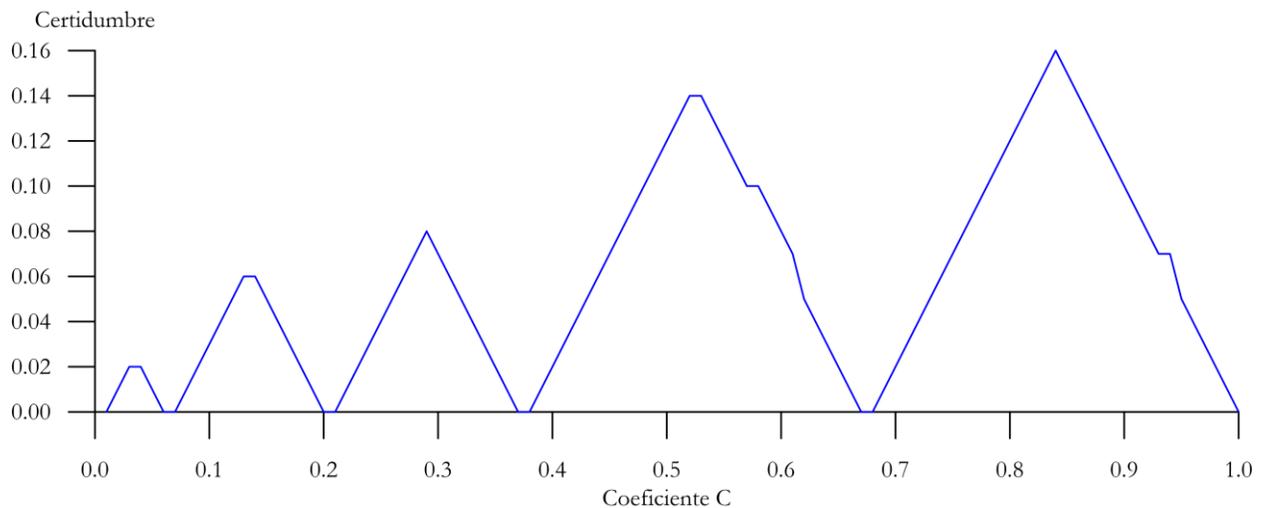


Figura 4.2-4. Certidumbre generada en los resultados de diámetro nominal con un 95% de confianza.

AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

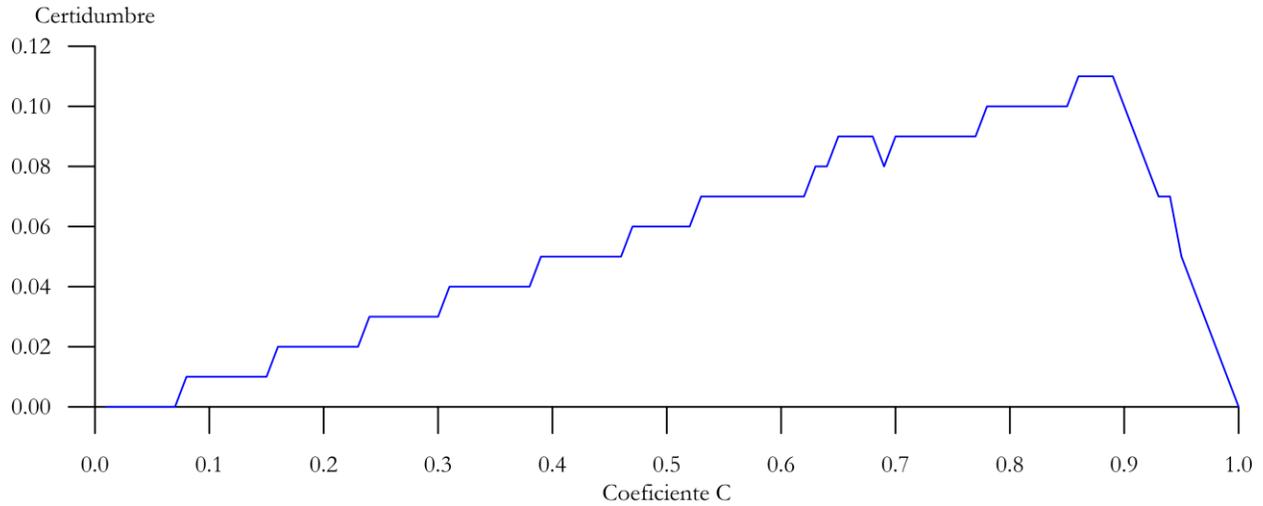


Figura 4.2-5. Certidumbre generada en los resultados de diámetro calculado con un 95% de confianza.

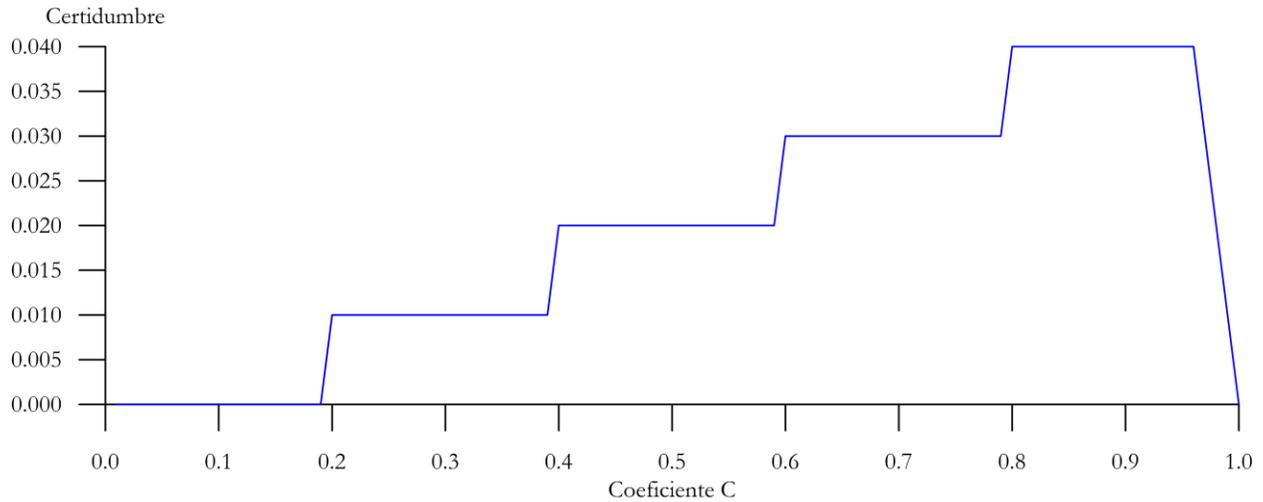


Figura 4.2-6. Certidumbre generada en los resultados de caudal con un 95% de confianza.

Analizando la Figura 4.2-4, Figura 4.2-5 y Figura 4.2-6 se observa que la certidumbre, es decir el grado de error que puede cometer el usuario, a medida que incrementa el coeficiente de escurrimiento (C) es mayor. En realidad del fenómeno físico, se podría concluir que en aquellos sistemas diseñados en zonas rurales donde la vegetación es mayor (coeficientes de escurrimiento “C” bajos) se deben realizar una apreciación del terreno de una manera más precisa. En este caso, un error considerable en el coeficiente de escurrimiento podría causar una estimación errónea de los resultados finales. Por el contrario en sectores urbanos asentados donde el coeficiente de escurrimiento que pertenece a pavimentos es mayor, el diseñador tiene una mayor holgura en dicho coeficiente sin afectar a los resultados esperados.

AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

De igual manera se puede observar que la certidumbre del coeficiente  $C$  afecta en un grado mayor al caudal sabiendo que este en su caso máximo tiene una certidumbre de  $\pm 0.04$ , mientras que en el diámetro nominal se tiene una certidumbre máxima de  $\pm 0.16$  para el valor de 0.84 el cual es un rango muy amplio en cuanto a escurrimiento. Se observa en entonces que se genera una mayor seguridad para el diseñador en zonas urbanas, es decir en rangos altos del coeficiente  $C$ . Estos cálculos se generaron con un porcentaje de confianza, es decir el “no error”, de los resultados de un 95% lo que castiga a los valores inferiores. Realizando el mismo análisis con un 80% de confianza se obtuvieron los siguientes resultados:

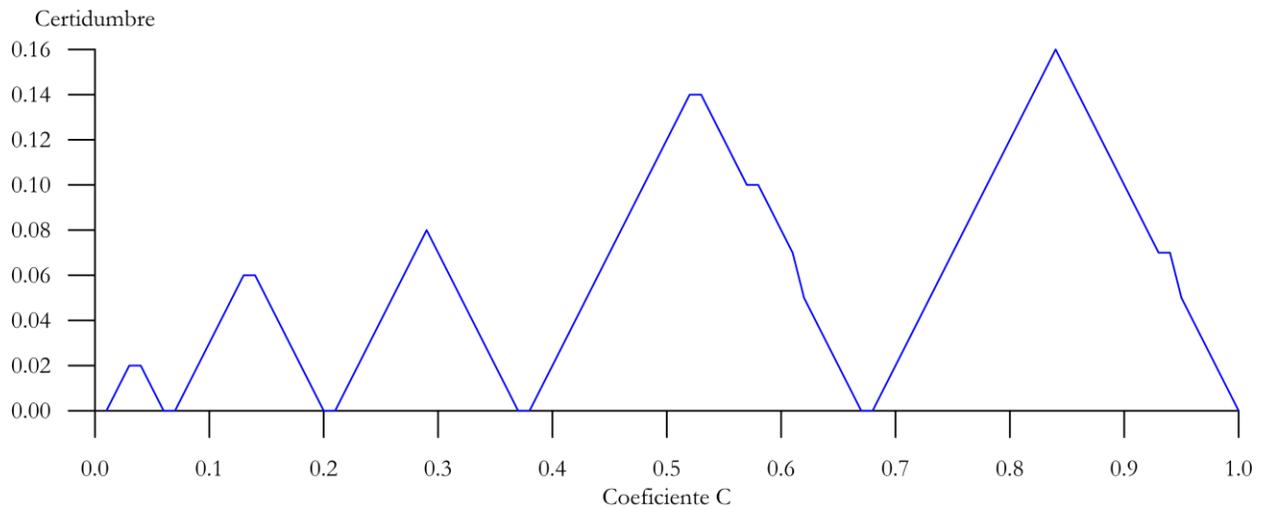


Figura 4.2-7. Certidumbre generada en los resultados de diámetro nominal con un 80% de confianza.

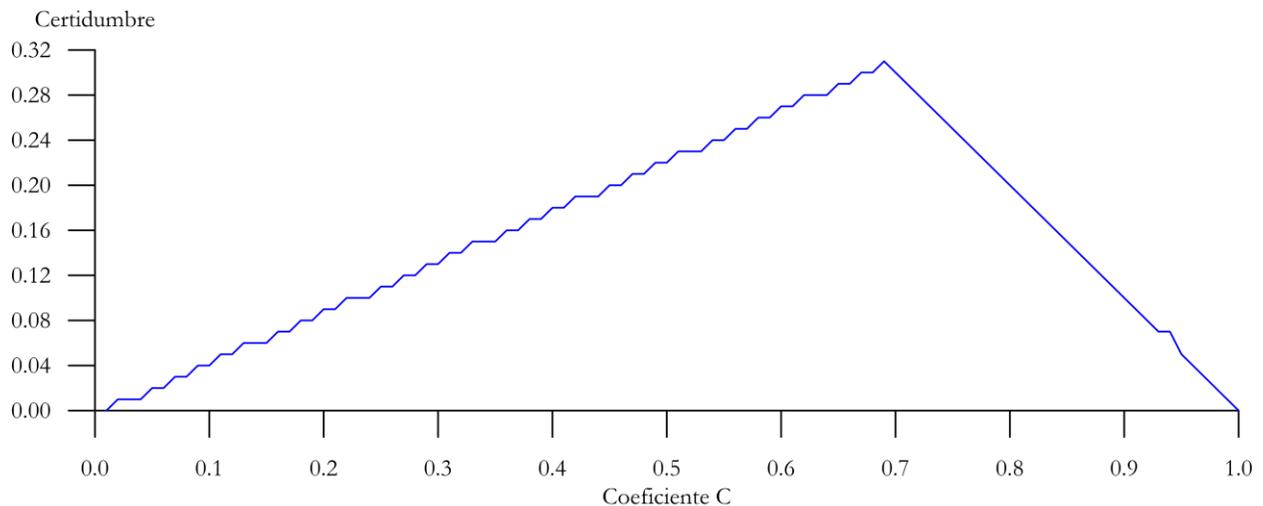


Figura 4.2-8. Certidumbre generada en los resultados de diámetro calculado con un 80% de confianza.

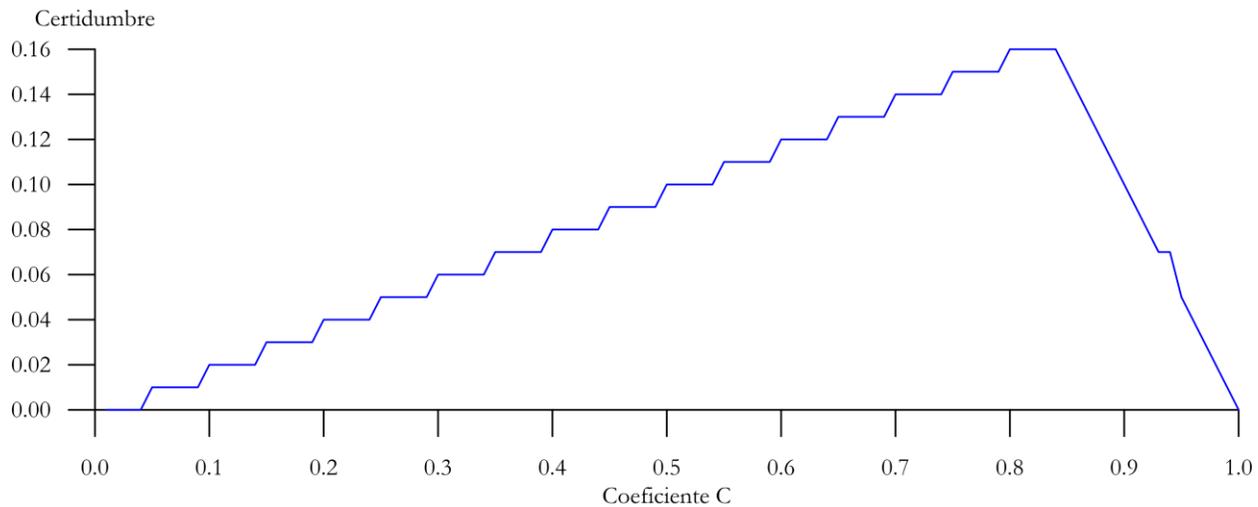


Figura 4.2-9. Certidumbre generada en los resultados de caudal con un 80% de confianza.

Se observa que los valores de certidumbre del caudal con un 80% de confianza se incrementa de 0.04 a 0.16 con respecto a los del 95% de confianza, mientras en cuanto al diámetro calculado se puede observar un incremento de 0.011 a 0.32 en su certidumbre, sin embargo los valores del diámetro comercial asumido no sufren variación y siendo este el principal de los 3 resultados analizados se pudo aseverar que para una mayor seguridad del diseñador se considera aceptable asumir un nivel de confianza del 80% con lo cual las restricciones en coeficientes de escurrimiento en valores bajos son menores.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 FUTUROS USOS Y MEJORAS DE LA HERRAMIENTA.

La herramienta fue creada con la finalidad de facilitar el diseño de sistemas de alcantarillado mediante la automatización de procesos matemáticos y gráficos, por lo que dichas facilidades pueden adoptarse de igual manera para realizar análisis o fiscalizaciones de proyectos existentes o en estado de diseño y de esta manera agilizar y optimizar la revisión de proyectos de alcantarillado por parte de un ente de gobierno de cualquier nivel jerárquico; sin embargo, su enfoque se dirige a municipios pequeños.

En cuanto a las posibles mejoras de la herramienta se encuentran la creación o modificación de la herramienta denominada “COLECTORES” con la finalidad de la creación de una malla de superficie denominada *Triangulated Irregular Network* (TIN) a través de los puntos existentes y de esta manera poder crear una superficie aproximada para que la herramienta pueda leer automáticamente las elevaciones del terreno en donde se insertarán los pozos de revisión, así como una triangulación que permita estimar automáticamente las elevaciones del terreno a través de un abscisado definido por el usuario que ayudaría con la representación gráfica de la vista en perfil del proyecto.



Otra mejora importante al proyecto, sería la adaptación de un módulo a la herramienta “Alcantarium” usando el modelo GA-QP (*Genetic Algorithm – Quadratic Programming*) (Pan & Kao, 2009), es decir un algoritmo genético de programación cuadrática, el cual mediante una serie de pasos lógicos extrae la información geográfica de los pozos de revisión y devuelve la configuración más eficiente y económica de los tramos del sistema de alcantarillado de manera automática con la posibilidad de personalización de los criterios de diseño.

Finalmente una última mejora realizable sobre la herramienta sería el ambiente de trabajo el cual se trabajó con VBA para Excel®, y podría realizarse con algunas mejoras en cuanto a la parte visual de la herramienta con la ayuda de Visual Basic®, y se podría revisar la efectividad y eficacia de los módulos creados en este lenguaje por un Ingeniero en Sistemas como una nueva investigación.

## 5.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se puede concluir de las pruebas de rendimiento que la herramienta realiza la integración matemática-gráfica de manera rápida y por lo que se presentó en la Sección 4.1.3 dicha representación gráfica se efectuó de manera exitosa tanto en su vista en perfil como en planta, obteniendo las mismas en apenas 18.06 seg. y 90.94 seg, utilizando un computador descrito en la Tabla 4.1-3, se concluye que esta se realizó de manera ágil, rápida y sin perder de vista la parte ingenieril.

La realización y ejecución de la herramienta fue de manera exitosa cumpliendo de esta manera todos los objetivos impuestos para este trabajo de titulación y las expectativas del autor, sin embargo el tema de análisis de incertidumbre se realizó apenas para una de las variables de interés debido a que dicho tema se tratará con mayor profundidad en una investigación posterior incluyendo un análisis multivariable en un sistema de alcantarillado en lugar de un análisis univariable dentro de un colector como se realizó en este trabajo.

También se pudo concluir que la herramienta por su versatilidad, rapidez y precisión, además de ser una gran opción para realizar diseños de sistemas de alcantarillado en una cantidad mínima de tiempo, puede ser utilizada como una herramienta de revisión y fiscalización de sistemas de alcantarillado existentes o en construcción.

Finalmente esta herramienta puede ser el punto de partida de varios temas de investigación sobre los módulos mencionados en la Sección 5.1: Mejoras y Futuros Usos de la Herramienta. Así como desarrollar un módulo que pueda incorporarse a esta herramienta para generar alternativas de trazado en forma automática con base en reglas de diseño establecidas.

**BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

- ABNT, 1986, NBR 9649: *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário*, 7.
- Abrahams, P.W., Berkeley, E.C., Blakc, F., Bobrow, D.G., Evans, T.G., Finkelstein, M., Fredkin, E., Gord, E., Henneman, W., Hart, T.P., Levin, M.I., Lombardi, L.A., Pivar, M., Raphael, B., & Saunders, R.A., 1967, *The Programming Language LISP: Its Operation and Applications*, Massachusetts: Information Internaional, Inc, 163, DOI:10.1016/0005-1098(67)90005-2.
- Barnes, D., Bliss, P., Gould, B., & Vallentine, H., 1981, *Water and wastewater engineering systems*, Massachussets: Pitman Publishing Inc., 513.
- CETESB, C. de T. de S.A., 1977, *Sistemas de esgotos sanitários*, São Paulo, 467.
- CETESB, C. de T. de S.A., 1978, *Técnica de abastecimento e tratamento de água*, São Paulo, 10.
- Chow, V. Te, Maidment, D.R., & Mays, L.W., 1994, *Hidrologia Aplicada*, Santafé de Bogota: McGRAW-HILL, 584.
- Comisión Nacional del Agua, 2009, *Alcantarillado Sanitario*, Coyoacán: Semarnat, 1-123.
- Dahlhaus, C. & Damrath, H., 1982, *Wasserversorgung*, Stuttgart: B.G., 254.
- ETAPA EP, 1986, *Programa de Agua Potable y Saneamiento para Cuenca*, Cuenca, 14.
- Fiallos, L.R., 1999, *Estudio de Lluvias Intensas*, Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 84.
- Franco T, A., 2002, *Técnicas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial. Modificaciones a La Norma NB - 688*, 1-43.
- Hosang, W. & Bischof, W., 1984, *Abwassertechnik*, Stuttgart: B.G., 448.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1992, *CPE INEN 005-9-1 (1992): Código Ecuatoriano de la Construcción C.E.C. Normas Para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1 000 Habitantes*, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, 293.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, *NTE INEN-ISO 3534-1 (2013): Estadística. Vocabularios y Símbolos. Parte 1: Términos Estadísticos Generales y Términos Empleados en el Cálculo de Probabilidades (IDT)*, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, 1-8.
- Mara, D.D., Sleigh, A., & Tayler, K., 2001, *PC-based Simplified Sewer Design*, London: University of Leeds, 110.
- McCarthy, J., Abrahams, P.W., Edwards, D.J., Hart, T.P., & Levin, M.I., 2005, *LISP 1.5 Programmer's Manual*, 1-116.



Mcdonald, R.L., 2000, *An Introduction to VBA in Excel*, 33.

Mendonça, S.R., 1986, *Projeto e Construção de Redes de Esgotos*, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 452.

Organización Panamericana de la Salud & Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2005, *Guías Para el Diseño de Tecnologías de Alcantarillado*, Lima: Organización Panamericana de la Salud, 73.

Pan, T.-C. & Kao, J.-J., 2009, *GA-QP Model to Optimize Sewer System Design*, 17-24, DOI:10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:1(17).

Ponce, V.M., 1989, *Engineering hydrology: Principles and practices*, 46.

Von Sperling, M., 2008, *Wastewater characteristics, treatment and disposal*, 304, DOI:10.5860/CHOICE.45-2633.



## ANEXOS

7.1 ANEXO # 1: RELACIONES GEOMÉTRICAS DE SECCIONES PARCIALMENTE  
LLENAS

| d/D   | $\theta$ (rad) | $\theta$ (deg) | a/A   | p/P   | r/R   | v/V   | q/Q   | N/n   | v*/V* | q*/Q* |
|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.000 | 0.000          | 0.000          | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.890 | 0.000 | 0.000 |
| 0.010 | 0.401          | 22.957         | 0.002 | 0.064 | 0.027 | 0.089 | 0.000 | 0.882 | 0.078 | 0.000 |
| 0.020 | 0.568          | 32.520         | 0.005 | 0.090 | 0.053 | 0.141 | 0.001 | 0.874 | 0.123 | 0.001 |
| 0.030 | 0.696          | 39.897         | 0.009 | 0.111 | 0.079 | 0.184 | 0.002 | 0.867 | 0.159 | 0.001 |
| 0.040 | 0.805          | 46.148         | 0.013 | 0.128 | 0.105 | 0.222 | 0.003 | 0.860 | 0.191 | 0.003 |
| 0.050 | 0.902          | 51.684         | 0.019 | 0.144 | 0.130 | 0.257 | 0.005 | 0.853 | 0.219 | 0.004 |
| 0.060 | 0.990          | 56.715         | 0.024 | 0.158 | 0.155 | 0.289 | 0.007 | 0.846 | 0.245 | 0.006 |
| 0.070 | 1.071          | 61.367         | 0.031 | 0.170 | 0.181 | 0.319 | 0.010 | 0.840 | 0.268 | 0.008 |
| 0.080 | 1.147          | 65.720         | 0.037 | 0.183 | 0.205 | 0.348 | 0.013 | 0.834 | 0.290 | 0.011 |
| 0.090 | 1.219          | 69.830         | 0.045 | 0.194 | 0.230 | 0.375 | 0.017 | 0.828 | 0.311 | 0.014 |
| 0.100 | 1.287          | 73.740         | 0.052 | 0.205 | 0.254 | 0.401 | 0.021 | 0.822 | 0.330 | 0.017 |
| 0.110 | 1.352          | 77.479         | 0.060 | 0.215 | 0.278 | 0.426 | 0.025 | 0.817 | 0.348 | 0.021 |
| 0.120 | 1.415          | 81.072         | 0.068 | 0.225 | 0.302 | 0.450 | 0.031 | 0.812 | 0.366 | 0.025 |
| 0.130 | 1.475          | 84.537         | 0.076 | 0.235 | 0.325 | 0.473 | 0.036 | 0.808 | 0.382 | 0.029 |
| 0.140 | 1.534          | 87.891         | 0.085 | 0.244 | 0.349 | 0.495 | 0.042 | 0.804 | 0.398 | 0.034 |
| 0.150 | 1.591          | 91.146         | 0.094 | 0.253 | 0.372 | 0.517 | 0.049 | 0.800 | 0.414 | 0.039 |
| 0.160 | 1.646          | 94.313         | 0.103 | 0.262 | 0.394 | 0.538 | 0.056 | 0.797 | 0.428 | 0.044 |
| 0.170 | 1.700          | 97.400         | 0.113 | 0.271 | 0.417 | 0.558 | 0.063 | 0.794 | 0.443 | 0.050 |
| 0.180 | 1.753          | 100.416        | 0.122 | 0.279 | 0.439 | 0.577 | 0.071 | 0.791 | 0.457 | 0.056 |
| 0.190 | 1.804          | 103.368        | 0.132 | 0.287 | 0.461 | 0.597 | 0.079 | 0.789 | 0.470 | 0.062 |
| 0.200 | 1.855          | 106.260        | 0.142 | 0.295 | 0.482 | 0.615 | 0.088 | 0.786 | 0.484 | 0.069 |
| 0.210 | 1.904          | 109.099        | 0.153 | 0.303 | 0.504 | 0.633 | 0.097 | 0.785 | 0.497 | 0.076 |
| 0.220 | 1.953          | 111.888        | 0.163 | 0.311 | 0.525 | 0.651 | 0.106 | 0.783 | 0.510 | 0.083 |
| 0.230 | 2.001          | 114.633        | 0.174 | 0.318 | 0.546 | 0.668 | 0.116 | 0.782 | 0.522 | 0.091 |
| 0.240 | 2.048          | 117.335        | 0.185 | 0.326 | 0.566 | 0.684 | 0.126 | 0.781 | 0.535 | 0.099 |
| 0.250 | 2.094          | 120.000        | 0.196 | 0.333 | 0.587 | 0.701 | 0.137 | 0.780 | 0.547 | 0.107 |
| 0.260 | 2.140          | 122.629        | 0.207 | 0.341 | 0.607 | 0.717 | 0.148 | 0.780 | 0.559 | 0.115 |
| 0.270 | 2.186          | 125.226        | 0.218 | 0.348 | 0.626 | 0.732 | 0.159 | 0.780 | 0.571 | 0.124 |
| 0.280 | 2.230          | 127.792        | 0.229 | 0.355 | 0.646 | 0.747 | 0.171 | 0.780 | 0.583 | 0.134 |
| 0.290 | 2.275          | 130.331        | 0.241 | 0.362 | 0.665 | 0.762 | 0.183 | 0.780 | 0.594 | 0.143 |
| 0.300 | 2.319          | 132.844        | 0.252 | 0.369 | 0.684 | 0.776 | 0.196 | 0.781 | 0.606 | 0.153 |
| 0.310 | 2.362          | 135.333        | 0.264 | 0.376 | 0.702 | 0.790 | 0.209 | 0.781 | 0.617 | 0.163 |
| 0.320 | 2.405          | 137.800        | 0.276 | 0.383 | 0.721 | 0.804 | 0.222 | 0.782 | 0.629 | 0.173 |
| 0.330 | 2.448          | 140.246        | 0.288 | 0.390 | 0.739 | 0.817 | 0.235 | 0.783 | 0.640 | 0.184 |
| 0.340 | 2.490          | 142.674        | 0.300 | 0.396 | 0.757 | 0.830 | 0.249 | 0.784 | 0.651 | 0.195 |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

Continuación

| d/D   | $\theta$ (rad) | $\theta$ (deg) | a/A   | p/P   | r/R   | v/V   | q/Q   | N/n   | v*/V* | q*/Q* |
|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.350 | 2.532          | 145.085        | 0.312 | 0.403 | 0.774 | 0.843 | 0.263 | 0.785 | 0.662 | 0.206 |
| 0.360 | 2.574          | 147.480        | 0.324 | 0.410 | 0.791 | 0.855 | 0.277 | 0.787 | 0.673 | 0.218 |
| 0.370 | 2.616          | 149.860        | 0.336 | 0.416 | 0.808 | 0.868 | 0.292 | 0.788 | 0.684 | 0.230 |
| 0.380 | 2.657          | 152.227        | 0.349 | 0.423 | 0.825 | 0.879 | 0.307 | 0.789 | 0.694 | 0.242 |
| 0.390 | 2.698          | 154.582        | 0.361 | 0.429 | 0.841 | 0.891 | 0.322 | 0.791 | 0.705 | 0.254 |
| 0.400 | 2.739          | 156.926        | 0.374 | 0.436 | 0.857 | 0.902 | 0.337 | 0.793 | 0.715 | 0.267 |
| 0.410 | 2.780          | 159.260        | 0.386 | 0.442 | 0.873 | 0.913 | 0.353 | 0.794 | 0.725 | 0.280 |
| 0.420 | 2.820          | 161.586        | 0.399 | 0.449 | 0.888 | 0.924 | 0.368 | 0.796 | 0.735 | 0.293 |
| 0.430 | 2.861          | 163.904        | 0.411 | 0.455 | 0.903 | 0.934 | 0.384 | 0.798 | 0.745 | 0.306 |
| 0.440 | 2.901          | 166.216        | 0.424 | 0.462 | 0.918 | 0.944 | 0.400 | 0.799 | 0.755 | 0.320 |
| 0.450 | 2.941          | 168.522        | 0.436 | 0.468 | 0.932 | 0.954 | 0.417 | 0.801 | 0.765 | 0.334 |
| 0.460 | 2.981          | 170.823        | 0.449 | 0.475 | 0.947 | 0.964 | 0.433 | 0.803 | 0.774 | 0.348 |
| 0.470 | 3.022          | 173.120        | 0.462 | 0.481 | 0.960 | 0.973 | 0.450 | 0.805 | 0.783 | 0.362 |
| 0.480 | 3.062          | 175.415        | 0.475 | 0.487 | 0.974 | 0.983 | 0.466 | 0.806 | 0.792 | 0.376 |
| 0.490 | 3.102          | 177.708        | 0.487 | 0.494 | 0.987 | 0.991 | 0.483 | 0.808 | 0.801 | 0.390 |
| 0.500 | 3.142          | 180.000        | 0.500 | 0.500 | 1.000 | 1.000 | 0.500 | 0.810 | 0.810 | 0.405 |
| 0.510 | 3.182          | 182.292        | 0.513 | 0.506 | 1.013 | 1.008 | 0.517 | 0.812 | 0.819 | 0.420 |
| 0.520 | 3.222          | 184.585        | 0.525 | 0.513 | 1.025 | 1.016 | 0.534 | 0.814 | 0.827 | 0.435 |
| 0.530 | 3.262          | 186.880        | 0.538 | 0.519 | 1.037 | 1.024 | 0.551 | 0.815 | 0.835 | 0.449 |
| 0.540 | 3.302          | 189.177        | 0.551 | 0.525 | 1.048 | 1.032 | 0.568 | 0.817 | 0.843 | 0.464 |
| 0.550 | 3.342          | 191.478        | 0.564 | 0.532 | 1.060 | 1.039 | 0.586 | 0.819 | 0.851 | 0.480 |
| 0.560 | 3.382          | 193.784        | 0.576 | 0.538 | 1.070 | 1.046 | 0.603 | 0.821 | 0.859 | 0.495 |
| 0.570 | 3.423          | 196.096        | 0.589 | 0.545 | 1.081 | 1.053 | 0.620 | 0.822 | 0.866 | 0.510 |
| 0.580 | 3.463          | 198.414        | 0.601 | 0.551 | 1.091 | 1.060 | 0.637 | 0.824 | 0.873 | 0.525 |
| 0.590 | 3.504          | 200.740        | 0.614 | 0.558 | 1.101 | 1.066 | 0.655 | 0.826 | 0.881 | 0.541 |
| 0.600 | 3.544          | 203.074        | 0.626 | 0.564 | 1.111 | 1.072 | 0.672 | 0.828 | 0.888 | 0.556 |
| 0.610 | 3.585          | 205.418        | 0.639 | 0.571 | 1.120 | 1.078 | 0.689 | 0.830 | 0.894 | 0.571 |
| 0.620 | 3.626          | 207.773        | 0.651 | 0.577 | 1.128 | 1.084 | 0.706 | 0.831 | 0.901 | 0.587 |
| 0.630 | 3.668          | 210.140        | 0.664 | 0.584 | 1.137 | 1.089 | 0.723 | 0.833 | 0.908 | 0.602 |
| 0.640 | 3.709          | 212.520        | 0.676 | 0.590 | 1.145 | 1.094 | 0.740 | 0.835 | 0.914 | 0.618 |
| 0.650 | 3.751          | 214.915        | 0.688 | 0.597 | 1.153 | 1.099 | 0.756 | 0.837 | 0.921 | 0.633 |
| 0.660 | 3.793          | 217.326        | 0.700 | 0.604 | 1.160 | 1.104 | 0.773 | 0.840 | 0.927 | 0.649 |
| 0.670 | 3.835          | 219.754        | 0.712 | 0.610 | 1.167 | 1.108 | 0.789 | 0.842 | 0.933 | 0.664 |
| 0.680 | 3.878          | 222.200        | 0.724 | 0.617 | 1.173 | 1.112 | 0.806 | 0.844 | 0.939 | 0.680 |
| 0.690 | 3.921          | 224.667        | 0.736 | 0.624 | 1.179 | 1.116 | 0.821 | 0.847 | 0.945 | 0.696 |
| 0.700 | 3.965          | 227.156        | 0.748 | 0.631 | 1.185 | 1.120 | 0.837 | 0.849 | 0.951 | 0.711 |
| 0.710 | 4.008          | 229.669        | 0.759 | 0.638 | 1.190 | 1.123 | 0.853 | 0.852 | 0.957 | 0.726 |
| 0.720 | 4.053          | 232.208        | 0.771 | 0.645 | 1.195 | 1.126 | 0.868 | 0.855 | 0.963 | 0.742 |
| 0.730 | 4.098          | 234.774        | 0.782 | 0.652 | 1.199 | 1.129 | 0.883 | 0.858 | 0.968 | 0.757 |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

Continuación

| $d/D$ | $\theta$ (rad) | $\theta$ (deg) | $a/A$ | $p/P$ | $r/R$ | $v/V$ | $q/Q$ | $N/n$ | $v^*/V^*$ | $q^*/Q^*$ |
|-------|----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|
| 0.740 | 4.143          | 237.371        | 0.793 | 0.659 | 1.203 | 1.131 | 0.898 | 0.861 | 0.974     | 0.773     |
| 0.750 | 4.189          | 240.000        | 0.804 | 0.667 | 1.207 | 1.133 | 0.912 | 0.864 | 0.980     | 0.788     |
| 0.760 | 4.235          | 242.665        | 0.815 | 0.674 | 1.210 | 1.135 | 0.926 | 0.868 | 0.985     | 0.803     |
| 0.770 | 4.282          | 245.367        | 0.826 | 0.682 | 1.212 | 1.137 | 0.939 | 0.871 | 0.991     | 0.819     |
| 0.780 | 4.330          | 248.112        | 0.837 | 0.689 | 1.214 | 1.138 | 0.953 | 0.875 | 0.996     | 0.834     |
| 0.790 | 4.379          | 250.901        | 0.847 | 0.697 | 1.216 | 1.139 | 0.965 | 0.879 | 1.002     | 0.849     |
| 0.800 | 4.429          | 253.740        | 0.858 | 0.705 | 1.217 | 1.140 | 0.977 | 0.884 | 1.007     | 0.864     |
| 0.810 | 4.479          | 256.632        | 0.868 | 0.713 | 1.217 | 1.140 | 0.989 | 0.888 | 1.013     | 0.879     |
| 0.820 | 4.531          | 259.584        | 0.878 | 0.721 | 1.217 | 1.140 | 1.000 | 0.893 | 1.018     | 0.893     |
| 0.830 | 4.583          | 262.600        | 0.887 | 0.729 | 1.216 | 1.139 | 1.011 | 0.898 | 1.023     | 0.908     |
| 0.840 | 4.637          | 265.687        | 0.897 | 0.738 | 1.215 | 1.139 | 1.021 | 0.903 | 1.028     | 0.922     |
| 0.850 | 4.692          | 268.854        | 0.906 | 0.747 | 1.213 | 1.137 | 1.030 | 0.908 | 1.033     | 0.936     |
| 0.860 | 4.749          | 272.109        | 0.915 | 0.756 | 1.210 | 1.136 | 1.039 | 0.914 | 1.038     | 0.950     |
| 0.870 | 4.808          | 275.463        | 0.924 | 0.765 | 1.207 | 1.134 | 1.047 | 0.919 | 1.042     | 0.963     |
| 0.880 | 4.868          | 278.928        | 0.932 | 0.775 | 1.203 | 1.131 | 1.054 | 0.925 | 1.047     | 0.975     |
| 0.890 | 4.931          | 282.521        | 0.940 | 0.785 | 1.198 | 1.128 | 1.060 | 0.931 | 1.051     | 0.988     |
| 0.900 | 4.996          | 286.260        | 0.948 | 0.795 | 1.192 | 1.124 | 1.066 | 0.937 | 1.054     | 0.999     |
| 0.910 | 5.064          | 290.170        | 0.955 | 0.806 | 1.185 | 1.120 | 1.070 | 0.944 | 1.057     | 1.010     |
| 0.920 | 5.136          | 294.280        | 0.963 | 0.817 | 1.177 | 1.115 | 1.073 | 0.950 | 1.059     | 1.020     |
| 0.930 | 5.212          | 298.633        | 0.969 | 0.830 | 1.168 | 1.109 | 1.075 | 0.957 | 1.061     | 1.029     |
| 0.940 | 5.293          | 303.285        | 0.976 | 0.842 | 1.158 | 1.103 | 1.076 | 0.963 | 1.062     | 1.036     |
| 0.950 | 5.381          | 308.316        | 0.981 | 0.856 | 1.146 | 1.095 | 1.075 | 0.970 | 1.062     | 1.042     |
| 0.960 | 5.478          | 313.852        | 0.987 | 0.872 | 1.132 | 1.086 | 1.071 | 0.976 | 1.060     | 1.046     |
| 0.970 | 5.587          | 320.103        | 0.991 | 0.889 | 1.115 | 1.075 | 1.066 | 0.982 | 1.056     | 1.047     |
| 0.980 | 5.716          | 327.480        | 0.995 | 0.910 | 1.094 | 1.062 | 1.057 | 0.989 | 1.050     | 1.045     |
| 0.990 | 5.883          | 337.043        | 0.998 | 0.936 | 1.066 | 1.044 | 1.042 | 0.995 | 1.038     | 1.036     |
| 1.000 | 6.283          | 360.000        | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000     | 1.000     |

Tabla 7.1-1. Cálculo de Relaciones Geométricas de Secciones Parcialmente Llenas.



7.2 ANEXO # 2: CÁLCULOS REALIZADOS POR LA HERRAMIENTA “ALCANTARIUM”

| Inicio     | Preparar Presupuesto |                    | AutoCAD   | Informe | Presupuesto Total (\$) \$ 163 160.43<br>Costo por Metro (\$/m) \$ 90.14 |       | Longitud<br>Tramo Manual<br>m | Modificar Pozos |            | Cota<br>Terreno<br>m | Longitud<br>Parcial<br>Total<br>m | Densidad<br>hab/ha | Modificar Areas                              |                         | Poblacion |     |
|------------|----------------------|--------------------|-----------|---------|---|-------|-------------------------------|-----------------|------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------|--|-------------------------|-----------|-----|
| Pozo<br>N° | Inicio<br>Ramal      | Pozos<br>Aportante | Derivador | Zona    | Tramo   |       |                               | Coordenadas     |            |                      |                                   |                    | Area<br>Tributaria<br>Pracial<br>Total<br>ha | Parcial<br>Total<br>Hab |           |     |
|            |                      |                    |           |         | Inicial   | Final |                               | X<br>Este       | Y<br>Norte |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P12        | X                    |                    |           | Limpiar | P12   | P9    | 717354.479                    | 9676264.703     | 2590.143   | 62.017               | 0+062.02                          | 50                 | 0.242  | 0.242                   | 13        | 13  |
| P9         |                      |                    |           | Media   |   |       | 717361.538                    | 9676203.089     | 2592.499   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P13        | X                    |                    |           | Alta    | P13   | P10   | 717406.842                    | 9676279.961     | 2590.819   | 69.326               | 0+069.33                          | 60                 | 0.248  | 0.248                   | 15        | 15  |
| P10        |                      |                    |           |         |   |       | 717414.577                    | 9676211.068     | 2590.340   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P14        | X                    |                    |           | Alta    | P14   | P11   | 717461.726                    | 9676283.117     | 2589.756   | 63.824               | 0+063.82                          | 60                 | 0.213  | 0.213                   | 13        | 13  |
| P11        |                      |                    |           |         |   |       | 717469.551                    | 9676219.775     | 2589.647   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P19        | X                    |                    |           | Alta    | P19   | P9    | 717364.873                    | 9676163.82      | 2593.745   | 39.410               | 0+039.41                          | 60                 | 0.112  | 0.112                   | 7         | 7   |
| P9         |                      |                    |           |         |   |       | 717361.538                    | 9676203.089     | 2592.499   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P7         | X                    |                    |           | Alta    | P7  | P8    | 717202.215                    | 9676232.759     | 2596.171   | 50.585               | 0+050.59                          | 60                 | 0.184  | 0.184                   | 12        | 12  |
| P8         |                      |                    |           |         |   |       | 717208.838                    | 9676182.609     | 2597.163   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P9         | XX                   | P9 (7)             |           | Alta    | P8  | P9    | 717361.538                    | 9676203.089     | 2592.499   | 154.067              | 0+204.65                          | 60                 | 0.985  | 1.169                   | 60        | 72  |
| P10        | XX                   | P10 (10)           |           | Alta    | P9  | P10   | 717414.577                    | 9676211.068     | 2590.340   | 53.636               | 0+258.29                          | 60                 | 0.213  | 1.382                   | 13        | 105 |
| P11        | XX                   | P11 (13)           |           | Alta    | P10   | P11   | 717469.551                    | 9676219.775     | 2589.647   | 55.659               | 0+313.95                          | 60                 | 0.232  | 1.614                   | 14        | 134 |
| P2         |                      |                    |           | Alta    | P11   | P2    | 717585.220                    | 9676236.042     | 2585.826   | 116.807              | 0+430.76                          | 60                 | 0.529  | 2.143                   | 32        | 179 |
| P21        | X                    |                    |           | Alta    | P21   | P22   | 717241.451                    | 9676024.957     | 2599.936   | 51.138               | 0+051.14                          | 60                 | 0.162  | 0.162                   | 10        | 10  |
| P22        |                      |                    |           |         |   |       | 717224.089                    | 9676073.057     | 2600.536   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P16        |                      |                    |           | Alta    | P22   | P16   | 717221.104                    | 9676092.501     | 2600.000   | 19.672               | 0+070.81                          | 60                 | 0.028  | 0.19                    | 2         | 12  |
| P20        | X                    |                    |           | Alta    | P20   | P17   | 717365.753                    | 9676156.247     | 2593.641   | 45.375               | 0+045.38                          | 60                 | 0.097  | 0.097                   | 6         | 6   |
| P17        |                      |                    |           |         |   |       | 717370.350                    | 9676111.105     | 2592.191   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P15        | X                    |                    |           | Alta    | P15   | P16   | 717157.433                    | 9676082.99      | 2606.349   | 64.377               | 0+064.38                          | 60                 | 0.169  | 0.169                   | 11        | 11  |
| P16        | XX                   | P16 (27)           |           | Alta    | P16   | P17   | 717221.104                    | 9676092.501     | 2600.000   | 150.401              | 0+214.78                          | 60                 | 0.711  | 0.88                    | 43        | 66  |
| P17        | XX                   | P17 (30)           |           | Alta    | P17   | P18   | 717370.350                    | 9676111.105     | 2592.191   | 95.829               | 0+310.61                          | 60                 | 0.392  | 1.272                   | 24        | 96  |
| P18        |                      |                    |           | Alta    | P17   | P18   | 717465.057                    | 9676125.727     | 2589.687   | 92.598               | 0+403.21                          | 60                 | 0.342  | 1.614                   | 21        | 117 |
| P3         |                      |                    |           | Alta    | P18   | P3    | 717556.679                    | 9676139.133     | 2586.073   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P23        | X                    |                    |           | Alta    | P23   | P24   | 717244.044                    | 9676018.749     | 2598.080   | 24.815               | 0+024.81                          | 60                 | 0.036  | 0.036                   | 3         | 3   |
| P24        |                      |                    |           |         |   |       | 717252.274                    | 9675995.339     | 2598.358   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |
| P25        |                      |                    |           | Alta    | P24   | P25   | 717268.663                    | 9675973.816     | 2597.105   | 27.053               | 0+051.87                          | 60                 | 0.046  | 0.082                   | 3         | 6   |
| P26        |                      |                    |           | Alta    | P25   | P26   | 717352.298                    | 9675978.36      | 2593.462   | 83.758               | 0+135.63                          | 60                 | 0.259  | 0.341                   | 16        | 22  |
| P27        |                      |                    |           | Alta    | P26   | P27   | 717425.336                    | 9675982.309     | 2589.326   | 73.145               | 0+208.77                          | 60                 | 0.254  | 0.595                   | 16        | 38  |
| P28        |                      |                    |           | Alta    | P27   | P28   | 717478.436                    | 9675984.233     | 2588.793   | 53.135               | 0+261.90                          | 60                 | 0.177  | 0.772                   | 11        | 49  |
| P5         |                      |                    |           | Alta    | P28   | P5    | 717508.340                    | 9675981.786     | 2587.843   | 30.004               | 0+291.91                          | 60                 | 0.064  | 0.836                   | 4         | 53  |
| P6         | X                    |                    |           | Alta    | P6  | P5    | 717500.865                    | 9675958.474     | 2587.150   | 24.481               | 0+024.48                          | 60                 | 0.052  | 0.052                   | 4         | 4   |
| P5         | XX                   | P5 (44)            |           | Alta    | P5  | P4    | 717508.340                    | 9675981.786     | 2587.843   | 61.973               | 0+086.45                          | 60                 | 0.176  | 0.228                   | 11        | 68  |
| P4         |                      |                    |           | Alta    | P4  | P3    | 717525.654                    | 9676041.291     | 2586.371   | 102.643              | 0+189.10                          | 60                 | 0.445  | 0.673                   | 27        | 95  |
| P3         | XX                   | P3 (36)            |           | Alta    | P4  | P3    | 717556.679                    | 9676139.133     | 2586.073   | 101.024              | 0+290.12                          | 60                 | 0.292  | 0.965                   | 18        | 230 |
| P2         | XX                   | P2 (23)            |           | Alta    | P3  | P2    | 717585.220                    | 9676236.042     | 2585.826   | 44.389               | 0+334.51                          | 60                 | 0.1  | 1.065                   | 6         | 415 |
| P1         |                      |                    |           | Alta    | P2  | P1    | 717608.562                    | 9676273.798     | 2583.605   |                      |                                   |                    |  |                         |           |     |

Figura 7.2-1. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium”.



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILADO

| Coeficiente Escorrimento C | Aporte Pluvial |              | Pendiente Lateral % | Tiempo Concentración |               |             |             |               | Intensidad                 | q Pluvial   |               | Dotación L/Hab/Dia | Tasa Crecimiento % | Aporte Sanitario |               |
|----------------------------|----------------|--------------|---------------------|----------------------|---------------|-------------|-------------|---------------|----------------------------|-------------|---------------|--------------------|--------------------|------------------|---------------|
|                            | Parcial        | Acumulado ha |                     | Superficial min      | Velocidad m/s | Tubería min | Parcial min | Acumulado min | Intensidad I=A/[t+C]B mm/h | Parcial L/s | Acumulado L/s |                    |                    | Parcial L/s      | Acumulado L/s |
| 0.45                       | 0.109          | 0.109        | 1.00%               | 0.017                | 0.855         | 1.209       | 1.226       | 5.000         | 139.378                    | 15.178      | 15.178        | 350                | 2.00%              | 0.064            | 0.064         |
| 0.48                       | 0.119          | 0.119        | 1.00%               | 0.017                | 0.925         | 1.250       | 1.267       | 5.000         | 139.378                    | 16.592      | 16.592        | 350                | 2.00%              | 0.074            | 0.074         |
| 0.48                       | 0.102          | 0.102        | 1.00%               | 0.016                | 0.842         | 1.264       | 1.280       | 5.000         | 139.378                    | 14.250      | 14.250        | 350                | 2.00%              | 0.064            | 0.064         |
| 0.48                       | 0.054          | 0.054        | 1.00%               | 0.014                | 1.384         | 0.475       | 0.489       | 5.000         | 139.378                    | 7.493       | 7.493         | 350                | 2.00%              | 0.034            | 0.034         |
| 0.48                       | 0.088          | 0.088        | 1.00%               | 0.017                | 0.880         | 0.958       | 0.976       | 5.000         | 139.378                    | 12.310      | 12.310        | 350                | 2.00%              | 0.059            | 0.059         |
| 0.48                       | 0.473          | 0.561        | 1.00%               | 0.027                | 2.488         | 1.032       | 1.059       | 6.059         | 129.664                    | 61.305      | 73.615        | 350                | 2.00%              | 0.294            | 0.353         |
| 0.48                       | 0.102          | 0.826        | 1.00%               | 0.018                | 2.259         | 0.396       | 0.414       | 16.473        | 83.254                     | 8.512       | 82.127        | 350                | 2.00%              | 0.064            | 0.515         |
| 0.48                       | 0.111          | 1.056        | 1.00%               | 0.019                | 1.766         | 0.525       | 0.544       | 22.017        | 72.047                     | 8.023       | 90.150        | 350                | 2.00%              | 0.069            | 0.658         |
| 0.48                       | 0.254          | 1.413        | 1.00%               | 0.020                | 2.587         | 0.753       | 0.773       | 27.790        | 63.919                     | 16.230      | 106.380       | 350                | 2.00%              | 0.157            | 0.878         |
| 0.48                       | 0.078          | 0.078        | 1.00%               | 0.016                | 0.785         | 1.085       | 1.101       | 5.000         | 139.378                    | 10.838      | 10.838        | 350                | 2.00%              | 0.049            | 0.049         |
| 0.48                       | 0.013          | 0.091        | 1.00%               | 0.008                | 1.409         | 0.233       | 0.241       | 5.241         | 136.992                    | 1.841       | 12.679        | 350                | 2.00%              | 0.010            | 0.059         |
| 0.48                       | 0.047          | 0.047        | 1.00%               | 0.011                | 1.336         | 0.566       | 0.577       | 5.000         | 139.378                    | 6.489       | 6.489         | 350                | 2.00%              | 0.029            | 0.029         |
| 0.48                       | 0.081          | 0.081        | 1.00%               | 0.013                | 2.430         | 0.442       | 0.455       | 5.000         | 139.378                    | 11.306      | 11.306        | 350                | 2.00%              | 0.054            | 0.054         |
| 0.48                       | 0.341          | 0.514        | 1.00%               | 0.021                | 2.378         | 1.054       | 1.075       | 11.316        | 99.452                     | 33.941      | 45.247        | 350                | 2.00%              | 0.211            | 0.324         |
| 0.48                       | 0.188          | 0.748        | 1.00%               | 0.019                | 2.095         | 0.762       | 0.781       | 17.098        | 81.750                     | 15.382      | 60.629        | 350                | 2.00%              | 0.118            | 0.471         |
| 0.48                       | 0.164          | 0.912        | 1.00%               | 0.017                | 2.550         | 0.605       | 0.623       | 17.721        | 80.322                     | 13.186      | 73.815        | 350                | 2.00%              | 0.103            | 0.574         |
| 0.48                       | 0.017          | 0.017        | 1.00%               | 0.009                | 0.745         | 0.555       | 0.564       | 5.000         | 139.378                    | 2.408       | 2.408         | 350                | 2.00%              | 0.015            | 0.015         |
| 0.48                       | 0.022          | 0.039        | 1.00%               | 0.010                | 1.474         | 0.306       | 0.316       | 5.316         | 136.277                    | 3.009       | 5.417         | 350                | 2.00%              | 0.015            | 0.029         |
| 0.48                       | 0.124          | 0.164        | 1.00%               | 0.015                | 1.954         | 0.714       | 0.730       | 6.045         | 129.775                    | 16.134      | 21.551        | 350                | 2.00%              | 0.079            | 0.108         |
| 0.48                       | 0.122          | 0.286        | 1.00%               | 0.017                | 2.492         | 0.489       | 0.506       | 6.551         | 125.739                    | 15.330      | 36.881        | 350                | 2.00%              | 0.079            | 0.186         |
| 0.48                       | 0.085          | 0.371        | 1.00%               | 0.016                | 1.416         | 0.626       | 0.642       | 7.193         | 121.082                    | 10.287      | 47.168        | 350                | 2.00%              | 0.054            | 0.240         |
| 0.48                       | 0.031          | 0.401        | 1.00%               | 0.011                | 2.116         | 0.236       | 0.248       | 7.441         | 119.407                    | 3.668       | 50.837        | 350                | 2.00%              | 0.020            | 0.260         |
| 0.48                       | 0.025          | 0.025        | 1.00%               | 0.011                | 1.137         | 0.359       | 0.370       | 5.000         | 139.378                    | 3.479       | 3.479         | 350                | 2.00%              | 0.020            | 0.020         |
| 0.48                       | 0.084          | 0.511        | 1.00%               | 0.014                | 1.136         | 0.909       | 0.923       | 13.364        | 92.055                     | 7.777       | 11.256        | 350                | 2.00%              | 0.054            | 0.334         |
| 0.48                       | 0.214          | 0.724        | 1.00%               | 0.020                | 0.950         | 1.801       | 1.821       | 15.185        | 86.610                     | 18.500      | 29.756        | 350                | 2.00%              | 0.132            | 0.466         |
| 0.48                       | 0.140          | 1.777        | 1.00%               | 0.014                | 1.414         | 1.191       | 1.205       | 34.111        | 57.399                     | 8.045       | 37.801        | 350                | 2.00%              | 0.088            | 1.129         |
| 0.48                       | 0.048          | 3.238        | 1.00%               | 0.012                | 2.283         | 0.324       | 0.336       | 62.237        | 41.615                     | 1.998       | 39.798        | 350                | 2.00%              | 0.029            | 2.036         |

Figura 7.2-2. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium” (Continuación).



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILADO

| Factor de Mayoración |       | q Sanitario        |       | q Infiltración |           | q Ilícito |           | q Concentrado |           | q Sanitario | q Diseño | Pendiente | Material              | Código | Rugosidad |
|----------------------|-------|--------------------|-------|----------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-------------|----------|-----------|-----------------------|--------|-----------|
| Clase                | M     | Mayorado-Acumulado | L/s   | Parcial        | Acumulado | Parcial   | Acumulado | Parcial       | Acumulado | TOTAL       | TOTAL    | Inicial % |                       |        |           |
| Limpiar              |       |                    |       |                |           |           |           |               |           |             |          |           |                       |        |           |
| Flores               | 5.403 | 0.345              | 0.073 | 0.073          | 0.006     | 0.006     |           |               |           | 1.580       | 16.758   | -3.90%    | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.327 | 0.392              | 0.082 | 0.082          | 0.007     | 0.007     |           |               |           | 1.589       | 18.181   | 0.69%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.403 | 0.345              | 0.075 | 0.075          | 0.006     | 0.006     |           |               |           | 1.582       | 15.832   | 0.17%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.749 | 0.197              | 0.047 | 0.047          | 0.003     | 0.003     |           |               |           | 1.550       | 9.043    | 3.16%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.447 | 0.321              | 0.060 | 0.060          | 0.006     | 0.006     |           |               |           | 1.566       | 13.875   | -1.96%    | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.553 | 1.609              | 0.182 | 0.241          | 0.035     | 0.041     |           |               |           | 1.891       | 75.506   | 3.03%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.385 | 2.259              | 0.063 | 0.424          | 0.052     | 0.103     |           |               |           | 2.786       | 84.913   | 4.03%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.279 | 2.814              | 0.066 | 0.572          | 0.066     | 0.176     |           |               |           | 3.561       | 93.711   | 1.25%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.157 | 3.651              | 0.138 | 0.785          | 0.088     | 0.270     |           |               |           | 4.706       | 111.086  | 3.27%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.547 | 0.272              | 0.060 | 0.060          | 0.005     | 0.005     |           |               |           | 1.565       | 12.403   | -1.17%    | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.447 | 0.321              | 0.023 | 0.084          | 0.006     | 0.011     |           |               |           | 1.594       | 14.274   | 2.72%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.838 | 0.172              | 0.054 | 0.054          | 0.003     | 0.003     |           |               |           | 1.556       | 8.046    | 3.20%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.495 | 0.297              | 0.076 | 0.076          | 0.005     | 0.005     |           |               |           | 1.581       | 12.888   | 9.86%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.593 | 1.487              | 0.177 | 0.337          | 0.032     | 0.049     |           |               |           | 1.886       | 47.133   | 5.19%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.424 | 2.084              | 0.113 | 0.504          | 0.047     | 0.099     |           |               |           | 2.686       | 63.316   | 2.61%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.338 | 2.490              | 0.109 | 0.613          | 0.057     | 0.156     |           |               |           | 3.259       | 77.074   | 3.90%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 6.257 | 0.092              | 0.029 | 0.029          | 0.001     | 0.001     |           |               |           | 1.531       | 3.939    | -1.12%    | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.838 | 0.172              | 0.032 | 0.061          | 0.003     | 0.004     |           |               |           | 1.566       | 6.983    | 4.63%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 5.127 | 0.553              | 0.099 | 0.160          | 0.011     | 0.015     |           |               |           | 1.675       | 23.226   | 4.35%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.854 | 0.905              | 0.086 | 0.246          | 0.019     | 0.034     |           |               |           | 1.780       | 38.661   | 5.65%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.732 | 1.138              | 0.063 | 0.309          | 0.024     | 0.058     |           |               |           | 1.867       | 49.035   | 1.00%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.695 | 1.221              | 0.035 | 0.344          | 0.026     | 0.084     |           |               |           | 1.928       | 52.765   | 3.17%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 6.079 | 0.119              | 0.029 | 0.029          | 0.002     | 0.002     |           |               |           | 1.531       | 5.010    | -2.83%    | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.579 | 1.528              | 0.073 | 0.446          | 0.033     | 0.119     |           |               |           | 2.094       | 13.349   | 2.38%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.429 | 2.065              | 0.121 | 0.568          | 0.047     | 0.166     |           |               |           | 2.798       | 32.553   | 0.29%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 4.054 | 4.575              | 0.119 | 1.300          | 0.113     | 0.435     |           |               |           | 6.310       | 44.110   | 0.24%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |
|                      | 3.822 | 7.782              | 0.052 | 2.137          | 0.204     | 0.908     |           |               |           | 10.828      | 50.626   | 5.00%     | Policloruro de Vinilo | PVC    | 0.011     |

Figura 7.2-3. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium” (Continuación).



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILADO

| Diámetro Calculado mm | Diámetro Calculado mm | Diámetro Impuesto mm | Diámetro Nominal mm | Diámetro Interno mm | Seccion Llena |         | Pendiente Impuesta % | Pendiente Inicial % | Pendiente Definitiva % | h/D Mínima | θ Mínimo Grados | θ Mínimo Rad | RH Mínimo mm | Tirante Mínimo mm | Pendiente Mínima % | Velocidad Min m/s | Velocidad Max m/s |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------|----------------------|---------------------|------------------------|------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                       |                       |                      |                     |                     | V m/s         | Q L/s   |                      |                     |                        |            |                 |              |              |                   |                    |                   |                   |
| 200                   | 200                   |                      | 200                 | 183                 | 0.901         | 23.692  | 0.60%                | 0.60%               | 0.60%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
| 200                   | 200                   |                      | 200                 | 183                 | 0.973         | 25.590  |                      | 0.70%               | 0.70%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
| 200                   | 200                   |                      | 200                 | 183                 | 0.901         | 23.692  | 0.60%                | 0.60%               | 0.60%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
| 110                   | 110                   |                      | 110                 | 99.23               | 1.383         | 10.697  |                      | 3.20%               | 3.20%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 11.913       | 19.846            | 1.01%              | 0.776             | 4.500             |
| 160                   | 160                   |                      | 160                 | 146                 | 0.837         | 14.011  | 0.70%                | 0.70%               | 0.70%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 17.528       | 29.200            | 0.68%              | 0.828             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 250                 | 228                 | 2.625         | 107.162 |                      | 3.10%               | 3.80%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 250                 | 228                 | 2.171         | 88.641  |                      | 4.10%               | 2.60%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 315                   | 315                   |                      | 315                 | 287                 | 1.790         | 115.784 |                      | 1.30%               | 1.30%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 34.455       | 57.400            | 0.35%              | 0.927             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 315                 | 287                 | 2.852         | 184.473 |                      | 3.30%               | 3.30%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 34.455       | 57.400            | 0.35%              | 0.927             | 4.500             |
| 160                   | 160                   | 200                  | 200                 | 183                 | 0.901         | 23.692  | 0.60%                | 0.60%               | 0.60%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
| 160                   | 160                   |                      | 200                 | 183                 | 1.946         | 51.181  |                      | 2.80%               | 2.80%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
| 110                   | 110                   |                      | 110                 | 99.23               | 1.383         | 10.697  |                      | 3.20%               | 3.20%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 11.913       | 19.846            | 1.01%              | 0.776             | 4.500             |
| 110                   | 110                   |                      | 110                 | 99.23               | 2.645         | 20.455  |                      | 9.90%               | 11.70%                 | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 11.913       | 19.846            | 1.01%              | 0.776             | 4.500             |
| 200                   | 200                   |                      | 200                 | 183                 | 2.494         | 65.600  |                      | 5.20%               | 4.60%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 21.970       | 36.600            | 0.55%              | 0.860             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 250                 | 228                 | 2.212         | 90.330  |                      | 2.70%               | 2.70%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 250                 | 228                 | 2.693         | 109.946 |                      | 4.00%               | 4.00%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 110                   | 110                   |                      | 110                 | 99.23               | 0.811         | 6.272   | 1.10%                | 1.10%               | 1.10%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 11.913       | 19.846            | 1.01%              | 0.776             | 4.500             |
| 110                   | 110                   |                      | 110                 | 99.23               | 1.676         | 12.964  |                      | 4.70%               | 4.70%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 11.913       | 19.846            | 1.01%              | 0.776             | 4.500             |
| 160                   | 160                   |                      | 160                 | 146                 | 2.098         | 35.128  |                      | 4.40%               | 4.40%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 17.528       | 29.200            | 0.68%              | 0.828             | 4.500             |
| 160                   | 160                   |                      | 160                 | 146                 | 2.388         | 39.982  |                      | 5.70%               | 5.70%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 17.528       | 29.200            | 0.68%              | 0.828             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 250                 | 228                 | 1.412         | 57.656  |                      | 1.10%               | 1.10%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 200                   | 200                   |                      | 250                 | 228                 | 2.409         | 98.339  |                      | 3.20%               | 3.20%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 160                   | 110                   |                      | 160                 | 146                 | 1.844         | 30.880  |                      | 0.50%               | 3.40%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 17.528       | 29.200            | 0.68%              | 0.828             | 4.500             |
| 160                   | 160                   |                      | 160                 | 146                 | 1.225         | 20.511  |                      | 2.40%               | 1.50%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 17.528       | 29.200            | 0.68%              | 0.828             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 250                 | 228                 | 0.952         | 38.872  |                      | 0.50%               | 0.50%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 250                   | 250                   |                      | 250                 | 228                 | 1.475         | 60.220  |                      | 0.50%               | 1.20%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |
| 200                   | 200                   |                      | 250                 | 228                 | 2.726         | 111.312 |                      | 5.10%               | 4.10%                  | 0.2        | 105.973         | 1.850        | 27.372       | 45.600            | 0.44%              | 0.892             | 4.500             |

Figura 7.2-4. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium” (Continuación).



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILADO

| Curvas Ajustadas |       |       |       | Real                |            |                 |              |          |       |        |           |         |         | Flujo  |                  |              |
|------------------|-------|-------|-------|---------------------|------------|-----------------|--------------|----------|-------|--------|-----------|---------|---------|--------|------------------|--------------|
| n=N              | q/Q   | h/D   | v/V   | Diametro Nominal mm | Tirante mm | Velocidades m/s | Pendientes % | θ Grados | θ Rad | RH mm  | A mm/2    | T mm    | DH mm   | τ Pa   | Número de Froude |              |
| SI               | 0.707 | 0.697 | 0.949 | 200                 | 127.55     | 0.855           | 0.60%        | 226.407  | 3.952 | 54.135 | 19573.529 | 168.197 | 116.372 | 3.186  | 0.800            | Subcrítico   |
|                  | 0.710 | 0.699 | 0.950 | 200                 | 127.92     | 0.925           | 0.70%        | 226.906  | 3.960 | 54.186 | 19635.031 | 167.882 | 116.958 | 3.721  | 0.863            | Subcrítico   |
|                  | 0.668 | 0.672 | 0.934 | 200                 | 122.98     | 0.842           | 0.60%        | 220.242  | 3.844 | 53.439 | 18795.496 | 171.831 | 109.383 | 3.145  | 0.812            | Subcrítico   |
|                  | 0.845 | 0.787 | 1.000 | 110                 | 78.09      | 1.384           | 3.20%        | 250.059  | 4.364 | 30.151 | 6528.788  | 81.255  | 80.349  | 9.465  | 1.558            | Supercrítico |
|                  | 0.990 | 0.892 | 1.051 | 160                 | 130.23     | 0.880           | 0.70%        | 283.257  | 4.944 | 43.686 | 15766.147 | 90.631  | 173.960 | 3.000  | 0.673            | Subcrítico   |
|                  | 0.705 | 0.695 | 0.948 | 250                 | 158.46     | 2.488           | 3.80%        | 225.909  | 3.943 | 67.383 | 30287.772 | 209.946 | 144.265 | 25.119 | 2.092            | Supercrítico |
|                  | 0.958 | 0.866 | 1.041 | 250                 | 197.45     | 2.259           | 2.60%        | 274.109  | 4.784 | 68.884 | 37568.372 | 155.337 | 241.850 | 17.570 | 1.467            | Supercrítico |
|                  | 0.809 | 0.763 | 0.987 | 315                 | 218.98     | 1.766           | 1.30%        | 243.471  | 4.249 | 86.857 | 52964.126 | 244.089 | 216.987 | 11.077 | 1.211            | Supercrítico |
|                  | 0.602 | 0.629 | 0.907 | 250                 | 180.52     | 2.587           | 3.30%        | 209.903  | 3.663 | 81.514 | 42852.745 | 277.284 | 154.545 | 26.388 | 2.101            | Supercrítico |
|                  | 0.524 | 0.578 | 0.872 | 200                 | 105.77     | 0.785           | 0.60%        | 197.950  | 3.455 | 49.831 | 15752.608 | 180.760 | 87.147  | 2.933  | 0.849            | Subcrítico   |
|                  | 0.279 | 0.409 | 0.724 | 160                 | 74.85      | 1.409           | 2.80%        | 159.027  | 2.776 | 39.850 | 10120.509 | 179.944 | 56.243  | 10.946 | 1.897            | Supercrítico |
|                  | 0.752 | 0.726 | 0.966 | 110                 | 72.04      | 1.336           | 3.20%        | 233.744  | 4.080 | 29.711 | 6013.793  | 88.515  | 67.941  | 9.327  | 1.637            | Supercrítico |
|                  | 0.630 | 0.647 | 0.919 | 110                 | 64.20      | 2.430           | 11.70%       | 214.195  | 3.738 | 28.537 | 5293.066  | 94.845  | 55.808  | 32.754 | 3.284            | Supercrítico |
|                  | 0.718 | 0.704 | 0.953 | 200                 | 128.83     | 2.378           | 4.60%        | 228.159  | 3.982 | 54.309 | 19788.276 | 167.076 | 118.439 | 24.508 | 2.206            | Supercrítico |
|                  | 0.701 | 0.693 | 0.947 | 250                 | 158.00     | 2.095           | 2.70%        | 225.412  | 3.934 | 67.318 | 30191.949 | 210.330 | 143.546 | 17.831 | 1.765            | Supercrítico |
|                  | 0.701 | 0.693 | 0.947 | 250                 | 158.00     | 2.550           | 4.00%        | 225.412  | 3.934 | 67.318 | 30191.949 | 210.330 | 143.546 | 26.416 | 2.149            | Supercrítico |
|                  | 0.628 | 0.646 | 0.918 | 110                 | 64.10      | 0.745           | 1.10%        | 213.955  | 3.734 | 28.518 | 5283.652  | 94.905  | 55.673  | 3.077  | 1.008            | Crítico      |
|                  | 0.539 | 0.588 | 0.879 | 110                 | 58.35      | 1.474           | 4.70%        | 200.274  | 3.495 | 27.267 | 4728.754  | 97.681  | 48.410  | 12.572 | 2.139            | Supercrítico |
|                  | 0.661 | 0.667 | 0.931 | 160                 | 97.38      | 1.954           | 4.40%        | 219.023  | 3.823 | 42.512 | 11863.206 | 137.616 | 86.205  | 18.350 | 2.125            | Supercrítico |
|                  | 0.967 | 0.873 | 1.044 | 160                 | 127.46     | 2.492           | 5.70%        | 276.490  | 4.826 | 44.015 | 15505.403 | 97.228  | 159.474 | 24.612 | 1.993            | Supercrítico |
|                  | 0.850 | 0.791 | 1.002 | 250                 | 180.35     | 1.416           | 1.10%        | 251.183  | 4.384 | 69.307 | 34637.695 | 185.407 | 186.820 | 7.479  | 1.046            | Crítico      |
|                  | 0.537 | 0.587 | 0.878 | 200                 | 133.84     | 2.116           | 3.20%        | 200.041  | 3.491 | 62.595 | 24913.751 | 224.522 | 110.964 | 19.650 | 2.028            | Supercrítico |
|                  | 0.162 | 0.309 | 0.616 | 160                 | 45.11      | 1.137           | 3.40%        | 135.085  | 2.358 | 25.569 | 4400.725  | 134.928 | 32.615  | 8.528  | 2.009            | Supercrítico |
|                  | 0.651 | 0.661 | 0.927 | 160                 | 96.51      | 1.136           | 1.50%        | 217.568  | 3.797 | 42.361 | 11742.386 | 138.224 | 84.952  | 6.233  | 1.245            | Supercrítico |
|                  | 0.837 | 0.782 | 0.997 | 250                 | 178.30     | 0.950           | 0.50%        | 248.666  | 4.340 | 69.234 | 34254.273 | 188.277 | 181.936 | 3.396  | 0.711            | Subcrítico   |
|                  | 0.732 | 0.713 | 0.959 | 250                 | 162.56     | 1.414           | 1.20%        | 230.428  | 4.022 | 67.925 | 31141.994 | 206.277 | 150.972 | 7.996  | 1.162            | Supercrítico |
|                  | 0.455 | 0.533 | 0.838 | 200                 | 121.52     | 2.283           | 4.10%        | 187.569  | 3.274 | 59.293 | 22128.295 | 227.503 | 97.266  | 23.848 | 2.338            | Supercrítico |

Figura 7.2-5. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium” (Continuación).



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILADO

| Pendiente Mínima (Fuerza Tractiva)<br>(Norma Brasileira) (Rolim Mendoza)<br>Pendiente Mínima Pendiente Mínima |       | Cotas Terreno<br>Pozo |          | Cotas Tuberia (Fondo)<br>Pozo |          | Cotas Tuberia (Fondo)<br>Pozo |          | Cotas Tuberia (Fondo)<br>Pozo |          | Pendiente<br>Final | Altura Clvae<br>Pozo |       | Altura<br>Pozo |       | Salto | Profundizar |
|---|-------|-----------------------|----------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------|--------------------|----------------------|-------|----------------|-------|-------|-------------|
| %   | %     | Inicial               | Final    | Inicial                       | Final    | Inicial                       | Final    | Inicial                       | Final    |                    | Inicial              | Final | Inicial        | Final |       |             |
| 0.15%   | 0.19% | 2590.143              | 2592.499 | 2588.943                      | 2588.571 | 2588.943                      | 2588.571 | 2588.943                      | 2588.571 | 0.60%              | 1.00                 | 3.73  | 1.20           | 3.93  |       |             |
| 0.14%   | 0.18% | 2590.819              | 2590.340 | 2589.619                      | 2589.134 | 2589.619                      | 2589.134 | 2589.619                      | 2589.134 | 0.70%              | 1.00                 | 1.01  | 1.20           | 1.21  |       |             |
| 0.15%   | 0.19% | 2589.756              | 2589.647 | 2588.556                      | 2588.173 | 2588.556                      | 2588.173 | 2588.556                      | 2588.173 | 0.60%              | 1.00                 | 1.27  | 1.20           | 1.47  |       |             |
| 0.20%   | 0.26% | 2593.745              | 2592.499 | 2592.635                      | 2591.374 | 2592.635                      | 2591.374 | 2592.635                      | 2591.374 | 3.20%              | 1.00                 | 1.02  | 1.11           | 1.13  |       |             |
| 0.16%   | 0.23% | 2596.171              | 2597.163 | 2595.011                      | 2594.657 | 2595.011                      | 2594.657 | 2595.011                      | 2594.657 | 0.70%              | 1.00                 | 2.35  | 1.16           | 2.51  |       |             |
| 0.07%   | 0.09% | 2597.163              | 2592.499 | 2594.407                      | 2589.631 | 2594.407                      | 2588.571 | 2594.407                      | 2588.571 | 3.80%              | 2.51                 | 3.68  | 2.76           | 3.93  |       |             |
| 0.07%   | 0.10% | 2592.499              | 2590.340 | 2589.381                      | 2587.182 | 2589.381                      | 2587.182 | 2588.571                      | 2587.182 | 2.60%              | 3.68                 | 2.91  | 3.93           | 3.16  |       |             |
| 0.07%   | 0.09% | 2590.340              | 2589.647 | 2586.867                      | 2586.143 | 2586.867                      | 2586.143 | 2586.867                      | 2586.143 | 1.30%              | 3.16                 | 3.19  | 3.47           | 3.50  |       |             |
| 0.06%   | 0.08% | 2589.647              | 2585.826 | 2585.893                      | 2582.039 | 2585.893                      | 2582.039 | 2585.893                      | 2582.039 | 3.30%              | 3.50                 | 3.54  | 3.75           | 3.79  |       |             |
| 0.17%   | 0.21% | 2599.936              | 2600.536 | 2598.736                      | 2598.429 | 2598.736                      | 2598.429 | 2598.736                      | 2598.429 | 0.60%              | 1.00                 | 1.91  | 1.20           | 2.11  |       |             |
| 0.16%   | 0.20% | 2600.536              | 2600.000 | 2598.269                      | 2597.718 | 2598.269                      | 2597.718 | 2598.269                      | 2597.718 | 2.80%              | 2.11                 | 2.12  | 2.27           | 2.28  |       |             |
| 0.21%   | 0.27% | 2593.641              | 2592.191 | 2592.531                      | 2591.079 | 2592.531                      | 2591.079 | 2592.531                      | 2591.079 | 3.20%              | 1.00                 | 1.00  | 1.11           | 1.11  |       |             |
| 0.17%   | 0.21% | 2606.349              | 2600.000 | 2605.239                      | 2598.866 | 2605.239                      | 2597.718 | 2605.239                      | 2597.718 | 11.70%             | 1.00                 | 2.17  | 1.11           | 2.28  |       |             |
| 0.09%   | 0.12% | 2600.000              | 2592.191 | 2598.666                      | 2590.845 | 2598.666                      | 2590.845 | 2597.718                      | 2590.845 | 4.60%              | 2.08                 | 1.15  | 2.28           | 1.35  |       |             |
| 0.08%   | 0.10% | 2592.191              | 2589.687 | 2590.595                      | 2588.007 | 2590.595                      | 2588.007 | 2590.595                      | 2588.007 | 2.70%              | 1.35                 | 1.43  | 1.60           | 1.68  |       |             |
| 0.07%   | 0.09% | 2589.687              | 2586.073 | 2587.757                      | 2584.053 | 2587.757                      | 2584.053 | 2587.757                      | 2584.053 | 4.00%              | 1.68                 | 1.77  | 1.93           | 2.02  |       |             |
| 0.29%   | 0.37% | 2598.080              | 2598.358 | 2596.970                      | 2596.697 | 2596.970                      | 2596.697 | 2596.970                      | 2596.697 | 1.10%              | 1.00                 | 1.55  | 1.11           | 1.66  |       |             |
| 0.22%   | 0.28% | 2598.358              | 2597.105 | 2596.587                      | 2595.316 | 2596.587                      | 2595.316 | 2596.587                      | 2595.316 | 4.70%              | 1.66                 | 1.68  | 1.77           | 1.79  |       |             |
| 0.13%   | 0.16% | 2597.105              | 2593.462 | 2595.156                      | 2591.470 | 2595.156                      | 2591.470 | 2595.156                      | 2591.470 | 4.40%              | 1.79                 | 1.83  | 1.95           | 1.99  |       |             |
| 0.10%   | 0.14% | 2593.462              | 2589.326 | 2591.310                      | 2587.141 | 2591.310                      | 2587.141 | 2591.310                      | 2587.141 | 5.70%              | 1.99                 | 2.03  | 2.15           | 2.19  |       |             |
| 0.09%   | 0.12% | 2589.326              | 2588.793 | 2586.891                      | 2586.306 | 2586.891                      | 2586.306 | 2586.891                      | 2586.306 | 1.10%              | 2.19                 | 2.24  | 2.44           | 2.49  |       |             |
| 0.09%   | 0.11% | 2588.793              | 2587.843 | 2586.106                      | 2585.146 | 2586.106                      | 2585.146 | 2586.106                      | 2585.146 | 3.20%              | 2.49                 | 2.50  | 2.69           | 2.70  |       |             |
| 0.26%   | 0.33% | 2587.150              | 2587.843 | 2585.990                      | 2585.868 | 2585.990                      | 2585.146 | 2585.990                      | 2585.146 | 3.40%              | 1.00                 | 2.54  | 1.16           | 2.70  |       |             |
| 0.16%   | 0.21% | 2587.843              | 2586.371 | 2585.708                      | 2584.220 | 2585.708                      | 2584.220 | 2585.146                      | 2584.220 | 1.50%              | 2.54                 | 1.99  | 2.70           | 2.15  |       |             |
| 0.11%   | 0.14% | 2586.371              | 2586.073 | 2583.970                      | 2583.457 | 2583.970                      | 2583.457 | 2583.970                      | 2583.457 | 0.50%              | 2.15                 | 2.37  | 2.40           | 2.62  |       |             |
| 0.09%   | 0.12% | 2586.073              | 2585.826 | 2583.207                      | 2582.702 | 2583.207                      | 2582.039 | 2583.207                      | 2582.039 | 1.20%              | 2.62                 | 3.54  | 2.87           | 3.79  |       |             |
| 0.09%   | 0.11% | 2585.826              | 2583.605 | 2582.502                      | 2580.238 | 2582.502                      | 2580.238 | 2582.039                      | 2580.238 | 4.10%              | 3.59                 | 3.17  | 3.79           | 3.37  |       |             |

Figura 7.2-6. Captura de Pantalla de los cálculos generados por la herramienta “Alcantarium” (Continuación).



### 7.3 ANEXO # 3: CÁLCULOS ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.

#### 7.3.1 ANEXO # 3.1: ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE REALIZADO CON UN 95% DE CONFIANZA.

| Certidumbre Obtenida |           |                    |                  |
|----------------------|-----------|--------------------|------------------|
| Valor                | Caudal    | Diámetro Calculado | Diámetro Nominal |
| 0.01                 | 0.01±0.00 | 0.01±0.00          | 0.01+0.05        |
| 0.02                 | 0.02±0.00 | 0.02±0.00          | 0.02±0.01        |
| 0.03                 | 0.03±0.00 | 0.03±0.00          | 0.03±0.02        |
| 0.04                 | 0.04±0.00 | 0.04±0.00          | 0.04±0.02        |
| 0.05                 | 0.05±0.00 | 0.05±0.00          | 0.05±0.01        |
| 0.06                 | 0.06±0.00 | 0.06±0.00          | 0.06-0.05        |
| 0.07                 | 0.07±0.00 | 0.07+0.01          | 0.07+0.13        |
| 0.08                 | 0.08±0.00 | 0.08±0.01          | 0.08±0.01        |
| 0.09                 | 0.09±0.00 | 0.09±0.01          | 0.09±0.02        |
| 0.10                 | 0.1±0.00  | 0.10±0.01          | 0.10±0.03        |
| 0.11                 | 0.11±0.00 | 0.11±0.01          | 0.11±0.04        |
| 0.12                 | 0.12±0.00 | 0.12±0.01          | 0.12±0.05        |
| 0.13                 | 0.13±0.00 | 0.13±0.01          | 0.13±0.06        |
| 0.14                 | 0.14±0.00 | 0.14±0.01          | 0.14±0.06        |
| 0.15                 | 0.15±0.00 | 0.15±0.01          | 0.15±0.05        |
| 0.16                 | 0.16±0.00 | 0.16±0.02          | 0.16±0.04        |
| 0.17                 | 0.17±0.00 | 0.17±0.02          | 0.17±0.03        |
| 0.18                 | 0.18±0.00 | 0.18±0.02          | 0.18±0.02        |
| 0.19                 | 0.19±0.00 | 0.19±0.02          | 0.19±0.01        |
| 0.20                 | 0.20±0.01 | 0.20±0.02          | 0.20-0.13        |
| 0.21                 | 0.21±0.01 | 0.21±0.02          | 0.21+0.16        |
| 0.22                 | 0.22±0.01 | 0.22±0.02          | 0.22±0.01        |
| 0.23                 | 0.23±0.01 | 0.23±0.02          | 0.23±0.02        |
| 0.24                 | 0.24±0.01 | 0.24±0.03          | 0.24±0.03        |
| 0.25                 | 0.25±0.01 | 0.25±0.03          | 0.25±0.04        |
| 0.26                 | 0.26±0.01 | 0.26±0.03          | 0.26±0.05        |
| 0.27                 | 0.27±0.01 | 0.27±0.03          | 0.27±0.06        |
| 0.28                 | 0.28±0.01 | 0.28±0.03          | 0.28±0.07        |
| 0.29                 | 0.29±0.01 | 0.29±0.03          | 0.29±0.08        |
| 0.30                 | 0.30±0.01 | 0.30±0.03          | 0.30±0.07        |
| 0.31                 | 0.31±0.01 | 0.31±0.04          | 0.31±0.06        |
| 0.32                 | 0.32±0.01 | 0.32±0.04          | 0.32±0.05        |
| 0.33                 | 0.33±0.01 | 0.33±0.04          | 0.33±0.04        |
| 0.34                 | 0.34±0.01 | 0.34±0.04          | 0.34±0.03        |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

| Continuación |           |                    |                  |
|--------------|-----------|--------------------|------------------|
| Valor        | Caudal    | Diámetro Calculado | Diámetro Nominal |
| 0.35         | 0.35±0.01 | 0.35±0.04          | 0.35±0.02        |
| 0.36         | 0.36±0.01 | 0.36±0.04          | 0.36±0.01        |
| 0.37         | 0.37±0.01 | 0.37±0.04          | 0.37-0.16        |
| 0.38         | 0.38±0.01 | 0.38±0.04          | 0.38+0.29        |
| 0.39         | 0.39±0.01 | 0.39±0.05          | 0.39±0.01        |
| 0.40         | 0.40±0.02 | 0.40±0.05          | 0.40±0.02        |
| 0.41         | 0.41±0.02 | 0.41±0.05          | 0.41±0.03        |
| 0.42         | 0.42±0.02 | 0.42±0.05          | 0.42±0.04        |
| 0.43         | 0.43±0.02 | 0.43±0.05          | 0.43±0.05        |
| 0.44         | 0.44±0.02 | 0.44±0.05          | 0.44±0.06        |
| 0.45         | 0.45±0.02 | 0.45±0.05          | 0.45±0.07        |
| 0.46         | 0.46±0.02 | 0.46±0.05          | 0.46±0.08        |
| 0.47         | 0.47±0.02 | 0.47±0.06          | 0.47±0.09        |
| 0.48         | 0.48±0.02 | 0.48±0.06          | 0.48±0.10        |
| 0.49         | 0.49±0.02 | 0.49±0.06          | 0.49±0.11        |
| 0.50         | 0.50±0.02 | 0.50±0.06          | 0.50±0.12        |
| 0.51         | 0.51±0.02 | 0.51±0.06          | 0.51±0.13        |
| 0.52         | 0.52±0.02 | 0.52±0.06          | 0.52±0.14        |
| 0.53         | 0.53±0.02 | 0.53±0.07          | 0.53±0.14        |
| 0.54         | 0.54±0.02 | 0.54±0.07          | 0.54±0.13        |
| 0.55         | 0.55±0.02 | 0.55±0.07          | 0.55±0.12        |
| 0.56         | 0.56±0.02 | 0.56±0.07          | 0.56±0.11        |
| 0.57         | 0.57±0.02 | 0.57±0.07          | 0.57±0.10        |
| 0.58         | 0.58±0.02 | 0.58±0.07          | 0.58±0.10        |
| 0.59         | 0.59±0.02 | 0.59±0.07          | 0.59±0.09        |
| 0.60         | 0.60±0.03 | 0.60±0.07          | 0.60±0.08        |
| 0.61         | 0.61±0.03 | 0.61±0.07          | 0.61±0.07        |
| 0.62         | 0.62±0.03 | 0.62±0.07          | 0.62±0.05        |
| 0.63         | 0.63±0.03 | 0.63±0.08          | 0.63±0.04        |
| 0.64         | 0.64±0.03 | 0.64±0.08          | 0.64±0.03        |
| 0.65         | 0.65±0.03 | 0.65±0.09          | 0.65±0.02        |
| 0.66         | 0.66±0.03 | 0.66±0.09          | 0.66±0.01        |
| 0.67         | 0.67±0.03 | 0.67±0.09          | 0.67-0.29        |
| 0.68         | 0.68±0.03 | 0.68±0.09          | 0.68+0.32        |
| 0.69         | 0.69±0.03 | 0.69±0.08          | 0.69±0.01        |
| 0.70         | 0.70±0.03 | 0.70±0.09          | 0.70±0.02        |
| 0.71         | 0.71±0.03 | 0.71±0.09          | 0.71±0.03        |
| 0.72         | 0.72±0.03 | 0.72±0.09          | 0.72±0.04        |
| 0.73         | 0.73±0.03 | 0.73±0.09          | 0.73±0.05        |



Continuación

| Valor | Caudal    | Diámetro Calculado | Diámetro Nominal |
|-------|-----------|--------------------|------------------|
| 0.74  | 0.74±0.03 | 0.74±0.09          | 0.74±0.06        |
| 0.75  | 0.75±0.03 | 0.75±0.09          | 0.75±0.07        |
| 0.76  | 0.76±0.03 | 0.76±0.09          | 0.76±0.08        |
| 0.77  | 0.77±0.03 | 0.77±0.09          | 0.77±0.09        |
| 0.78  | 0.78±0.03 | 0.78±0.10          | 0.78±0.10        |
| 0.79  | 0.79±0.03 | 0.79±0.10          | 0.79±0.11        |
| 0.80  | 0.80±0.04 | 0.80±0.10          | 0.80±0.12        |
| 0.81  | 0.81±0.04 | 0.81±0.10          | 0.81±0.13        |
| 0.82  | 0.82±0.04 | 0.82±0.10          | 0.82±0.14        |
| 0.83  | 0.83±0.04 | 0.83±0.10          | 0.83±0.15        |
| 0.84  | 0.84±0.04 | 0.84±0.10          | 0.84±0.16        |
| 0.85  | 0.85±0.04 | 0.85±0.10          | 0.85±0.15        |
| 0.86  | 0.86±0.04 | 0.86±0.11          | 0.86±0.14        |
| 0.87  | 0.87±0.04 | 0.87±0.11          | 0.87±0.13        |
| 0.88  | 0.88±0.04 | 0.88±0.11          | 0.88±0.12        |
| 0.89  | 0.89±0.04 | 0.89±0.11          | 0.89±0.11        |
| 0.90  | 0.90±0.04 | 0.90±0.10          | 0.90±0.10        |
| 0.91  | 0.91±0.04 | 0.91±0.09          | 0.91±0.09        |
| 0.92  | 0.92±0.04 | 0.92±0.08          | 0.92±0.08        |
| 0.93  | 0.93±0.04 | 0.93±0.07          | 0.93±0.07        |
| 0.94  | 0.94±0.04 | 0.94±0.07          | 0.94±0.07        |
| 0.95  | 0.95±0.04 | 0.95±0.05          | 0.95±0.05        |
| 0.96  | 0.96±0.04 | 0.96±0.04          | 0.96±0.04        |
| 0.97  | 0.97±0.03 | 0.97±0.03          | 0.97±0.03        |
| 0.98  | 0.98±0.02 | 0.98±0.02          | 0.98±0.02        |
| 0.99  | 0.99±0.01 | 0.99±0.01          | 0.99±0.01        |
| 1.00  | 1.00±0.00 | 1.00-0.12          | 1.00-0.32        |

Tabla 7.3-1. Valores de certidumbre obtenidos del análisis de incertidumbre con un 95% de confianza.

### 7.3.2 ANEXO # 3.2: ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE REALIZADO CON UN 80% DE CONFIANZA.

Certidumbre Obtenida

| Valor | Caudal    | Diámetro Calculado | Diámetro Nominal |
|-------|-----------|--------------------|------------------|
| 0.01  | 0.01±0.00 | 0.01+0.00          | 0.01+0.05        |
| 0.02  | 0.02±0.00 | 0.02±0.01          | 0.02±0.01        |
| 0.03  | 0.03±0.00 | 0.03±0.01          | 0.03±0.02        |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

| 0.04         | 0.04±0.00 | 0.04±0.01          | 0.04±0.02        |
|--------------|-----------|--------------------|------------------|
| Continuación |           |                    |                  |
| Valor        | Caudal    | Diámetro Calculado | Diámetro Nominal |
| 0.05         | 0.05±0.01 | 0.05±0.02          | 0.05±0.01        |
| 0.06         | 0.06±0.01 | 0.06±0.02          | 0.06-0.05        |
| 0.07         | 0.07±0.01 | 0.07±0.03          | 0.07+0.13        |
| 0.08         | 0.08±0.01 | 0.08±0.03          | 0.08±0.01        |
| 0.09         | 0.09±0.01 | 0.09±0.04          | 0.09±0.02        |
| 0.10         | 0.10±0.02 | 0.10±0.04          | 0.10±0.03        |
| 0.11         | 0.11±0.02 | 0.11±0.05          | 0.11±0.04        |
| 0.12         | 0.12±0.02 | 0.12±0.05          | 0.12±0.05        |
| 0.13         | 0.13±0.02 | 0.13±0.06          | 0.13±0.06        |
| 0.14         | 0.14±0.02 | 0.14±0.06          | 0.14±0.06        |
| 0.15         | 0.15±0.03 | 0.15±0.06          | 0.15±0.05        |
| 0.16         | 0.16±0.03 | 0.16±0.07          | 0.16±0.04        |
| 0.17         | 0.17±0.03 | 0.17±0.07          | 0.17±0.03        |
| 0.18         | 0.18±0.03 | 0.18±0.08          | 0.18±0.02        |
| 0.19         | 0.19±0.03 | 0.19±0.08          | 0.19±0.01        |
| 0.20         | 0.20±0.04 | 0.20±0.09          | 0.20-0.13        |
| 0.21         | 0.21±0.04 | 0.21±0.09          | 0.21+0.16        |
| 0.22         | 0.22±0.04 | 0.22±0.10          | 0.22±0.01        |
| 0.23         | 0.23±0.04 | 0.23±0.10          | 0.23±0.02        |
| 0.24         | 0.24±0.04 | 0.24±0.10          | 0.24±0.03        |
| 0.25         | 0.25±0.05 | 0.25±0.11          | 0.25±0.04        |
| 0.26         | 0.26±0.05 | 0.26±0.11          | 0.26±0.05        |
| 0.27         | 0.27±0.05 | 0.27±0.12          | 0.27±0.06        |
| 0.28         | 0.28±0.05 | 0.28±0.12          | 0.28±0.07        |
| 0.29         | 0.29±0.05 | 0.29±0.13          | 0.29±0.08        |
| 0.30         | 0.30±0.06 | 0.30±0.13          | 0.30±0.07        |
| 0.31         | 0.31±0.06 | 0.31±0.14          | 0.31±0.06        |
| 0.32         | 0.32±0.06 | 0.32±0.14          | 0.32±0.05        |
| 0.33         | 0.33±0.06 | 0.33±0.15          | 0.33±0.04        |
| 0.34         | 0.34±0.06 | 0.34±0.15          | 0.34±0.03        |
| 0.35         | 0.35±0.07 | 0.35±0.15          | 0.35±0.02        |
| 0.36         | 0.36±0.07 | 0.36±0.16          | 0.36±0.01        |
| 0.37         | 0.37±0.07 | 0.37±0.16          | 0.37-0.16        |
| 0.38         | 0.38±0.07 | 0.38±0.17          | 0.38+0.29        |
| 0.39         | 0.39±0.07 | 0.39±0.17          | 0.39±0.01        |
| 0.40         | 0.40±0.08 | 0.40±0.18          | 0.40±0.02        |
| 0.41         | 0.41±0.08 | 0.41±0.18          | 0.41±0.03        |
| 0.42         | 0.42±0.08 | 0.42±0.19          | 0.42±0.04        |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

| 0.43         | 0.43±0.08 | 0.43±0.19          | 0.43±0.05        |
|--------------|-----------|--------------------|------------------|
| Continuación |           |                    |                  |
| Valor        | Caudal    | Diámetro Calculado | Diámetro Nominal |
| 0.44         | 0.44±0.08 | 0.44±0.19          | 0.44±0.06        |
| 0.45         | 0.45±0.09 | 0.45±0.20          | 0.45±0.07        |
| 0.46         | 0.46±0.09 | 0.46±0.2           | 0.46±0.08        |
| 0.47         | 0.47±0.09 | 0.47±0.21          | 0.47±0.09        |
| 0.48         | 0.48±0.09 | 0.48±0.21          | 0.48±0.1         |
| 0.49         | 0.49±0.09 | 0.49±0.22          | 0.49±0.11        |
| 0.50         | 0.50±0.10 | 0.50±0.22          | 0.50±0.12        |
| 0.51         | 0.51±0.10 | 0.51±0.23          | 0.51±0.13        |
| 0.52         | 0.52±0.10 | 0.52±0.23          | 0.52±0.14        |
| 0.53         | 0.53±0.10 | 0.53±0.23          | 0.53±0.14        |
| 0.54         | 0.54±0.10 | 0.54±0.24          | 0.54±0.13        |
| 0.55         | 0.55±0.11 | 0.55±0.24          | 0.55±0.12        |
| 0.56         | 0.56±0.11 | 0.56±0.25          | 0.56±0.11        |
| 0.57         | 0.57±0.11 | 0.57±0.25          | 0.57±0.10        |
| 0.58         | 0.58±0.11 | 0.58±0.26          | 0.58±0.10        |
| 0.59         | 0.59±0.11 | 0.59±0.26          | 0.59±0.09        |
| 0.60         | 0.60±0.12 | 0.60±0.27          | 0.60±0.08        |
| 0.61         | 0.61±0.12 | 0.61±0.27          | 0.61±0.07        |
| 0.62         | 0.62±0.12 | 0.62±0.28          | 0.62±0.05        |
| 0.63         | 0.63±0.12 | 0.63±0.28          | 0.63±0.04        |
| 0.64         | 0.64±0.12 | 0.64±0.28          | 0.64±0.03        |
| 0.65         | 0.65±0.13 | 0.65±0.29          | 0.65±0.02        |
| 0.66         | 0.66±0.13 | 0.66±0.29          | 0.66±0.01        |
| 0.67         | 0.67±0.13 | 0.67±0.3           | 0.67-0.29        |
| 0.68         | 0.68±0.13 | 0.68±0.3           | 0.68+0.32        |
| 0.69         | 0.69±0.13 | 0.69±0.31          | 0.69±0.01        |
| 0.70         | 0.70±0.14 | 0.70±0.3           | 0.70±0.02        |
| 0.71         | 0.71±0.14 | 0.71±0.29          | 0.71±0.03        |
| 0.72         | 0.72±0.14 | 0.72±0.28          | 0.72±0.04        |
| 0.73         | 0.73±0.14 | 0.73±0.27          | 0.73±0.05        |
| 0.74         | 0.74±0.14 | 0.74±0.26          | 0.74±0.06        |
| 0.75         | 0.75±0.15 | 0.75±0.25          | 0.75±0.07        |
| 0.76         | 0.76±0.15 | 0.76±0.24          | 0.76±0.08        |
| 0.77         | 0.77±0.15 | 0.77±0.23          | 0.77±0.09        |
| 0.78         | 0.78±0.15 | 0.78±0.22          | 0.78±0.10        |
| 0.79         | 0.79±0.15 | 0.79±0.21          | 0.79±0.11        |
| 0.80         | 0.80±0.16 | 0.80±0.20          | 0.80±0.12        |
| 0.81         | 0.81±0.16 | 0.81±0.19          | 0.81±0.13        |



AUTOMATIZACIÓN DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE  
ALCANTARILADO

| 0.82         | 0.82±0.16     | 0.82±0.18                 | 0.82±0.14               |
|--------------|---------------|---------------------------|-------------------------|
| Continuación |               |                           |                         |
| <b>Valor</b> | <b>Caudal</b> | <b>Diámetro Calculado</b> | <b>Diámetro Nominal</b> |
| 0.83         | 0.83±0.16     | 0.83±0.17                 | 0.83±0.15               |
| 0.84         | 0.84±0.16     | 0.84±0.16                 | 0.84±0.16               |
| 0.85         | 0.85±0.15     | 0.85±0.15                 | 0.85±0.15               |
| 0.86         | 0.86±0.14     | 0.86±0.14                 | 0.86±0.14               |
| 0.87         | 0.87±0.13     | 0.87±0.13                 | 0.87±0.13               |
| 0.88         | 0.88±0.12     | 0.88±0.12                 | 0.88±0.12               |
| 0.89         | 0.89±0.11     | 0.89±0.11                 | 0.89±0.11               |
| 0.90         | 0.90±0.10     | 0.90±0.10                 | 0.90±0.10               |
| 0.91         | 0.91±0.09     | 0.91±0.09                 | 0.91±0.09               |
| 0.92         | 0.92±0.08     | 0.92±0.08                 | 0.92±0.08               |
| 0.93         | 0.93±0.07     | 0.93±0.07                 | 0.93±0.07               |
| 0.94         | 0.94±0.07     | 0.94±0.07                 | 0.94±0.07               |
| 0.95         | 0.95±0.05     | 0.95±0.05                 | 0.95±0.05               |
| 0.96         | 0.96±0.04     | 0.96±0.04                 | 0.96±0.04               |
| 0.97         | 0.97±0.03     | 0.97±0.03                 | 0.97±0.03               |
| 0.98         | 0.98±0.02     | 0.98±0.02                 | 0.98±0.02               |
| 0.99         | 0.99±0.01     | 0.99±0.01                 | 0.99±0.01               |
| 1.00         | 1.00±0.00     | 1.00-0.45                 | 1.00-0.32               |

Tabla 7.3-2. Valores de certidumbre obtenidos del análisis de incertidumbre con un 80% de confianza.