



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
DEL RÍO TOMBAMBA MEDIANTE FORMULAS
EMPÍRICAS**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

Autores:
DAYANARA XIMENA MARTÍNEZ RAMÍREZ
HERNÁN AMBROSIO SOLANO GONZÁLEZ

Director:
CARLOS JAVIER FERNANDEZ DE CORDOVA WEBSTER

Cuenca – Ecuador
2020

DEDICATORIA

A Dios

Que siempre me cuida y protege bajo su manto, el que ha hecho que no me falte nada y me ha dado salud para poder cumplir con esta meta.

A mi Zoilita

A ella este trabajo de tesis, que sé que desde el cielo me cuida y comparte mi felicidad, sé que ella no quiere que me conforme y que vaya por más metas.

A mi Ivonchis

Una estrella más en el cielo, ella que me alentaba a seguir en momentos difíciles, la que creyó en mí. Lo conseguimos hermana mía.

A mi papá Geovanny

A quien admiro y respeto mucho por su inteligencia y profesionalismo al momento de trabajar, a usted este y cada uno de las metas que cumpla, gracias por ser ese ejemplo de responsabilidad, dedicación, humildad, gracias por el apoyo y el amor incondicional que me ha dado. Gracias por permitirme ser una profesional, gracias por tanto papa.

A mi mamá Patricia

Por enseñarme que nada es un impedimento para lograr nuestras metas, por darme coraje para seguir luchando por lo que quiero, gracias por esa preocupación, amor y apoyo, a usted esta y cada meta que logre. Gracias por tanto mama.

A mi hermano Paúl

Soy una orgullosa hermana, gracias por la ayuda y la paciencia, estoy segura de que ambos vamos a hacer cosas grandes en esta vida,

A mis amigas y compañeros

Gracias por estar en las buenas y en las malas, se han convertido en una familia para mí, gracias por todo.

Dayanara Martínez Ramírez

DEDICATORIA

A mi madre

Por todos los años que te has sacrificado, no solamente trabajando 8 horas diarias en un trabajo normal, sino por venir y seguir manteniendo un hogar, por acostarte a la 2 am y levantarte a las 5am sin demostrar nunca ningún signo de cansancio , ni ninguna queja . La vida te debe muchas cosas madre y espero poder retribuirte con mi profesión gran parte de ellas.

A mi Abuelo

Muchos recuerdo llegan a mi mente, desde que me acompañabas a la escuela y luego a cada uno de los entrenamientos durante tanto años, me enseñaste el valor de la responsabilidad, del esfuerzo, de la dedicación, de la puntualidad, que todo se puede conseguir si eres perseverante. Sé que no importa cuántas veces fracase en mi vida siempre estarás ahí en mi corazón y mente. Todo mi esfuerzo, todo mi trabajo y dedicación siempre serán para ti

Hernán Solano González

AGRADECIMIENTO

La presente tesis se pudo realizar de inicio a fin, gracias a Dios quien nos mantuvo bajo su protección.

A la Universidad del Azuay por ser una institución con educación de calidad, la cual nos permitió cumplir con nuestro objetivo de ser profesionales, a todos los profesores que nos ayudaron en este largo camino y que nos impartieron sus conocimientos como profesionales y sin ningún egoísmo.

A nuestro director de tesis, el Ing. Carlos Javier Fernández de Córdoba, profesional de mucha valía, de quien recibimos los conocimientos y el apoyo para cumplir con nuestro objetivo, quien es digno es digno de nuestra admiración y respeto.

A nuestros tutores de tesis: el Ing. Josué Larriva y la Ing. María Belén Arévalo, excelentes profesionales, quienes con su conocimiento han ha aportado, en este sueño de ser Ingenieros.

A nuestros compañeros universitarios, que se han convertido en familia para nosotros, por los buenos y malos momentos, por la ayuda y el apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN:	ix
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.1.1 Antecedentes	2
1.1.2 Justificación	2
1.1.3 Alcance	3
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
CAPITULO 2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACION EN CAMPO	6
2.1 Área de Estudio	6
2.2 Definiciones	10
2.2.1 Elementos Geométricos de un Canal	10
2.2.2 Diámetro Característico	11
2.2.3 Levantamiento Topográfico	12
2.3 Determinación de secciones y perfiles transversales	16
2.3.1 Introducción	16
2.4 Determinación del área y perímetro mojado en cada una de las secciones.	28
2.4.1 Introducción	28
2.5 Determinación del Nivel Máximo de Crecida N.M.C	30
2.5.1 Introducción	30
2.6 Determinación de los diámetros característicos (d90 d84 d65 d50)	32
2.6.1 Introducción	32
2.6.2 Comandos de Adobe Photoshop CS6	32
2.6.3 Creación de las fotografías a 90° mediante Adobe Photoshop CS6	33
2.6.4 Comandos Generales de AutoCAD	38
2.6.5 Factor de Corrección	44
2.6.6 Tabulación de la Información	45
CAPITULO 3: FORMULAS Y MÉTODOS DE CÁLCULO	46
3.1 Coeficiente de Rugosidad	46
3.1.1 Definición	46
3.1.2 Factores que afectan al coeficiente de rugosidad	47
3.2 Métodos Aplicados	50
3.3 Métodos no aplicados	54

CAPITULO 4: OBTENCION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	58
4.1 Introducción.....	58
4.2 Resultados del Coeficiente de Rugosidad para las estaciones	58
4.2.1 Puente Restaurante Dos Chorreras.....	58
4.2.2 Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional	61
4.2.3 Puente Peatonal Facultad de Medicina	64
4.3 Ejemplo del Cálculo del Coeficiente de Rugosidad.....	67
4.3.1 Puente Escalinata-Parque de la Madre.....	67
4.3.2 Puente Restaurante Las Cuevas	89
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA.....	102
ANEXOS.....	103
Anexo 1: Perfiles Transversales de las estaciones analizadas (Digital)	103
Anexo 2: Determinación del Coeficiente de Rugosidad de las Estaciones (Digital)	104
Anexo 3: Anexo 3 Manual del coeficiente de rugosidad a diferentes alturas del agua hasta el nivel máximo de crecida (Digital).....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Localización en el mapa de las 31 estaciones (Parte alta)	8
Figura 2.2 Localización en el mapa de las 31 estaciones (Parte baja).....	9
Figura 2.3 Corte longitudinal de la sección transversal	10
Figura 2.4 Elementos geométricos de un canal	11
Figura 2.5 Estación Total SOKKIA 620K.....	14
Figura 2.6 Cambio de Formato .xlsx a .txt	17
Figura 2.7 Visualización de la extensión .txt.....	17
Figura 2.8 Importación de puntos al programa CivilCad 3D	18
Figura 2.9 Creación del grupo de puntos Puente El Vergel	19
Figura 2.10 Ingreso de puntos al programa CivilCad 3D 2019.....	20
Figura 2.11 Unión de los puntos mediante el comando 3DPOLY	21
Figura 2.12 Proceso para la creación de un perfil transversal.....	22
Figura 2.13 Selección de la opción crear un perfil a partir de una polilínea 3d	22
Figura 2.14 Selección de la escala para el perfil transversal.....	23
Figura 2.15 Perfil Transversal Aguas Arriba Puente El vergel Escala 1:1.....	23
Figura 2.16 Perfil Transversal Aguas Arriba Puente El vergel Escala 10:1.....	24
Figura 2.17 Proceso para la creación de la retícula de un perfil transversal	25
Figura 2.18 Selección del perfil transversal para la creación de la retícula	25
Figura 2.19 Cuadro de Configuración de la retícula del perfil transversal.....	26
Figura 2.20 Retícula del perfil transversal Escala 1:1.....	26

Figura 2.21	Retícula del perfil transversal escala 10:1	27
Figura 2.22	Comparación de la cota más baja del valle de inundación	28
Figura 2.23	Creación del área y perímetro mojado.....	28
Figura 2.24	Visualización del área y perímetro mojado	29
Figura 2.25	Área y perímetro mojado correspondiente al perfil aguas arriba Puente El Vergel	29
Figura 2.26	Puntos Ordenanos Ascendente	30
Figura 2.27	Puntos Ordenandos Ascendentemente en función de su cota	31
Figura 2.28	Proceso para la obtención del nivel máximo de crecida	31
Figura 2.29	Interfaz del Programa.....	33
Figura 2.30	Abrir Fotografías de la sección	33
Figura 2.31	Selección de fotografías correspondientes a la sección	34
Figura 2.32	Selección de una sola capa	34
Figura 2.33	Creación de lienzo.....	35
Figura 2.34	Espacio de trabajo en el lienzo	35
Figura 2.35	Unión de fotografías.....	36
Figura 2.36	Fotografías acopladas a un solo lienzo	37
Figura 2.37	Creación de una sola capa para la fotografía	37
Figura 2.38	Fotografía creada de la sección transversal del rio	38
Figura 2.39	Comando Ortogonal.....	38
Figura 2.40	Estilo de Cota creado "Diámetro de Piedras.....	39
Figura 2.41	Comando Acotar	39
Figura 2.42	Comando Línea Múltiples	40
Figura 2.43	Importación de la fotografía creada en Photoshop a CivilCad.....	41
Figura 2.44	Regleta de referencia de sesenta centímetros	41
Figura 2.45	Fotografía Escalada.....	42
Figura 2.46	Sección Aguas Arriba Puente Coliseo.....	43
Figura 2.47	Sección Aguas Arriba Puente Coliseo.....	43
Figura 2.48	Factor de Corrección por Franjas	44
Figura 2.49	Ejemplo Piedra medida en campo para Factor de Corrección por franja.....	45
Figura 3.1	Variación del valor de n con el nivel medio o la profundidad (Chow, 1994)	49
Figura 3.2	Valores de n para varios niveles en el rio Nishnabotna, Iowa (Chow, 1994)	50
Figura 3.3	Valores a seleccionar mediante el método de Cowan (Chow, 1994).....	55
Figura 3.4	Valores de n de Ven Te Chow (Chow, 1994).....	56
Figura 3.5	Valores de n según características del de canal (Chow, 1994)	57
Figura 3.6	Valores de n según características del de canal (Chow, 1994)	57
Figura 4.1	Foto General del Puente Restaurante Dos Chorreras.....	59
Figura 4.2	Foto Aguas Arriba del Puente Restaurante Dos Chorreras	60
Figura 4.3	Foto Aguas Abajo del Puente Restaurante Dos Chorreras.....	60
Figura 4.4	Foto General del Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional	62

Figura 4.5 Foto Aguas Arriba del Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional	63
Figura 4.6 Foto Aguas Abajo del Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional	63
Figura 4.7 Foto General del Puente Peatonal Facultad de Medicina	65
Figura 4.8 Foto Aguas Arriba del Puente Peatonal Facultad de Medicina.....	66
Figura 4.9 Foto Aguas Abajo del Puente Peatonal Facultad de Medicina	66
Figura 4.10 Perfiles y secciones transversales Puente Escalinata-Parque de la madre	88
Figura 4.11 Perfiles y secciones transversales Puente Restaurante Las Cuevas	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Número y Nombre de estación	4
Tabla 2.1 Coordenadas de las Estaciones	7
Tabla 2.2 Factor de Corrección por franja	44
Tabla 4.1: Diámetros de la estación Escalinata-Parque de la Madre y diámetro característico (D90)	76
Tabla 4.2 Diámetros Característicos D84 D65 y D50 (m) del puente Escalinata-Parque de la Madre	85
Tabla 4.3 Diámetros característicos D90 D84 D65 D50 para el puente escalinata – parque de la madre	86
Tabla 4.4 Coeficiente de Rugosidad Puente Escalinata Parque de La Madre	87
Tabla 4.5: Diámetros de la estación Puente Restaurante Las Cuevas y diámetro característico (D90).....	91
Tabla 4.6 Diámetros Característicos D84 D65 y D50 (m) del puente Restaurante Las Cuevas	94
Tabla 4.7 Diámetros característicos D90 D84 D65 D50 para el puente Restaurante Las Cuevas	94
Tabla 4.8 Coeficiente de Rugosidad Puente Restaurante Las Cuevas	95
Tabla 4.9 Coeficiente de Rugosidad del Rio Tomebamba.....	97
Tabla 4.10 Coeficiente de rugosidad para distintas alturas de agua Puente Escalinata-parque de la Madre.	99

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DEL RIO TOMBAMBA MEDIANTE FORMULAS EMPIRICAS

RESUMEN:

Cuenca es una ciudad atravesada por cuatro ríos, siendo el más importante el río Tomebamba, en el mismo se han realizado muy pocos estudios hidrológicos e hidráulicos para su correcto control y monitoreo, aumentando así la vulnerabilidad ante desbordamientos de este curso de agua. Este estudio consiste en obtener el coeficiente de rugosidad para treinta y un estaciones establecidas a lo largo del río Tomebamba, mediante el uso de diferente formulas empíricas que se encuentran en función de parámetros como el diámetro característico, área mojada y perímetro mojado, generando información valiosa de este parámetro tan importante de la modelación hidráulica.

Palabras Claves: coeficiente de rugosidad, área mojada, perímetro mojado, radio hidráulico, diámetro característico.



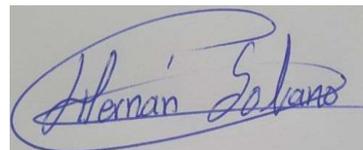
Javier Fernández de Córdova Webster
Director del trabajo de titulación



José Vásquez Calero
Director de Escuela



Dayanara Ximena Martínez Ramírez
Autor



Hernán Ambrosio Solano González
Autor

DETERMINATION OF ROUGHNESS COEFFICIENT OF TOMBAMBA RIVER BY MEANS OF EMPIRICAL FORMULAS.

ABSTRACT

Cuenca is a city which is crossed by four rivers being the most important the Tombamba which has been done so little hydraulic and hydrological studies in order to get a correct control and monitoring, so increasing the vulnerability before overflow of its fluid water. This work consist of getting roughness coefficient for thirty –one stations established in the long run of the Tombamba river by means of using different and empirical formulas that are located in function of parameters such as characteristic diameter, wet areas and parameter, generating valuable data of this principal parameter of the hydraulic modeling.

keywords: roughness coefficient, wet area, wet perimeter, hydraulic radio, characteristic diameter.



Javier Fernández de Córdova Webster
Director del trabajo de titulación



José Vásquez Calero
Director de Escuela



Dayanara Ximena Martínez Ramírez
Autor



Hernán Ambrosio Solano González
Autor

Translated by



CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Cuenca, Santa Ana de los cuatro Ríos, es una ciudad que se vio favorecida al estar atravesada por los ríos: Tomebamba, Tarqui, Yanuncay y Machángara. Ante tantos cursos de agua, los estudios hidrológicos e hidráulicos son necesarios para un adecuado control y monitoreo.

El río Tomebamba es el mayor de los cuatro cursos de agua, nace en el parque nacional Cajas situado a 3600 metros sobre el nivel del mar, bordea el Centro Histórico de la ciudad hasta unirse con el río Yanuncay a la altura del parque El Paraíso. Son muy pocos los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados en este importante río y no se conoce de manera explícita y exacta el coeficiente de rugosidad, importante factor de la modelación hidráulica de un cauce que afecta directamente en la confiabilidad de sus resultados.

Actualmente en la zona existen pocos estudios sobre este factor, por lo que se asumen valores de la literatura, los mismos que, probablemente han sido calculados en ríos con distintas características, lo que genera que los resultados de la modelación hidráulica no reflejen el comportamiento real.

En esta monografía se busca obtener el coeficiente de rugosidad del río Tomebamba, desde el Parque Nacional El Cajas hasta su unión con el río Yanuncay, sector Empresa Eléctrica.

Los valores que se obtendrán en esta investigación, se calcularán a partir de fórmulas empíricas, las mismas que arrojarán valores más cercanos a la realidad. Para el uso de las diferentes fórmulas empíricas, se necesita conocer diferentes parámetros hidráulicos como perímetro mojado, área mojada, radio hidráulico los cuales serán abordados más adelante, así también como las diferentes metodologías usadas para la obtención de los parámetros hidráulicos y de los diámetros presentes en el lecho del río.

Es importante que los estudios realizados por universidades en temas hidrológicos-hidráulicos, sigan en constante aumento y retro alimentación ya que son de gran interés y traen un aporte muy importante a la ciudad.

1.1.1 Antecedentes

El único estudio encontrado sobre el cálculo del coeficiente de rugosidad del río Tomebamba, fue realizado en el año de 1994 por la Universidad de Cuenca, denominado “Determinación de los coeficientes de rugosidad de los ríos que atraviesan la ciudad de Cuenca” En este estudio y para el río Tomebamba se tomó un solo punto de control (estación) el cual fue establecido en Monay, el trabajo realizó una evaluación de siete diferentes métodos, en los cuales aplicaron dos y descartaron cinco (Alvarez, 1994)

Entre los métodos utilizados se encuentra el método de Cowan, el cual consiste en aplicar un valor de n básico el cual corresponde a un canal simple y según una discretización de varios factores importantes como la rugosidad superficial, variaciones en forma y tamaño de la sección, obstrucciones, vegetación, condiciones de flujo, presencia de meandros se le da una corrección a este valor. Es un método bastante sencillo ya que sus valores son obtenidos mediante tablas de simple inspección.

El segundo método aplicado consiste en la colocación de molinetes en los puntos de control, los mismos que serán los encargados de realizar las diferentes mediciones de velocidad del cauce, finalmente se encuentra el valor de n aplicando la ecuación de rugosidad en términos de velocidad.

Se descartaron métodos como aplicación de fórmulas empíricas, métodos fotográficos de cálculo de rugosidades, método de ecuaciones de resistencia para lechos de ríos con grandes rugosidades, el método de Liashenko y el método de las rugosidades medias.

En el río Yanuncay se realizó un estudio para determinar el coeficiente de rugosidad, en la que su metodología consistía en 25 levantamientos topográficos de las secciones de los puentes que conforman el río, y la toma de fotografías perpendiculares al puente para la obtención de los diámetros, una vez que obtuvieron todos los parámetros hidráulicos: área mojada, perímetro mojado y área hidráulica, se aplicaron a fórmulas empíricas HEC-RAS, Meyer Peter – Müller, Limerinos, para obtener los coeficientes de rugosidad. (Martinez & Meneses, 2017)

1.1.2 Justificación

El río Tomebamba junto con el Yanuncay son que transportan mayor caudal de los cuatro que cruzan la ciudad de Cuenca, estos cursos de agua han provocado varios desbordamientos en diferentes zonas por lo que es de suma importancia realizar estudios hidrológicos e hidráulicos que ayuden a conocer el comportamiento de estos ríos. Por otro

lado, algunas edificaciones se han construido a pocos metros de las planicies de inundación generando así un gran peligro en el momento que se produzca un nivel de crecida alto en el río.

El coeficiente de rugosidad es el grado de resistencia que ofrecen las paredes y el fondo del canal al flujo del fluido, mientras más rugosa o áspera sean las paredes y el fondo del canal, más dificultad tendrá el fluido en desplazarse. Una de las formas de expresar el coeficiente de rugosidad es a través de la n de Manning que es estudiada en este trabajo mediante la aplicación de fórmulas empíricas.

El estudio del coeficiente de rugosidad del río Tomebamba es muy deficiente, esto dificulta su evaluación y conocer el comportamiento del río, por lo que se ha visto necesario realizar las investigaciones para estudiar el coeficiente de rugosidad.

Las fórmulas empíricas a utilizarse son: MEYER PETER Y MÜLLER, HEC-RAS, LIMERINOS, RAUDKIN, GARDE Y RAJU, JARRET las mismas que tienen como parámetros: área de drenaje, radio hidráulico, perímetro mojado y diámetros que se obtendrán en el campo. En conclusión, esta investigación se basa en la creación de tablas que contienen valores del coeficiente de rugosidad (n), a un nivel máximo de crecida y a diferentes alturas de agua.

1.1.3 Alcance

En esta monografía la información utilizada es la que se obtuvo en el campo de las siguientes estaciones establecidas.

Numero de Estación	Nombre
1	Puente río Quinuas (Entrada a la Virgen)
2	Puente antes entrada a la Virgen de El Cajas
3	Puente Restaurante Dos Chorreras
4	Puente Restaurante Reina del Cisne
5	Puente Restaurante Las Cuevas
6	Puente Chirimachay

7	Puente Restaurante Las Ollas
8	Puente Rio Matadero
9	Puente Entrada a Llaviucu
10	Puente Piscícola Los Andes
11	Puente Tomebamba DJ Mazan
12	Puente Av. Enrique Arízaga Toral (Medio Ejido - San Joaquín)
13	Puente Estación de Matadero en Sayausí (ETAPA)
14	Puente Unidad Educativa del Milenio
15	Puente Calle de la Pimienta
16	Puente Monseñor Leónidas Proaño y Av. Ordoñez Lasso
17	Puente Campus Balzay - U. de Cuenca
18	Puente Puertas del Sol
19	Puente Av. de las Américas
20	Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional
21	Puente Colegio Corazones
22	Puente Peatonal Otorongo
23	Puente del Vado
24	Puente Peatonal Universidad de Cuenca
25	Puente del Centenario
26	Puente Peatonal Hospital Militar
27	Puente Escalinata-Parque de la Madre
28	Puente Todos Santos
29	Puente El Vergel
30	Puente Hospital Vicente Corral Moscoso
31	Puente Peatonal Facultad de Medicina

Tabla 1.1 Número y Nombre de estación

1.1.4 Procesamiento

El coeficiente de rugosidad (n), se calculó con la altura máxima de crecida registrada en cada estación, la cual está formada por dos secciones (aguas arriba y aguas abajo de cada puente). Los datos obtenidos son exclusivamente del lugar de estudio, los cuales fueron aclarados y calculados mediante programas como: Microsoft Excel, Adobe Photoshop CC 2018 y AutoCAD Civil 3D 2019, los resultados se presentaron en tablas de coeficiente de rugosidad.

Se realizó también una tabla con distintos coeficientes de rugosidad por cada estación, la cual tiene diferentes alturas de crecida que se originan a lo largo del año. Las alturas de agua varían cada cincuenta centímetros hasta el nivel máximo de crecida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el coeficiente de rugosidad de Manning (n) para el río Tomebamba mediante las fórmulas empíricas de Meyer-Peter y Müller, Raudkin, Limerinos, Hec-Ras, Jarret, Garde y Raju.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y levantar la información (geométrica, topográfica) de cada puente.
- Obtener el número de piedras y sus respectivos diámetros.
- Aplicar las fórmulas empíricas con la información recolectada en campo.

CAPITULO 2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACION EN CAMPO

2.1 Área de Estudio

La ciudad de Cuenca se encuentra ubicada en las coordenadas 2° 53' 51'' S 79° 00' 16'' O con una altitud de 2550 m .s .n .m , es la capital de la provincia del Azuay , en ella se encuentra el río Tomebamba el cual pertenece a la cuenca hidrográfica del río Paute, esta cuenca se encuentra en la región austral del Ecuador, específicamente en los Andes Centro Sur, ubicada entre las cordilleras Oriental (límite este); Occidental de los Andes (límite oeste) y entre los nudos Curiquingue (límite norte) y de Portete (límite sur). Su superficie, es aproximadamente de 5000km². (Donoso Correa, 2002)

El rango de precipitaciones en la cuenca presenta variaciones especiales, bastante considerables y para los distintos años dentro de un lugar determinado. Por cantidad y distribución de las lluvias se puede diferenciar la cuenca en tres áreas que se han denominado cuenca alta, media y baja.

La parte del Parque Nacional Cajas tiene una distribución regular de la precipitación durante el año, la precipitación anual promedio es de 1257mm, en esta zona no se han puesto en evidencia los periodos secos, lo que se puede explicar por la presencia de lluvias orográficas en todo el año, por la ubicación alta. (PROMAS, 1998)

En la parte baja de la ciudad se presentan dos máximos de precipitaciones en los meses de abril y octubre con 128mm y 104 mm respectivamente y también dos mínimos en los meses de agosto 24mm y en enero 65mm (PROMAS, 1998)

ID	NOMBRE	NORTE	ESTE
1	Puente río Quinuas (Entrada a la Virgen)	9692603	701929
2	Puente antes entrada a la Virgen de El Cajas	9693054	702172
3	Puente Restaurante Dos Chorreras	9691832	703905
4	Puente Restaurante Reina del Cisne	9691414	704037
5	Puente Restaurante Las Cuevas	9689965	704879
6	Puente Chirimachay	9688660	705769
7	Puente Restaurante Las Ollas	9687767	706827
8	Puente Rio Matadero	9686956	707396
9	Puente Entrada a Llaviucu	9685568	708392
10	Puente Piscícola Los Andes	9684275	710977
11	Puente Tomebamba DJ Mazan	9682812	712650
12	Puente Av. Enrique Arízaga Toral	9681942	714182
13	Puente Estación de Matadero en Sayausí (ETAPA)	9681647	714605

14	Puente Unidad Educativa del Milenio	9681443	714823
15	Puente Calle de la Pimienta	9681176	715471
16	Puente Monseñor Leónidas Proaño	9680704	717239
17	Puente Campus Balzay - U. de Cuenca	9680370	718316
18	Puente Puertas del Sol	9680206	719073
19	Puente Av. de las Américas	9679920	719538
20	Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional	9680050	720210
21	Puente Colegio Corazones	9679741	720595
22	Puente Peatonal Otorongo	9679443	721014
23	Puente del Vado	9679406	721140
24	Puente Peatonal Universidad de Cuenca	9679301	721312
25	Puente del Centenario	9679064	721636
26	Puente Peatonal Hospital Militar	9679013	721782
27	Puente Escalinata-Parque de la Madre	9678920	721943
28	Puente Todos Santos	9678616	722291
29	Puente El Vergel	9678133	722788
30	Puente Hospital Vicente Corral Moscoso	9678169	722970
31	Puente Peatonal Facultad de Medicina	9678252	723244

Tabla 2.1 Coordenadas de las Estaciones



Figura 2.1 Localización en el mapa de las 31 estaciones (Parte alta)

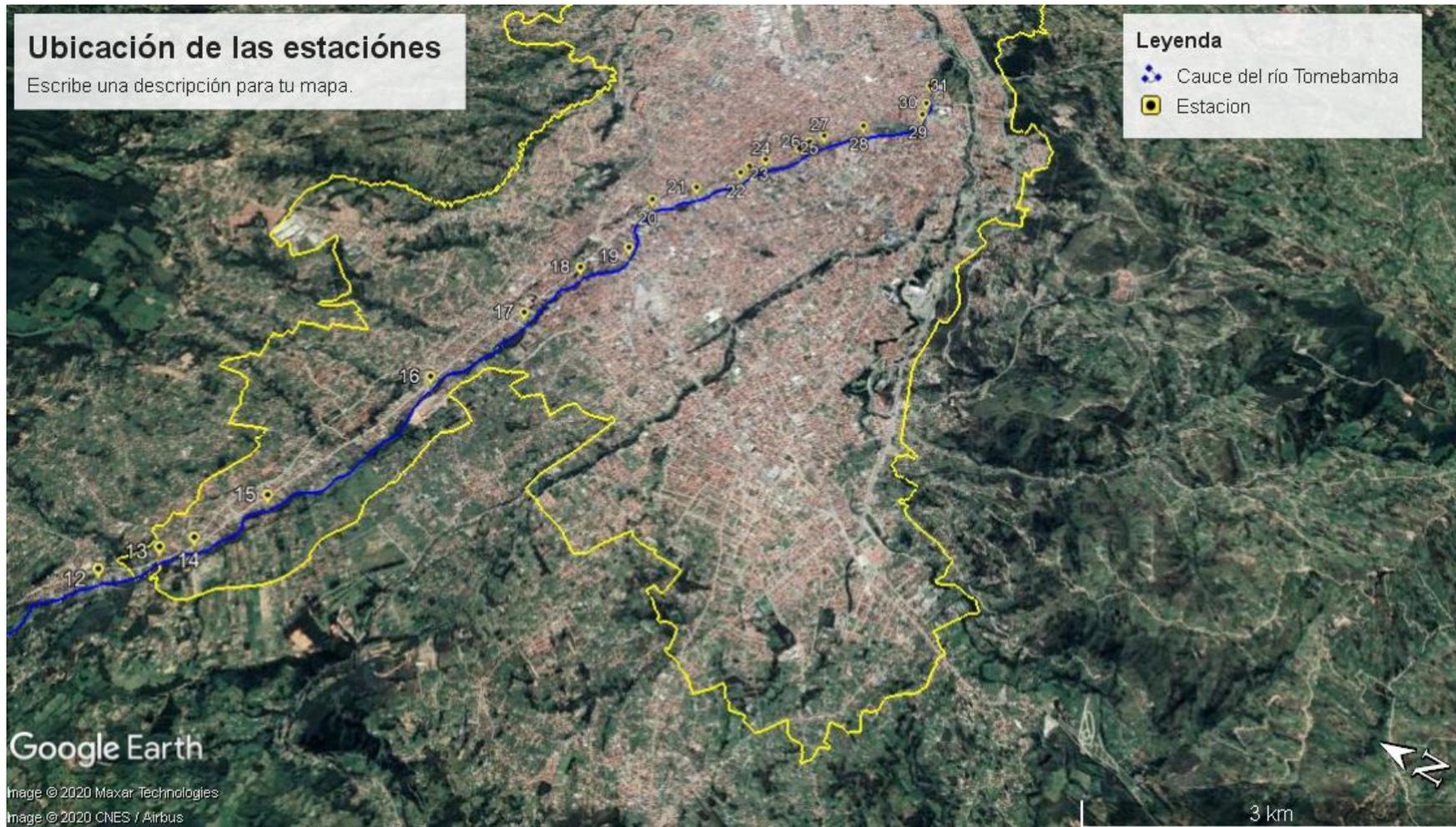


Figura 2.2 Localización en el mapa de las 31 estaciones (Parte baja)

2.2 Definiciones

2.2.1 Elementos Geométricos de un Canal

Geometría de un canal

En lo relativo a la geometría en el sentido longitudinal la pendiente de un canal (S_0) es el cociente del desnivel entre dos puntos sobre la plantilla y la distancia horizontal que los separa. De acuerdo con la figura la $S_0 = \text{tg}\theta$, donde θ es el ángulo de inclinación de la plantilla respecto a la horizontal. La sección de los canales naturales es de forma muy irregular y varía continuamente de un sitio a otro. Los artificiales con frecuencia se diseñan con secciones geométricas regulares, siendo la más común la trapezoidal. (Gilberto Sotelo Avila, 2002)

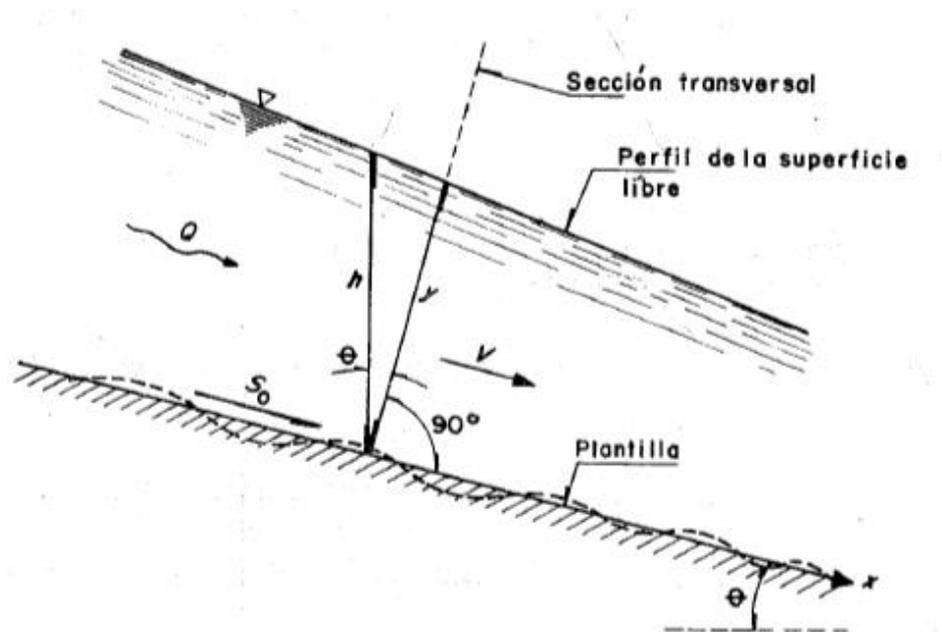


Figura 2.3 Corte longitudinal de la sección transversal

Elementos Geométricos de un canal

Tirante: Es la distancia perpendicular a la plantilla, medida desde el punto más bajo de la sección hasta la superficie libre del agua. Es decir, es normal a la coordenada x , algunos autores lo designan también con la letra d .

Ancho de superficie libre: Es el ancho T de la sección del canal, medido al nivel de la superficie libre.

Área hidráulica: Es el área A ocupada por el flujo en la sección del canal.

Es fácil observar que el incremento diferencial del área dA , producido por el incremento dy del tirante, es $dA = T dy$ y por lo tanto $T = dA/dy$.

Perímetro mojado: Es la longitud P de la línea de contacto entre el agua y las paredes del canal, es decir, no incluye a la superficie libre.

Radio hidráulico: Es el cociente del área hidráulica y el perímetro mojado.

$$\text{Radio Hidraulico} = \frac{\text{Area hidraulica}}{\text{Perimetro mojado}}$$

Tirante medio o tirante hidráulico: Es la relación Y entre el área hidráulica y el ancho de la superficie libre.

$$Y = \frac{A}{T}$$

Talud: Designa la inclinación de las paredes de la sección y corresponde a la distancia k recorrida horizontalmente desde un punto sobre la pared, para ascender la unidad de longitud a otro punto sobre la misma. Por lo general se expresa como $k: 1$.

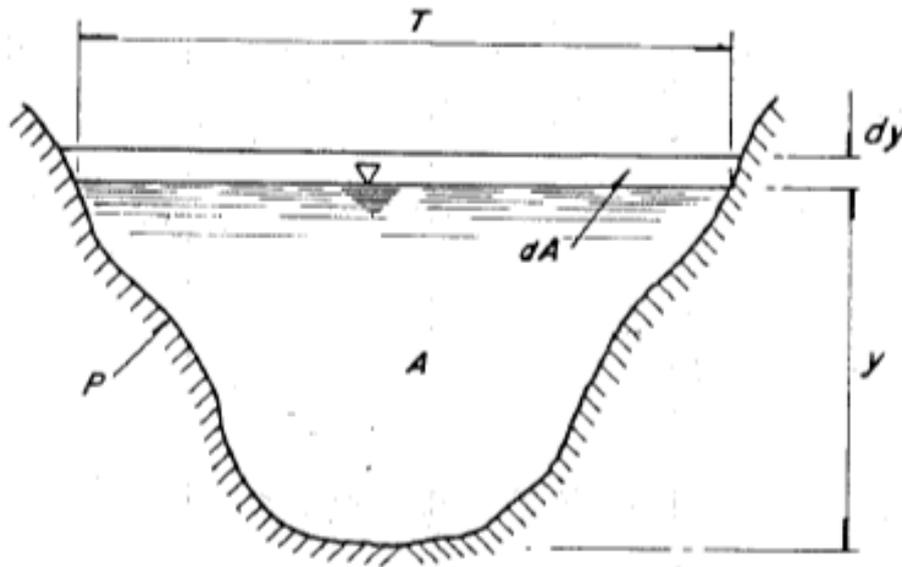


Figura 2.4 Elementos geométricos de un canal

2.2.2 Diámetro Característico

Se denomina diámetro característico, al diámetro (en metros), correspondiente al xx % gravimétrico de las partículas que componen el lecho en la curva de distribución

granulométrica (Fernández de Córdoba, 2019), este porcentaje dependerá de la fórmula empírica a utilizar. Dichos porcentajes son 90, 84, 65 y 50 por ciento. Este parámetro es de suma importancia, ya que para las fórmulas de Meyer Peter y Müller, Raudkin, Garde y Raju, el coeficiente de rugosidad se obtendrá sin un análisis del radio hidráulico, por lo que se encuentra simplemente en función del diámetro característico.

Una mala obtención de estos diámetros característicos pudiera ser muy perjudicial para los valores de n , ya que es directamente proporcional, por lo cual una mala interpretación pudiera llevar a resultados que no representan la realidad del cauce del río.

Para este estudio se trató de obtener un mínimo de doscientas piedras para cada sección analizada, aunque cabe recalcar que en estaciones en donde el número de piedras superó este mínimo establecido, se trabajó con lo obtenido en campo.

2.2.3 Levantamiento Topográfico

Introducción

Esta tesis tiene dos partes: la obtención de los diámetros mediante fotografías y el levantamiento topográfico de los puentes (estaciones) que conforman el río Tomebamba, los mismos que fueron obtenidos mediante la estación total SOKKIA modelo SET 620K, se localizaron treinta y un puentes a lo largo del río Tomebamba realizándose dos levantamientos, uno para aguas arriba y otro para aguas abajo, en cada una de estas se calcularon los parámetros hidráulicos necesarios para las fórmulas empíricas a utilizar.

Para realizar estos levantamientos topográficos se trabajó con caudales aproximados menores de $5\text{m}^3/\text{s}$ lo que asegura la integridad de la persona que ingresa al río. Los puntos fueron tomados de talud a talud con una separación entre puntos equivalente a un paso de una persona, para el cambio de estación de aguas arriba a aguas abajo o viceversa se procedió con su respectiva triangulación, lo que asegura una mejor precisión de los datos.

Definición

Se entiende por levantamiento topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera (Pachas, 2009).

Estación Total

Se conoce con este nombre al instrumento que integra en un solo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancia y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno. Entre las operaciones que realiza una estación total puede mencionarse: obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias, corrección electrónica de distancias por constante de prisma, presión atmosférica y temperatura, corrección por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontales y vertical, así como el cálculo de coordenadas de los puntos elevados. El manejo y control de sus funciones de la estación total se realiza por medio de la pantalla y del teclado (Pachas, 2009)

El modo de operar de una estación total es similar al de un teodolito electrónico, se comienza haciendo estación en el punto topográfico y luego se procede a la nivelación del aparato. Para iniciar las mediciones es necesario orientar la estación total previamente, para lo cual se requiera hacer estación en un punto de coordenadas conocidas y conocer un azimut de referencia. (Pachas, 2009)

A continuación, se dará una descripción de las especificaciones de la estación total modelo SET 620K utilizada en este trabajo:

Estación a prueba de polvo y agua , aumentos del lente de 26x , imagen directa , resolución de 1 segundo , distancia mínima focal de 1.3m con teclado y pantalla de cristal líquido (192 x 80 puntos) iluminable, con interface para comunicaciones con computadora estándar RS232C, compensador líquido de 2 ejes, lectura electrónica de ángulos de 6 segundos, con índice del ángulo horizontal seleccionable, memoria interna que permite registrar un máximo de 10000 puntos de medición (se puede crear hasta cincuenta

archivos de trabajo, la memoria interna puede almacenar hasta 80 códigos de 13 caracteres cada uno máximo para ser utilizados en cualquier momento) (Pachas, 2009)

Medición electrónica de distancias de 3000 metros con presión de 3mm+3ppm , además con 1 prisma en condiciones atmosféricas favorables con una resolución de 1 décima de milímetro, unidades de distancia seleccionable en metros o pies, corrección interna de la refracción y curvatura de la tierra seleccionable, corrección atmosférica y constante de prisma, telescopio completamente rotatable con iluminación de retícula , plomada óptica (3x), cálculo de coordenadas para rápida construcción del plano en AutoCAD, CivilCad y programas similares .



Figura 2.5 Estación Total SOKKIA 620K

Parámetros básicos para el levantamiento topográfico

Una vez realizado la nivelación de la estación, se procede a ingresar algunos datos los cuales son muy importantes para la correcta creación de cada uno de los puntos que conforma la sección transversal analizada , los cuales son: las coordenadas (norte, este) en sistema UTM WGS84, la cota o altura medida desde el nivel del mar (m.s.n.m) , la altura a la cual se encuentra la estación total con referencia a la estaca , así como también la altura del prisma, para este estudio se utilizó en la mayoría de levantamientos una altura de 1.60 m ya que como se conoce entre menor sea la altura del prisma, la precisión será mucho mejor, todos estos parámetros deben ser introducidos en la estación para posteriormente comenzar con la lectura de cada uno de los puntos.

Las coordenadas (norte, este) así como la cota desde el nivel del mar fueron obtenidas mediante un GPS Garmin (GPSMAP 64S) el cual tiene un error de más menos 3m en posición, es decir en coordenadas (norte, este). Es necesario que el GPS sea capaz de leer al menos cuatro satélites, ya que son los mínimos necesarios para calcular la latitud, altitud y longitud. En este estudio se aseguró de tener siempre un número mayor a cuatro satélites activados. Todas estas coordenadas fueron verificadas el momento de crear el mapa con cada uno de los puentes (estaciones).

La altura de la estación, se lo midió con un flexómetro, esta distancia va desde la cabeza de la estación hasta la marca en la estaca, se debe establecer una altura que sea cómoda para el topógrafo, ya que cada uno de los levantamientos toma aproximadamente entre dos a tres horas dependiendo de su dificultad, de esta forma una incorrecta altura puede ser muy incómoda en el momento de la lectura de los puntos.

Geometría del Puente

La geometría de los treinta y un puentes analizados consta de los siguientes parámetros: cota del puente medido desde el nivel del mar (m.s.n.m), altura del puente medido desde el punto más bajo de la sección, longitud del puente, longitud entre estribos y espesores que corresponden tanto al peralte de la viga, así como también al peralte de la losa, todos estos factores nos ayudan a realizar una mejor representación de los puentes en las secciones transversales. A continuación, se detalla cómo se obtuvieron cada uno de los parámetros mencionados.

La cota del puente medido desde el nivel de mar (m.s.n.m) se obtuvo mediante la estación total, se sacaron entre cuatro a seis puntos, los mismos que también sirvieron para calcular la longitud del puente, así como también la longitud de los estribos. Para la cota del puente se procedió a verificar sus valores con el GPS, en el cual se asumió un margen de error de entre más menos 3 metros, así también las distancias longitudinales fueron verificadas con una cinta métrica.

En cuanto a la altura del puente, se la consiguió mediante la diferencia que existía entre la cota de la estación y la cota correspondiente a un punto en el puente, ambas al estar referenciadas a un nivel cero en el nivel del mar, dará como resultado la altura del puente, así mismo también se procedió la verificación con una cinta métrica.

Para finalizar los espesores tanto de la viga como de la losa fueron medidos con una cinta métrica, ya que realizarlo mediante la estación y el prisma no resultaba factible. Recordando que todos estos parámetros mencionados son de mucha importancia para realizar las modelaciones hidráulicas pertinentes.

2.3 Determinación de secciones y perfiles transversales

2.3.1 Introducción

Las secciones transversales aguas arriba y aguas abajo en cada estación, así como los diferentes perfiles topográficos fueron obtenidos con el programa AutoCAD Civil 3D 2019, el cual es un potente software para computadora que sirve para el cálculo y diseño de infraestructura diversa, principalmente relacionado con el movimiento de tierras, topografía y redes de tuberías. Es un producto de AutoDesk por lo que comparte muchas herramientas con AutoCAD 2D y 3D, herramienta usada por muchos ingenieros y topógrafos.

Para la determinación de las secciones transversales así como sus perfiles, se debe seguir una serie de pasos, los cuales serán explicados a continuación: primero se necesita importar todos los puntos tomados con la estación total SOKKIA a una tabla de Excel , para poder realizar esta acción se necesita de un programa llamada sokkialink el cual permite importar los puntos y codificarlos según la conveniencia , la codificación tendrá que contener siempre la representación NEZ ,la cual significa, coordenada norte ,coordenada este y su elevación con respecto al nivel del mar, parámetros como la descripción o numeración de puntos quedan a libre criterio del topógrafo . Para este estudio se trabajó con la nomenclatura (PNEZD).

Una vez realizada la importación de los puntos desde la estación total a la tabla de Excel con su respectiva nomenclatura, esta deberá ser guardada como un formato de tipo texto (delimitado por tabulaciones) para que así el programa CivilCad 3D pueda reconocerlo.



Guardar como

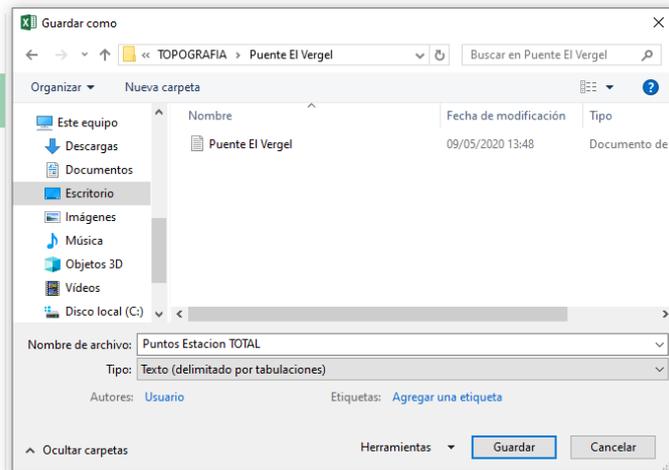
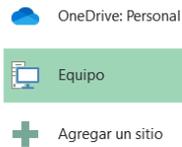


Figura 2.6 Cambio de Formato .xlsx a .txt

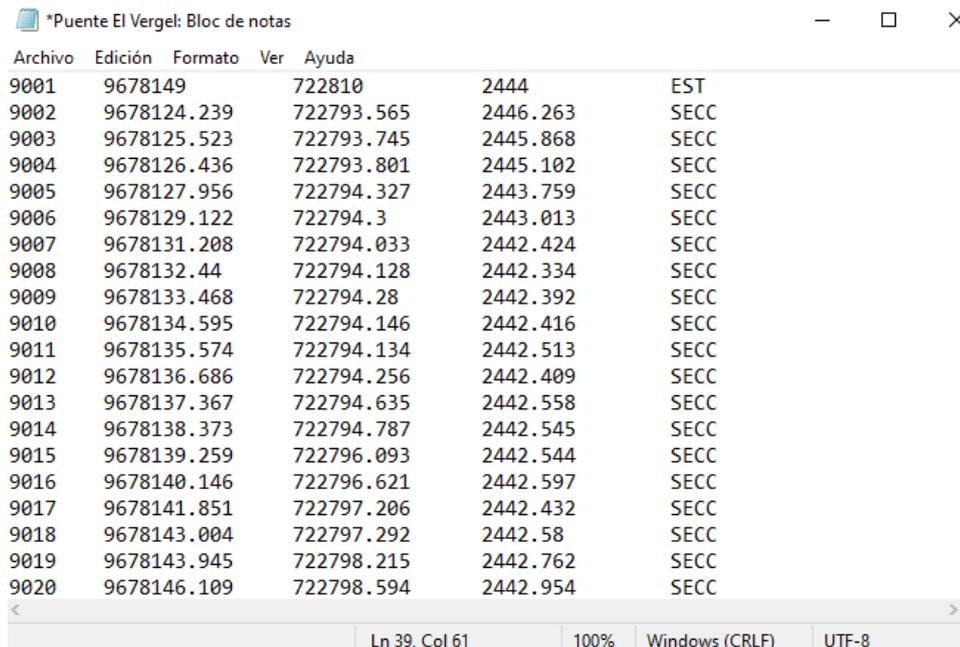


Figura 2.7 Visualización de la extensión .txt

Se procede a abrir el programa Civil Cad 3D, en el menú de herramientas y en el icono de puntos, se presiona clic derecho e importar puntos.

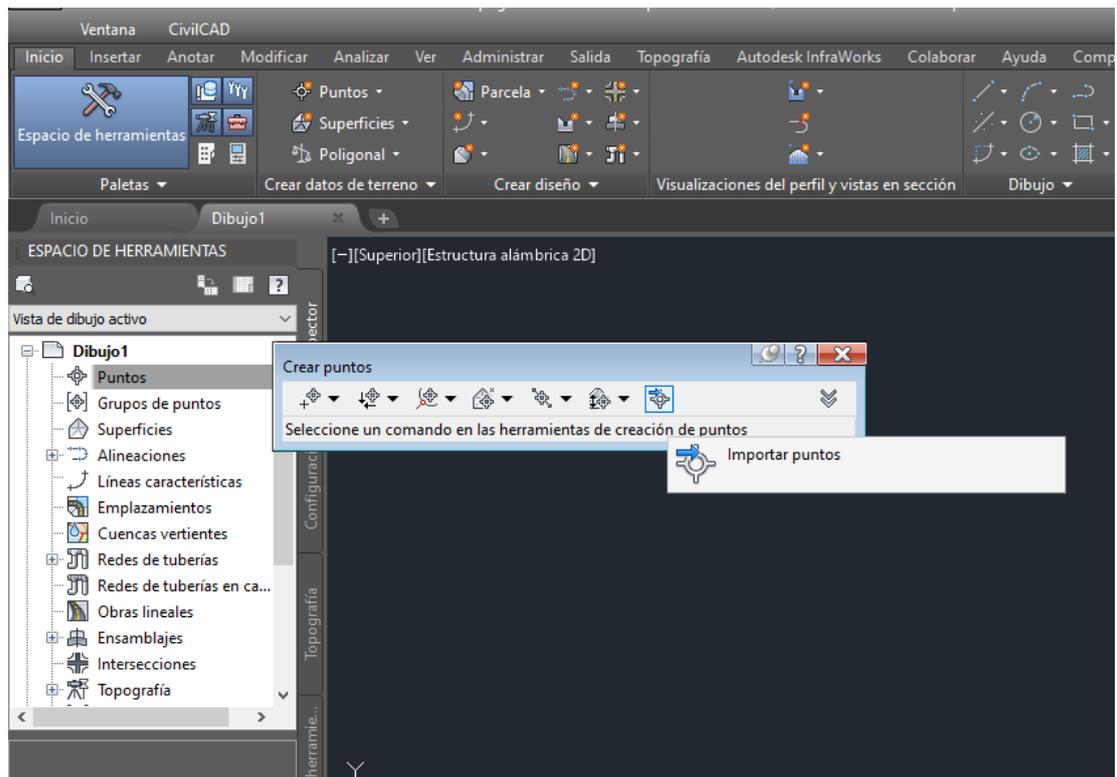


Figura 2.8 Importación de puntos al programa CivilCad 3D

Se desplegará una pantalla, en donde con el icono (+) se selecciona el archivo delimitado por tabulaciones, así como también se escoge la nomenclatura de nuestro trabajo, recordemos que la nuestra es (PNEZD), se aconseja crear un grupo de puntos con el nombre de cada estación, para posteriormente mediante un tipo de estilo ajustar el tamaño, color, simbología de cada punto, esto facilitará y hará del entorno de trabajo mucho más amigable.

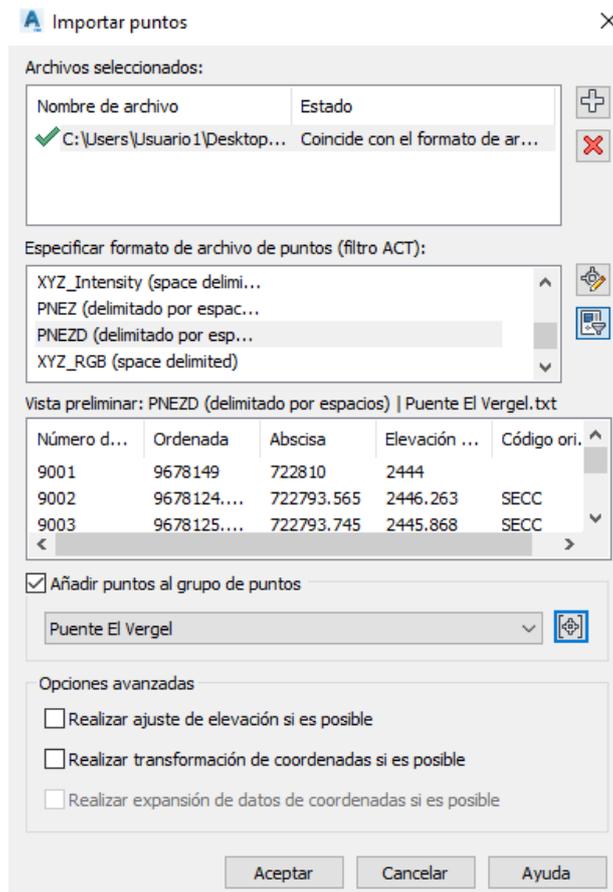


Figura 2.9 Creación del grupo de puntos Puente El Vergel

A continuación, se pueden observar los puntos importados, previamente se creó un estilo, mostrando e indicando solamente la numeración de cada punto y la descripción de los puntos que corresponden a la estación total, así como también se ajustó la simbología de cada punto con su respectivo texto y color, realizar todas estas acciones permitirá que en el momento de unión de los puntos sea mucho más fácil, así como también una visualización más limpia en el entorno de trabajo.

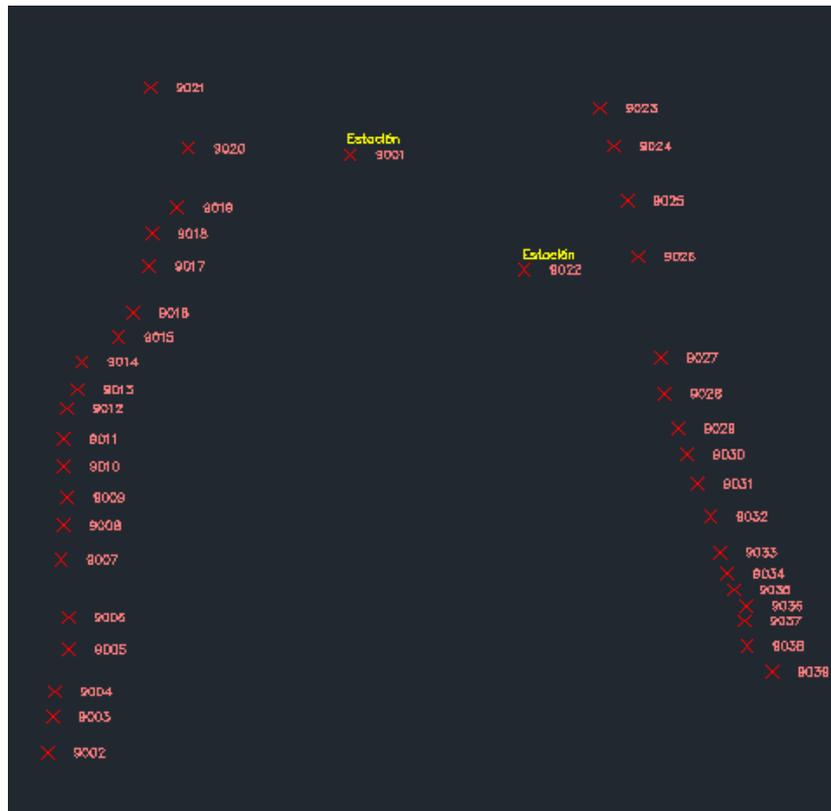


Figura 2.10 Ingreso de puntos al programa CivilCad 3D 2019

Para la creación de los perfiles, se necesita partir de una polilínea 3d, para esto se unen todos los puntos tanto aguas arriba como aguas abajo respectivamente mediante el comando “3DPOLY”

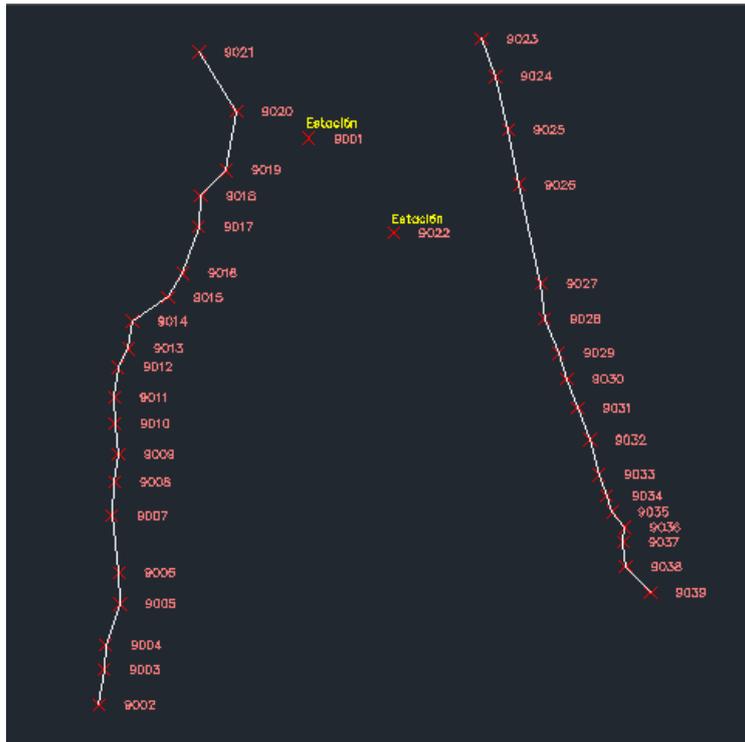


Figura 2.11 Unión de los puntos mediante el comando 3DPOLY

Para crear los perfiles de las secciones transversales tanto aguas arriba como aguas abajo, en el menú principal en la pestaña CivilCad, aparecen una serie de herramientas, se busca la opción Altimetría, dentro de altimetría se dirige a perfiles, posteriormente a terreno y finalmente a dibujar. Aquí el programa dispondrá de cinco opciones para la creación de un perfil, en este caso se digita en la barra de comandos el número 3, el cual hace referencia a crear un perfil a partir de una polilínea 3d. Se selecciona la polilínea que corresponde a aguas arriba para crear el perfil transversal de la sección aguas arriba, de la misma forma se procede con la polilínea aguas abajo que corresponde al perfil de la sección transversal aguas abajo, por último el programa pedirá que se establezca una escala, en este caso se realizaron dos escalas, la escala 1:1 que servirá para obtener el área y perímetro mojado de cada sección analizada y también una escala 10:1, en la cual se podrá observar a gran detalle la variación que presentan los distintos niveles de crecida, esta última, que será de gran importancia para la elaboración del manual que contendrá no solo el nivel máximo de crecida en cada sección, sino que un estudio minucioso de la n a diferentes alturas del agua específicamente cada cincuenta centímetros, para terminar el programa pedirá en qué lugar se desea colocar el perfil.

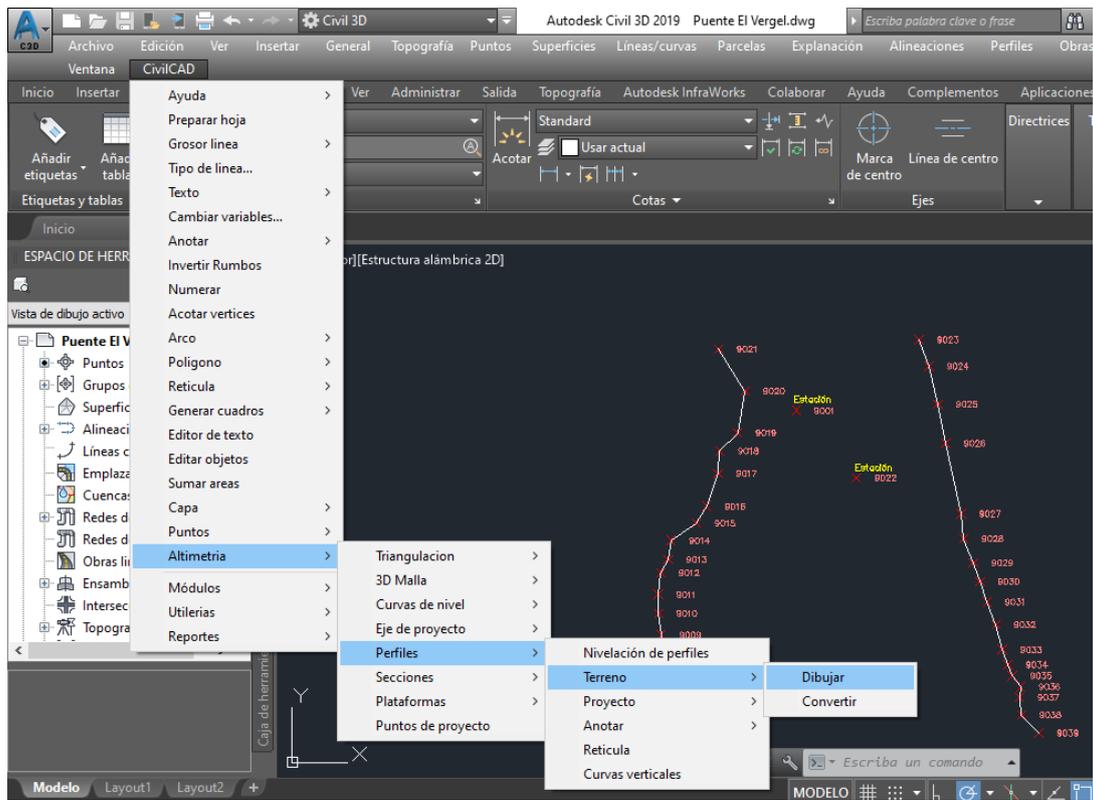


Figura 2.12 Proceso para la creación de un perfil transversal

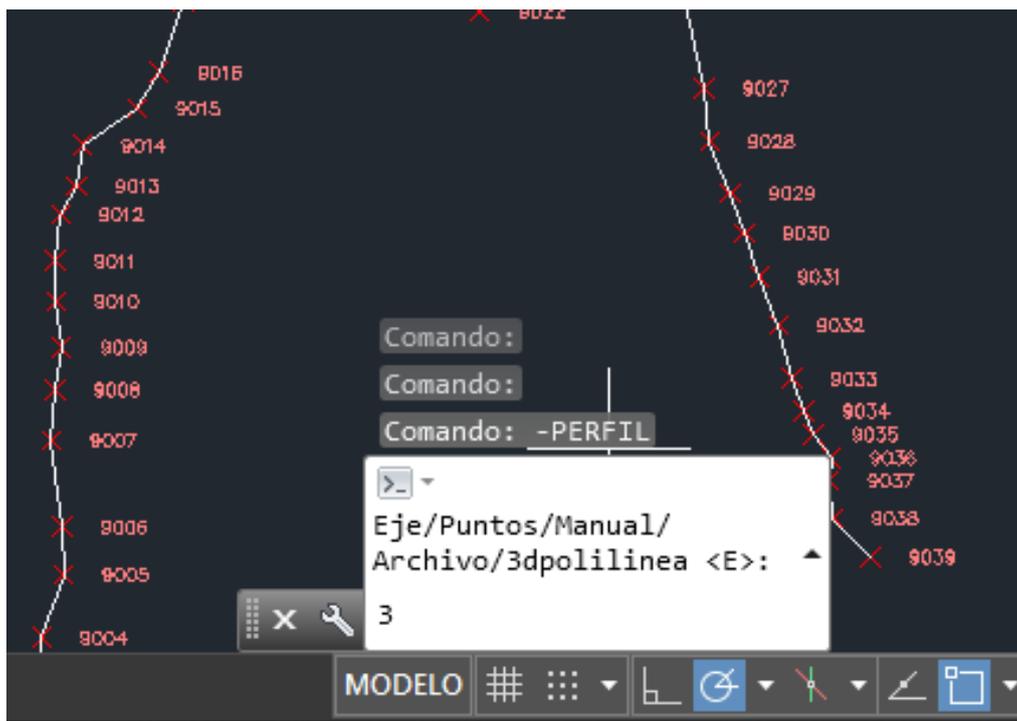


Figura 2.13 Selección de la opción crear un perfil a partir de una polilinea 3d



Figura 2.14 Selección de la escala para el perfil transversal

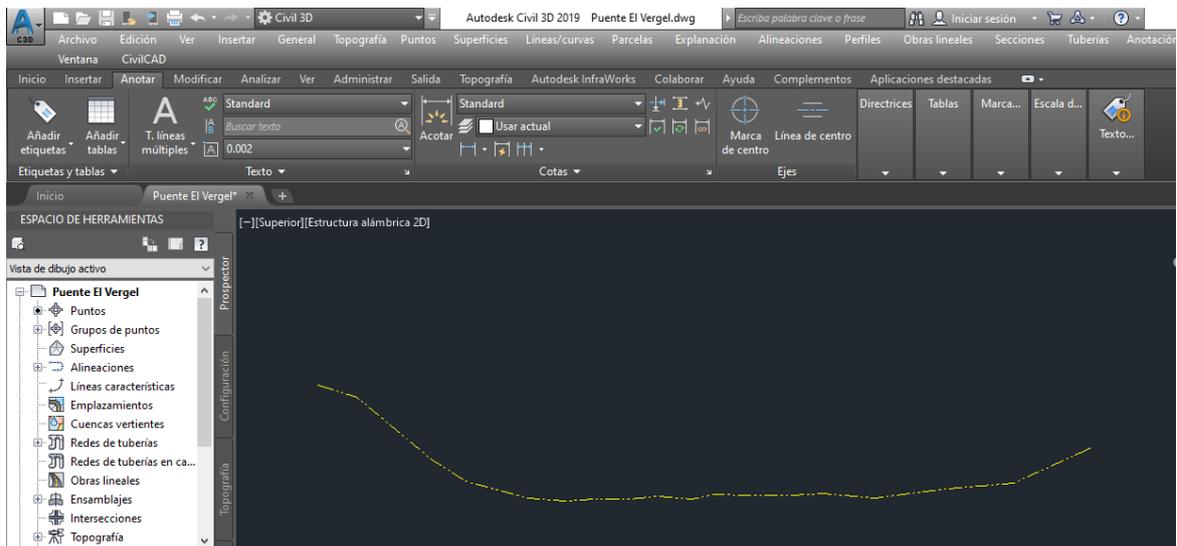


Figura 2.15 Perfil Transversal Aguas Arriba Puente El vergel Escala 1:1

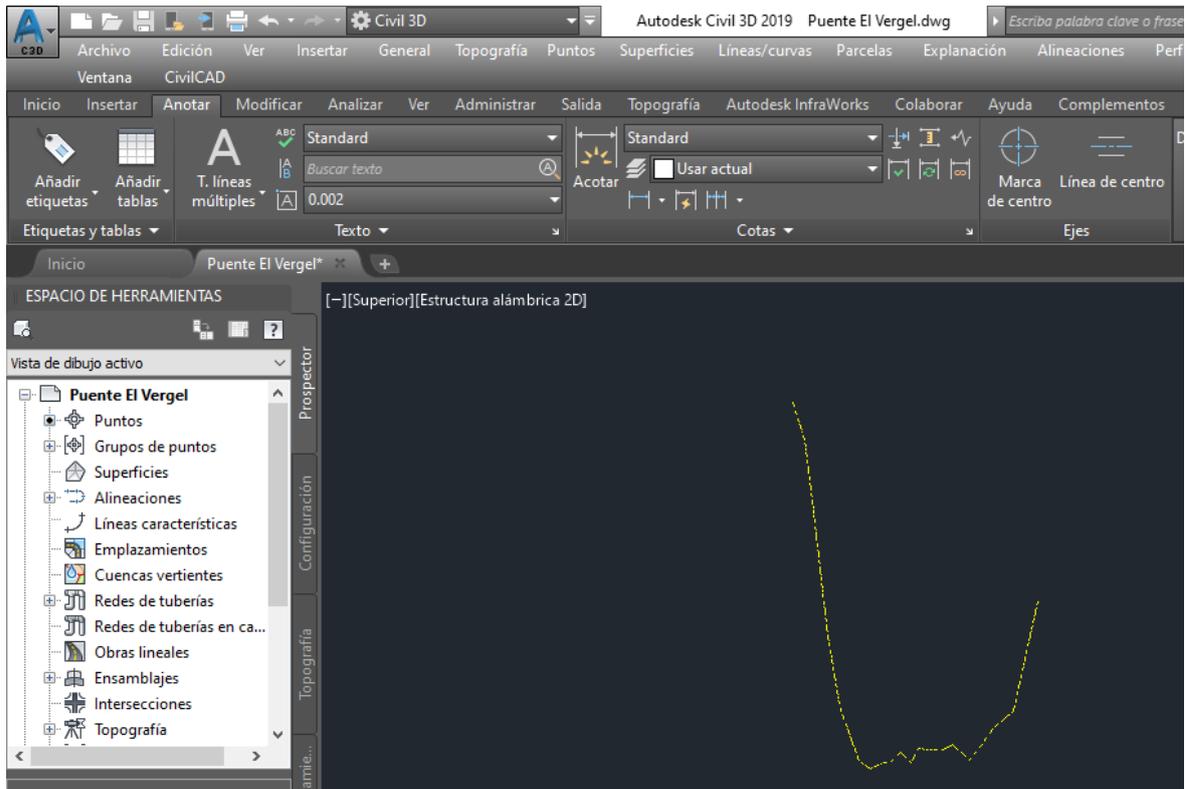


Figura 2.16 Perfil Transversal Aguas Arriba Puente El vergel Escala 10:1

Posteriormente se procede a la creación de la retícula para cada uno de los perfiles, en donde se definirá en el eje Y la altura en metros sobre nivel del mar y en el eje X el abscisado del mismo, para realizar esta acción, en el menú principal, se selecciona la pestaña CivilCad, altimetría, perfiles y finalmente retícula, el programa pedirá que se especifique el perfil del cual se desea realizar la retícula.

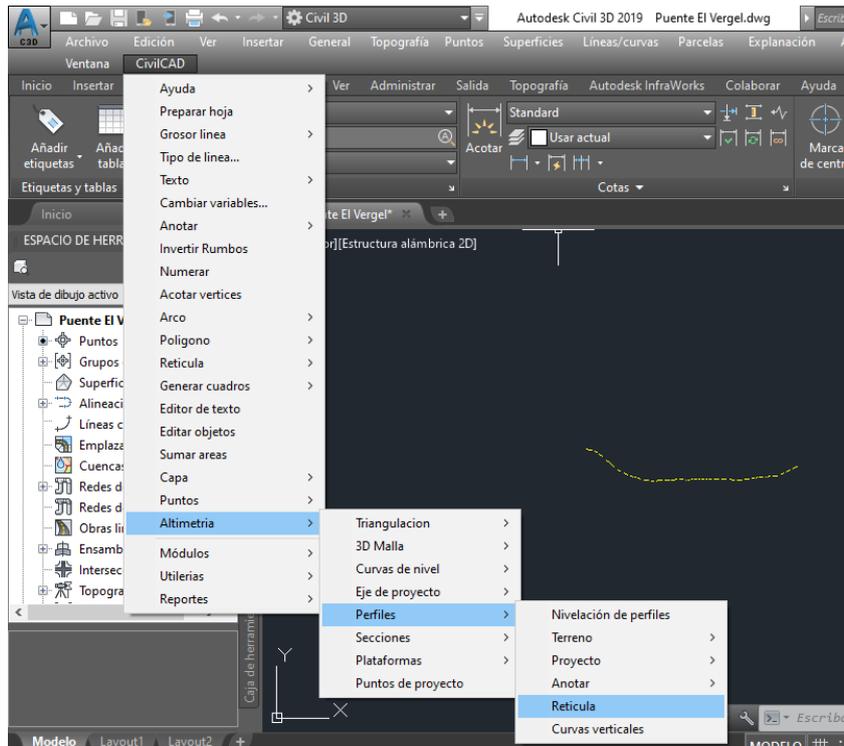


Figura 2.17 Proceso para la creación de la retícula de un perfil transversal

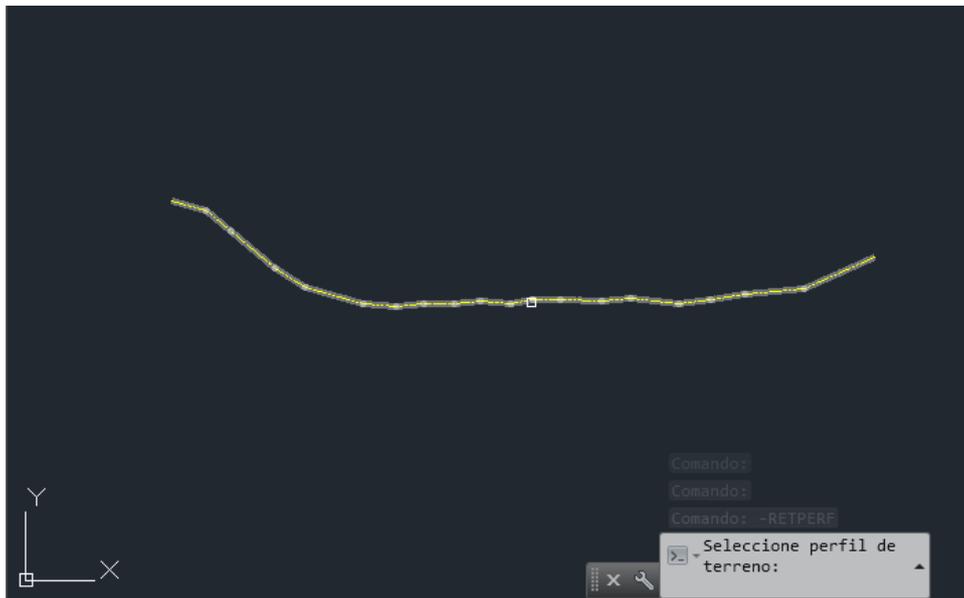


Figura 2.18 Selección del perfil transversal para la creación de la retícula

Para concluir el proceso, el programa mostrará una ventana en donde se puede personalizar aspectos sobre la información de la retícula, estos pueden ser: nombre del perfil, distancia entre el abcisado, además se podrá verificar una casilla en la cual se podrá crear la información de manera manual de cada uno de los puntos que forman el perfil, o

de un modo automático en donde la información de cada uno de los puntos que conforman el perfil se mostrará de una forma simétrica , así mismo se puede establecer el inicio del primer abcisado entre otras características .

Retícula en perfiles X

Perfiles

Terreno

Terreno y proyecto

Anotación:

Manual

Automática

Descripción:

Distancia entre estaciones:

Distancia a 1ra. estación:

Estación inicial:

No. de decimales:

Dibujar recuadro

Líneas horizontales a cada 5m

Figura 2.19 Cuadro de Configuración de la retícula del perfil transversal

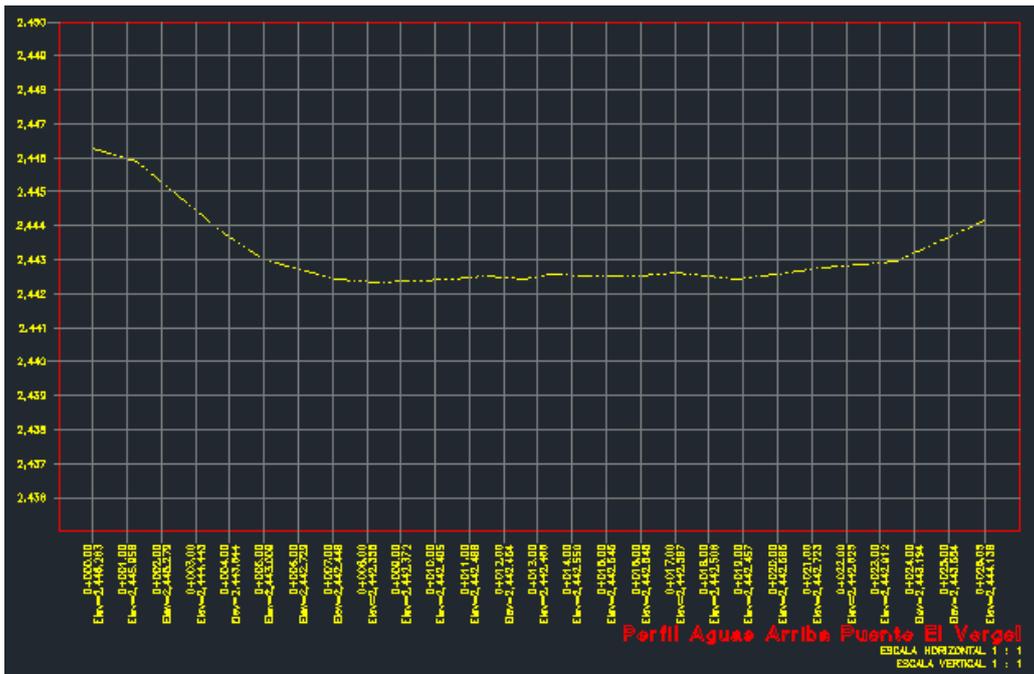


Figura 2.20 Retícula del perfil transversal Escala 1:1

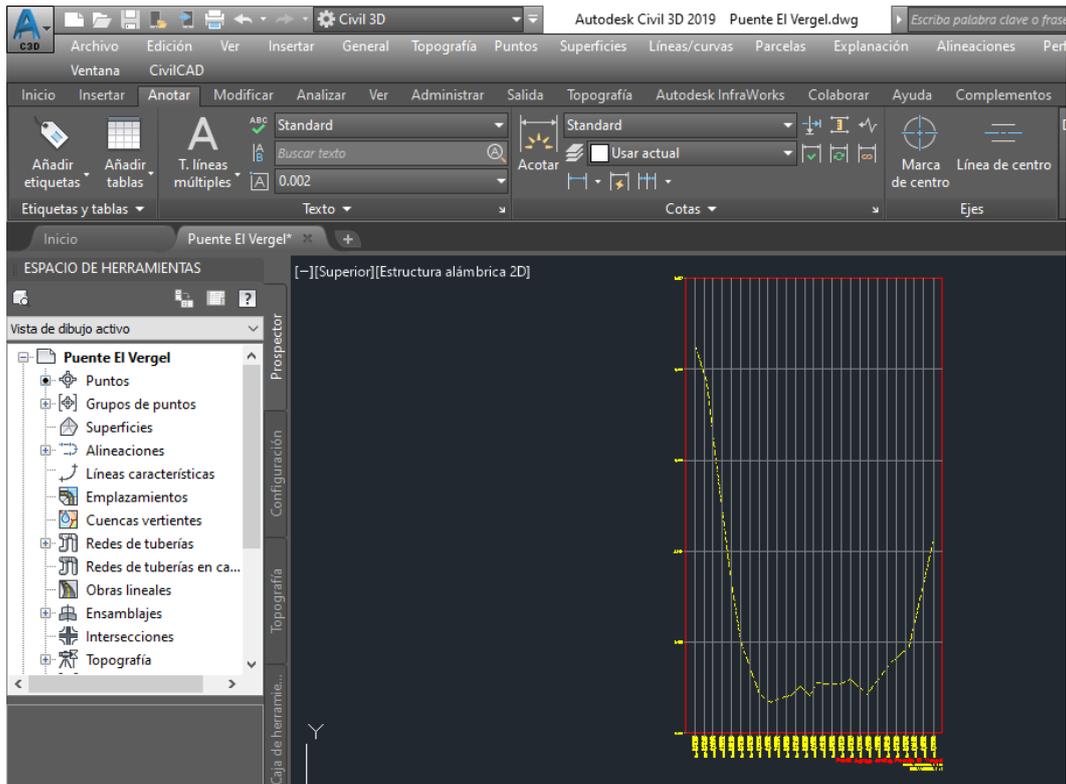


Figura 2.21 Retícula del perfil transversal escala 10:1

Por último, se implementó un cuadro de información sobre el puente analizado, que corresponde a las dos secciones tanto aguas arriba como aguas abajo, el cual contiene características como: longitud del puente(m), longitud entre estribos(m), altura del puente(m), peralte de la viga (m), peralte de losa(m) y altura máxima de crecida(m). Todos los perfiles se encuentran en el anexo 1.

2.4 Determinación del área y perímetro mojado en cada una de las secciones.

2.4.1 Introducción

Una vez obtenido los perfiles transversales de cada una de las secciones se procede a analizar cuál es la cota más baja, comparando únicamente entre los dos puntos que corresponden a los valles de inundación.

Para saber cuál es la cota más baja del valle de inundación, se lo puede realizar de dos maneras: visualmente mediante la observación del perfil en el programa CivilCad 3D o también recurriendo a la libreta de puntos.

Como se puede observar en la figura, el valle de inundación en este perfil se encontrará situado en la parte derecha de la imagen.



Figura 2.22 Comparación de la cota más baja del valle de inundación

Una vez localizado el punto que corresponde al valle de inundación, se procede a crear una polilínea que corte con el perfil en sentido opuesto, tal como lo muestra la imagen.



Figura 2.23 Creación del área y perímetro mojado

Posteriormente se utilizan los comandos recortar y unir, para ajustar el perfil y que se muestre únicamente aquello que tiene contacto con el agua. Finalmente se selecciona el perfil y en propiedades se mostrará el área y perímetro mojado que corresponde a la sección.

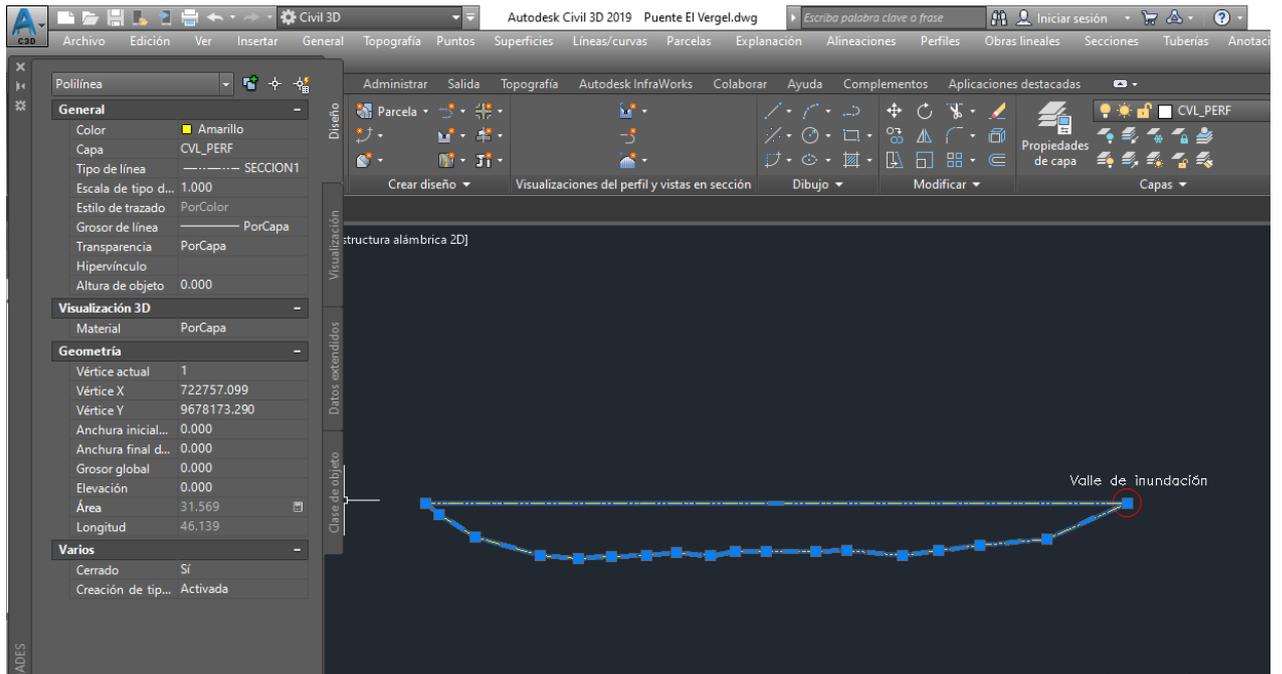


Figura 2.24 Visualización del área y perímetro mojado

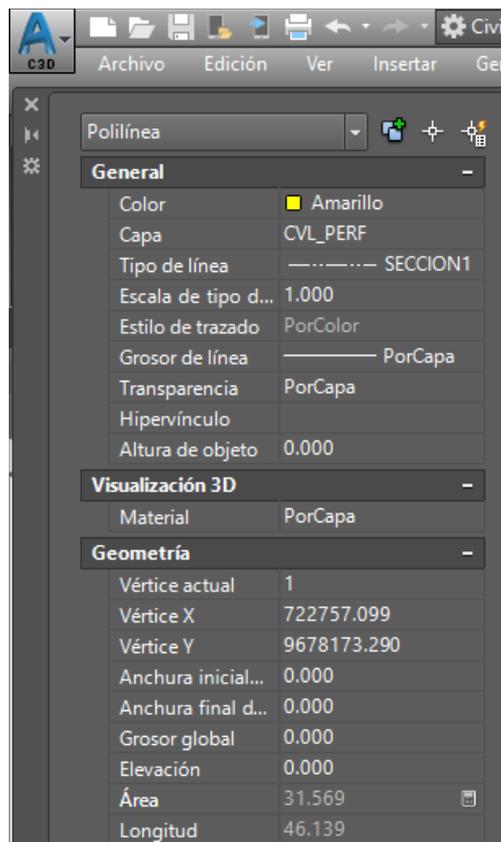


Figura 2.25 Área y perímetro mojado correspondiente al perfil aguas arriba Puente El Vergel

2.5 Determinación del Nivel Máximo de Crecida N.M.C

2.5.1 Introducción

Para establecer el nivel máximo de crecida en cada sección tanto para aguas arriba como para aguas abajo, se necesita la cota de dos puntos importantes, el primero el cual ya se mencionó con anterioridad que hace referencia a la cota del valle de inundación y el segundo que pertenecerá al punto más bajo obtenido en toda la sección analizada, la diferencia entre estas dos cotas proporcionará el N.M.C, para la realización de este procedimiento se creó una hoja de Excel, en donde en una primera instancia fueron colocados los puntos correspondientes a la sección analizada en orden de puntos ascendentes y en otra parte esos mismos puntos pero organizado de menor a mayor en función de su cota, como se muestra en la imagen.

1	Punto	Norte	Este	Cota	Descripcion
2	9001	9678149	722810	2444	Estacion
3	Aguas Arriba				
4	9002	9678124.239	722793.565	2446.263	SECC
5	9003	9678125.523	722793.745	2445.868	SECC
6	9004	9678126.436	722793.801	2445.102	SECC
7	9005	9678127.956	722794.327	2443.759	SECC
8	9006	9678129.122	722794.3	2443.013	SECC
9	9007	9678131.208	722794.033	2442.424	SECC
10	9008	9678132.44	722794.128	2442.334	SECC
11	9009	9678133.468	722794.28	2442.392	SECC
12	9010	9678134.595	722794.146	2442.416	SECC
13	9011	9678135.574	722794.134	2442.513	SECC
14	9012	9678136.686	722794.256	2442.409	SECC
15	9013	9678137.367	722794.635	2442.558	SECC
16	9014	9678138.373	722794.787	2442.545	SECC
17	9015	9678139.259	722796.093	2442.544	SECC
18	9016	9678140.146	722796.621	2442.597	SECC
19	9017	9678141.851	722797.206	2442.432	SECC
20	9018	9678143.004	722797.292	2442.58	SECC
21	9019	9678143.945	722798.215	2442.762	SECC
22	9020	9678146.109	722798.594	2442.954	SECC
23	9021	9678148.298	722797.236	2444.138	SECC

Figura 2.26 Puntos Ordenados Ascendente

Punto	Norte	Este	Cota mas baja	Descripcion
9008	9678132.44	722794.128	2442.334	SECC
9009	9678133.47	722794.28	2442.392	SECC
9012	9678136.69	722794.256	2442.409	SECC
9010	9678134.6	722794.146	2442.416	SECC
9007	9678131.21	722794.033	2442.424	SECC
9017	9678141.85	722797.206	2442.432	SECC
9011	9678135.57	722794.134	2442.513	SECC
9015	9678139.26	722796.093	2442.544	SECC
9014	9678138.37	722794.787	2442.545	SECC
9013	9678137.37	722794.635	2442.558	SECC
9018	9678143	722797.292	2442.58	SECC
9016	9678140.15	722796.621	2442.597	SECC
9019	9678143.95	722798.215	2442.762	SECC
9020	9678146.11	722798.594	2442.954	SECC
9006	9678129.12	722794.3	2443.013	SECC
9005	9678127.96	722794.327	2443.759	SECC
9021	9678148.3	722797.236	2444.138	SECC
9004	9678126.44	722793.801	2445.102	SECC
9003	9678125.52	722793.745	2445.868	SECC
9002	9678124.24	722793.565	2446.263	SECC

Figura 2.27 Puntos Ordenados Ascendentemente en función de su cota

De esta forma se identifica la cota más baja registrada en toda la sección, para finalmente de la cota que corresponde al valle de inundación que ya se conocía con anterioridad proceder a realizar la diferencia entre las mismas, cabe resaltar que esto se lo realiza tanto aguas arriba como aguas abajo, es decir existen dos alturas máximas de crecida para cada estación (puente).

Valle de inundacion	
Punto	Cota
9021	2444.138

Usuario1:
Es la cota mas baja , comparando solo entre el punto de inicio y el punto final de la seccion

N.M.C	
Punto	Cota
9021	2444.138
9008	2442.334
	1.804

Usuario1:
El nivel maximo de crecida , es la diferencia que existe entre la cota correspondiente al valle de inundacion y la cota mas baja analizada en toda la seccion

Figura 2.28 Proceso para la obtención del nivel máximo de crecida

Finalmente se procedió, en el programa CivilCad 3D, a colocar los valores ya conocidos de perímetro mojado, área mojada y nivel máximo de crecida con su respectiva figura, esto se lo realizó para las 31 estaciones (puentes) tanto aguas arriba como aguas abajo.

2.6 Determinación de los diámetros característicos (d90 d84 d65 d50)

2.6.1 Introducción

La obtención de los diferentes diámetros característicos se los realizó en una época de estiaje de los ríos, de esta forma se podía abarcar el mayor número de piedras en la fotografía.

Se tomó alrededor de cuatro a diez fotografías por sección, a excepción de los canales pertenecientes al sector del Cajas, en estos canales se procedió a tomar entre una o dos fotografías, ya que el ancho de estos canales es pequeño, cabe resaltar que para la toma de fotografías todas estas deben ser tomadas a una misma altura.

Las fotografías fueron tomadas con una cámara CANON EOS 70D, con sensor cmos de 20,2 megapíxeles, procesamiento digic, propio de Cannon Inc, para una familia de unidades de control y procesamiento de señales para cámaras digitales con un obturador plano focal controlado electrónicamente entre otras características.

Se utilizó el programa Adobe Photoshop CS6 para la unión de fotografías ya que es un programa utilizado principalmente para el retoque, fusión y edición de fotografías, donde se pueden utilizar toda una serie de herramientas.

2.6.2 Comandos de Adobe Photoshop CS6

Antes de la creación de la fotografía a 90°, se indicarán algunos comandos básicos, así como la interfaz del programa.

Ctrl+a	Seleccionar imagen
Ctrl+d	Deseleccionar
Ctrl+c	Copiar imagen
Ctrl+v	Pegar imagen
Ctrl+t	Desplazar imagen de forma horizontal o vertical
Alt+Script	Zoom a la fotografía
Alt+Ctrl+C	Tamaño del lienzo
Alt+Ctrl+A	Todas las capas
Mayus+Ctrl+L	Invertir
F7	Mostrar u ocultar panel de capas
F12	Volver

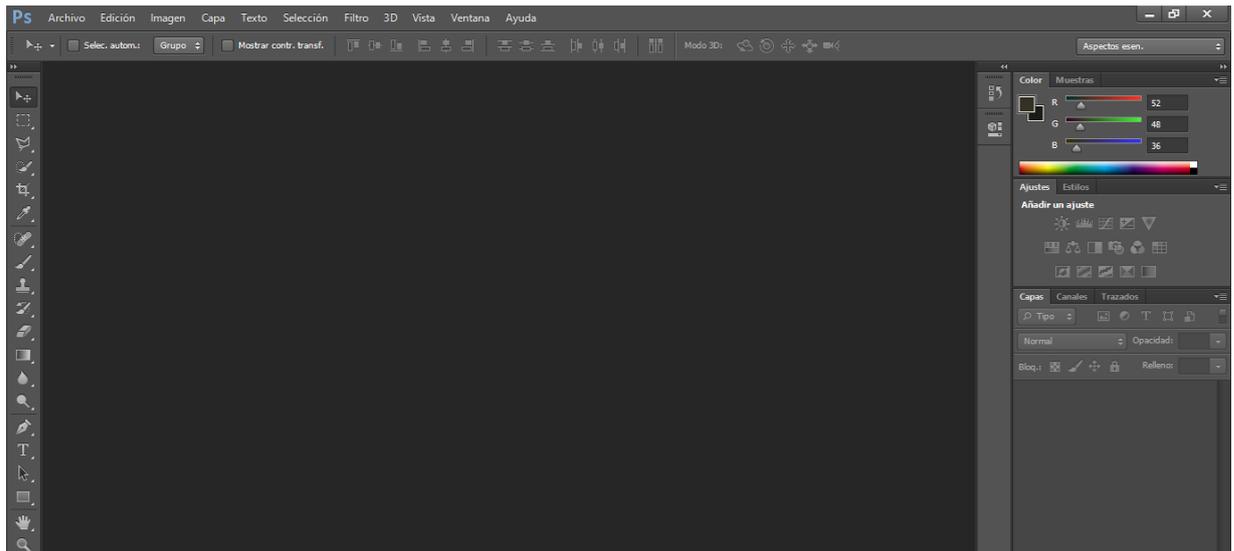


Figura 2.29 Interfaz del Programa

2.6.3 Creación de las fotografías a 90° mediante Adobe Photoshop CS6

Una vez se disponga de las fotos, abrimos el programa Adobe Photoshop CS6, se coloca en la interfaz superior y se selecciona “archivo”, “abrir”, en esta parte seleccionaremos todas las fotografías correspondientes al puente analizado.

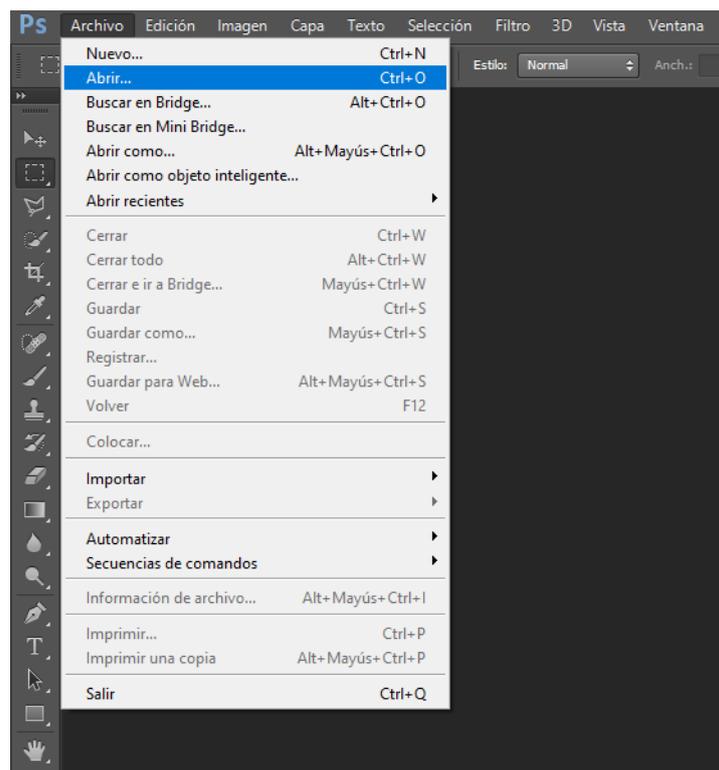


Figura 2.30 Abrir Fotografías de la sección

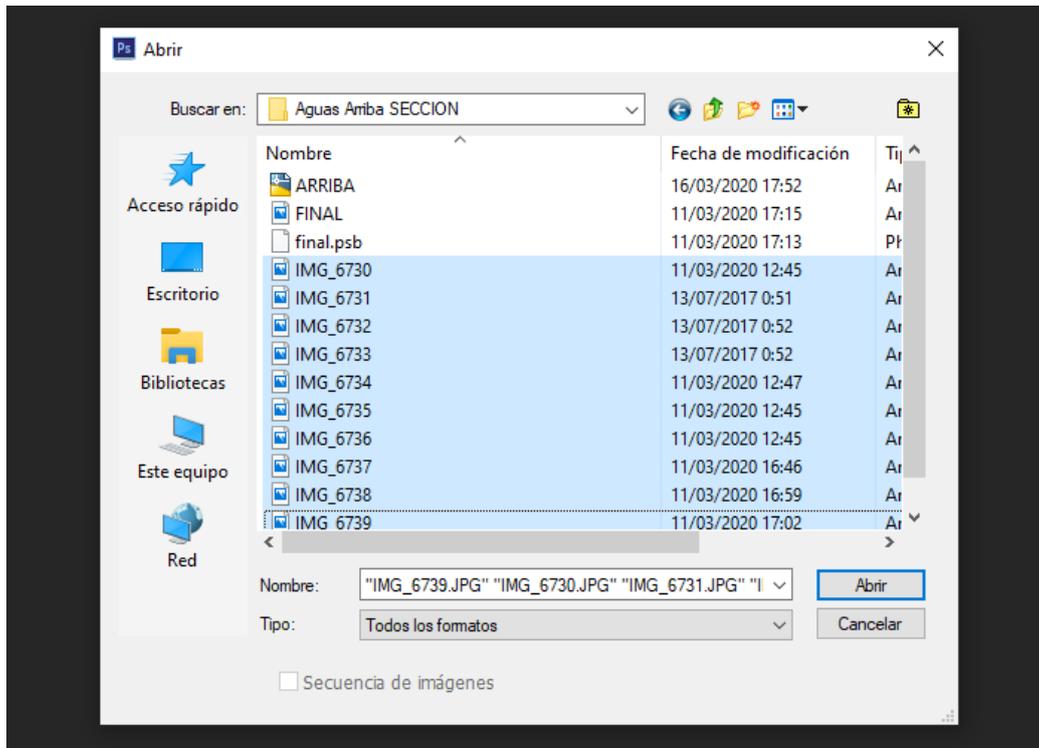


Figura 2.31 Selección de fotografías correspondientes a la sección

Una vez seleccionadas las fotografías, se coloca en la primera foto y en la interfaz derecha se quita el candado, esto se lo realizará cliqueando en el candado y colocando “aceptar”, se debe realizar este proceso ya que cada foto dentro del programa es una capa distinta, en este caso se quiere tener una sola fotografía de la sección del río por lo que se tendrá una sola capa.

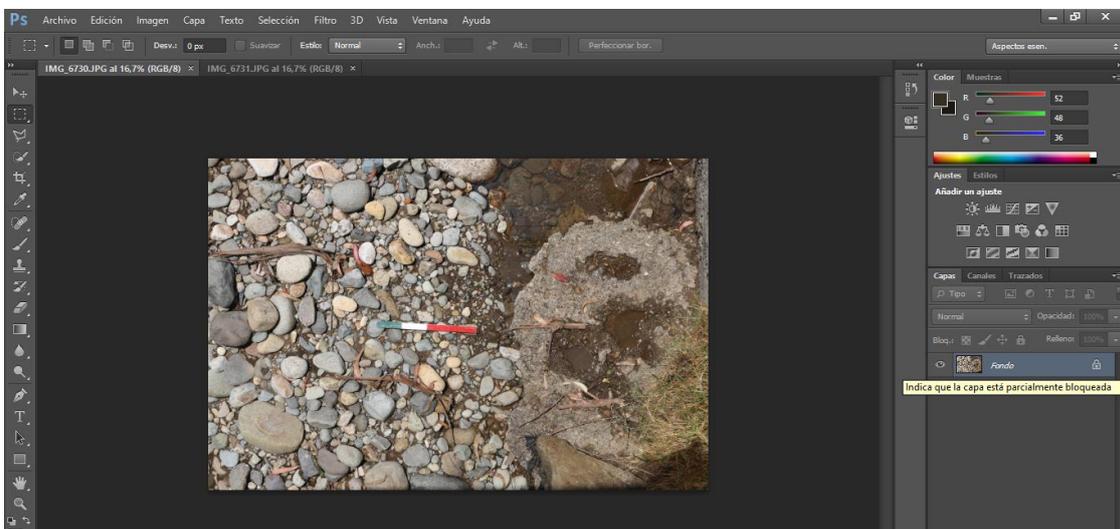


Figura 2.32 Selección de una sola capa

Una vez realizado este proceso, se dirige a la interfaz superior y se selecciona en “imagen”, se busca la opción “tamaño de lienzo”, dentro de esta opción se puede modificar la anchura y la altura a conveniencia, todo esto es necesario ya que posteriormente se unirán las fotografías para lo cual es necesario un espacio de trabajo más amplio dentro de la que se selecciona como primera fotografía.

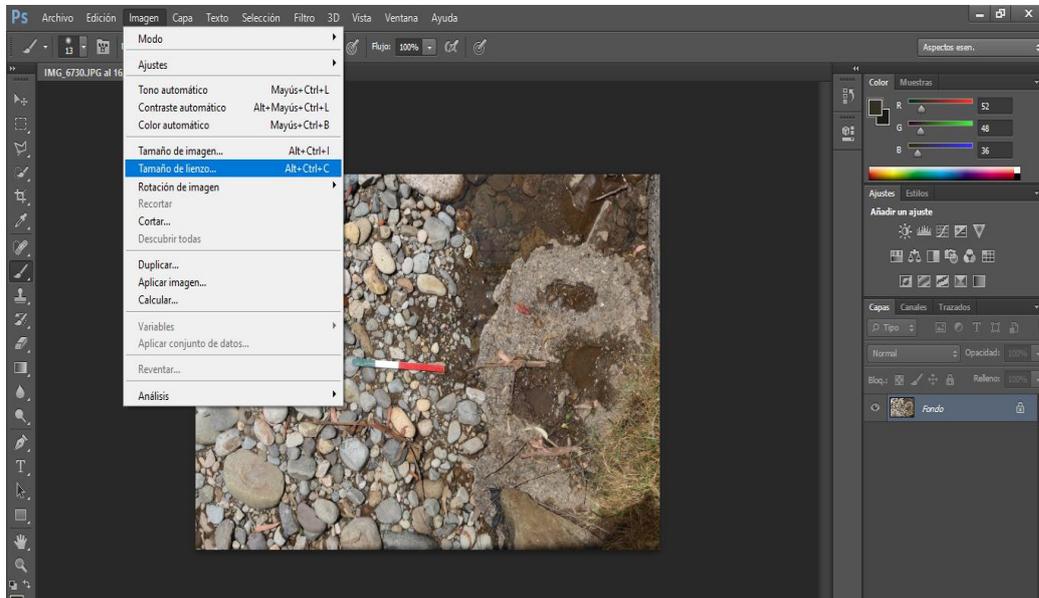


Figura 2.33 Creación de lienzo

Se observa cómo se crea un espacio en blanco alrededor de la imagen, en este espacio es donde se trabajará y se arrastrarán todas las demás fotos correspondientes a esta sección del río.

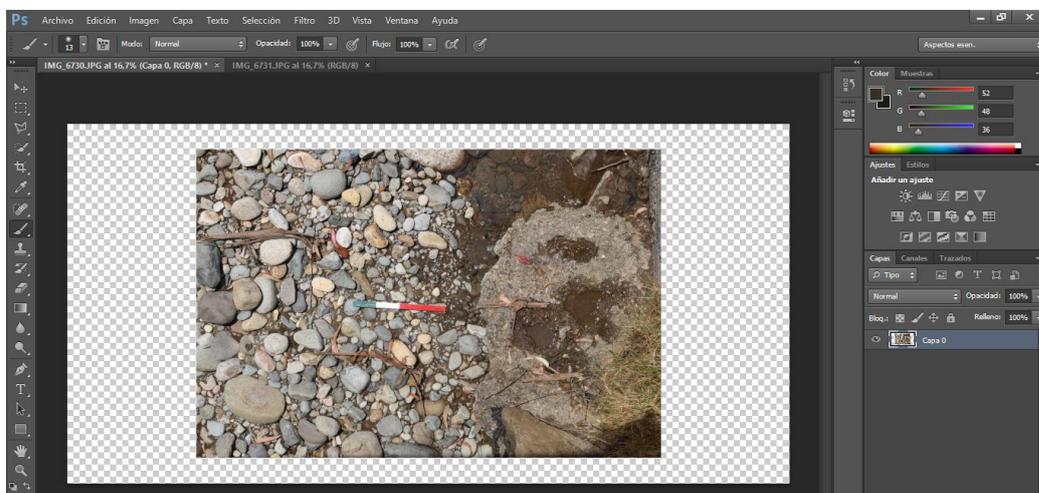


Figura 2.34 Espacio de trabajo en el lienzo

Para arrastrar todas las fotografías a este espacio en blanco, se sitúa en la interfaz superior y se selecciona la opción “ventana”, “organizar” y finalmente “hacer flotante todo en ventana “, aquí como se puede observar se crearán tantas ventanas como fotografías se hayan cargado, lo recomendable es trabajar de dos en dos fotografías, finalmente con el cursor se selecciona la fotografía número dos y se arrastra hacia la fotografía número uno la cual es la que tiene el lienzo en blanco.

Aquí se tienen algunas formas de unir, lo más aconsejable es utilizar el comando “opacidad” el cual es una especie de suavizador de cada fotografía, en este comando se puede seleccionar entre un rango de 0 a 100 % y dependiendo el nivel o la altura en la cual la foto fue tomada se va uniendo a conveniencia.

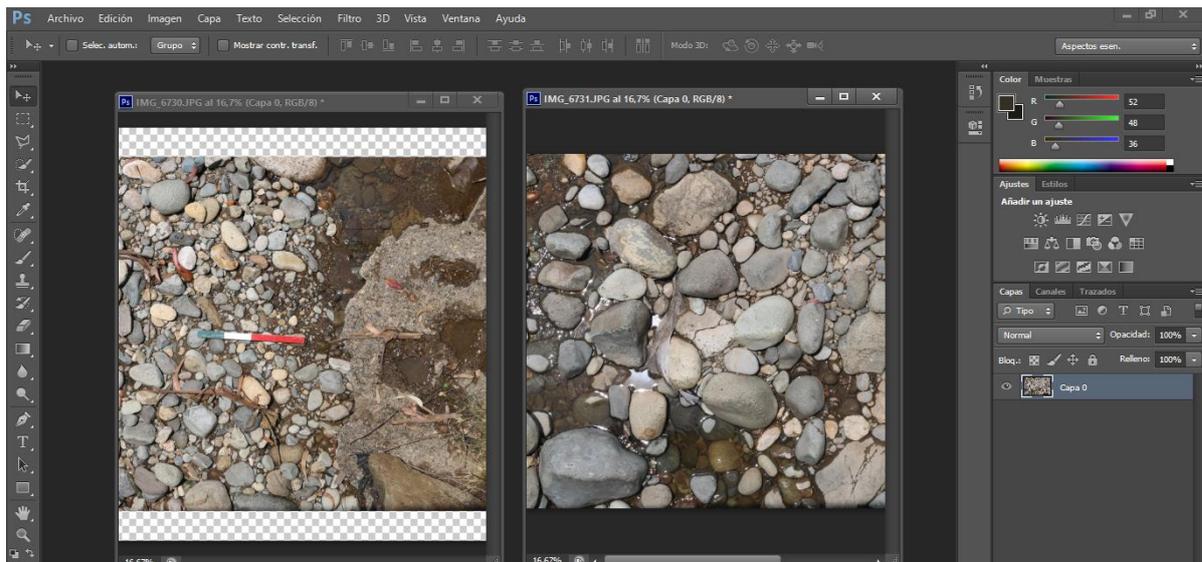


Figura 2.35 Unión de fotografías

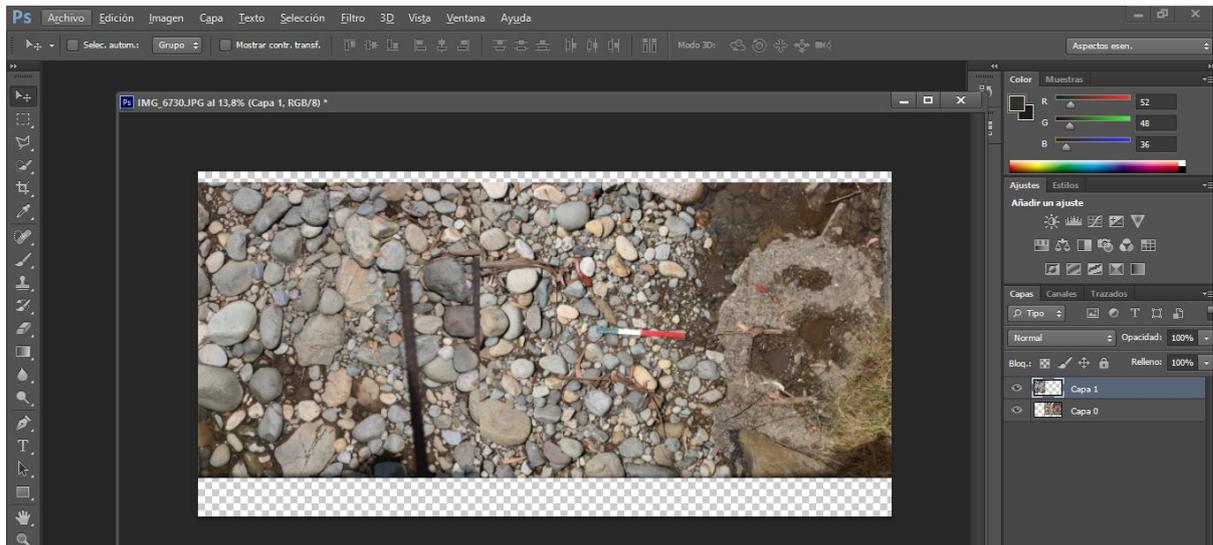


Figura 2.36 Fotografías acopladas a un solo lienzo

Finalmente se sitúa en la interfaz derecha y cómo se puede observar, se tienen dos capas en este caso, se tendrán tantas capas como fotografías que se vayan uniendo, aquí es muy importante que se seleccionen todas las capas y con el mouse dando “clic derecho” y seleccionando la opción “combinar capas”, de esta forma se tendrá una sola imagen.

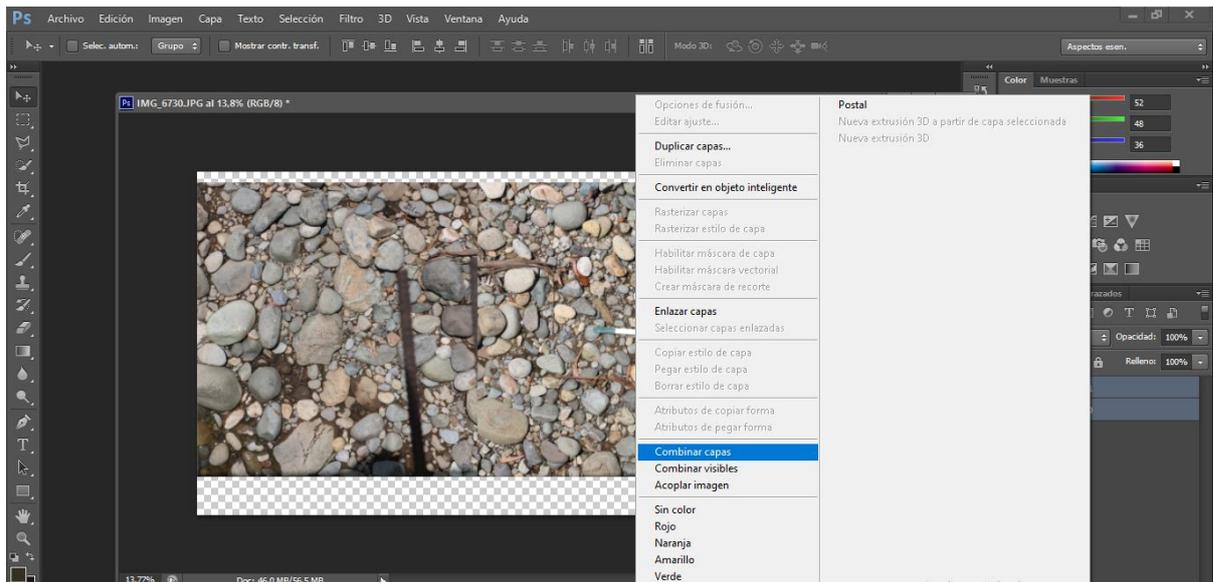


Figura 2.37 Creación de una sola capa para la fotografía

Una vez realizado todos estos pasos se tendrá creado una sola fotografía a 90°, la cual se exportará al programa Civil Cad para numerar y determinar el diámetro característico de los diferentes cantos rodados presentes en el río.

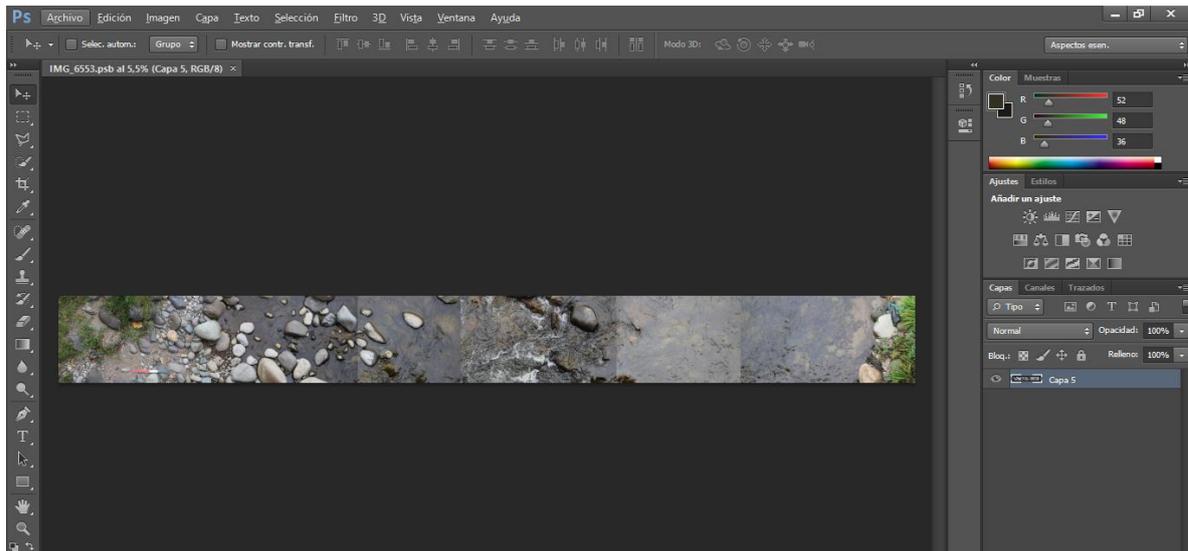


Figura 2.38 Fotografía creada de la sección transversal del río

2.6.4 Comandos Generales de AutoCAD

Comando Ortogonal

Este comando se deberá activar, ya que la acotación del diámetro de las piedras se las debe realizar de una forma perpendicular al flujo del agua, se lo puede activar situándose en la parte inferior derecha de la interfaz de AutoCAD o simplemente digitando F8.



Figura 2.39 Comando Ortogonal

Comando Escala

Es el comando más importante que se utilizará, ya que el momento en el cual se importe la fotografía del programa Photoshop al AutoCAD, este no reflejará la escala correcta para la acotación de las piedras, se activa digitando en la barra de comando la palabra “escala”.

Estilo de Cota

Se creará un estilo de cota en dependencia de la necesidad, o el gusto específico, en esa se puede modificar características como símbolos, flechas, directrices, estilo, color de texto entre otras.

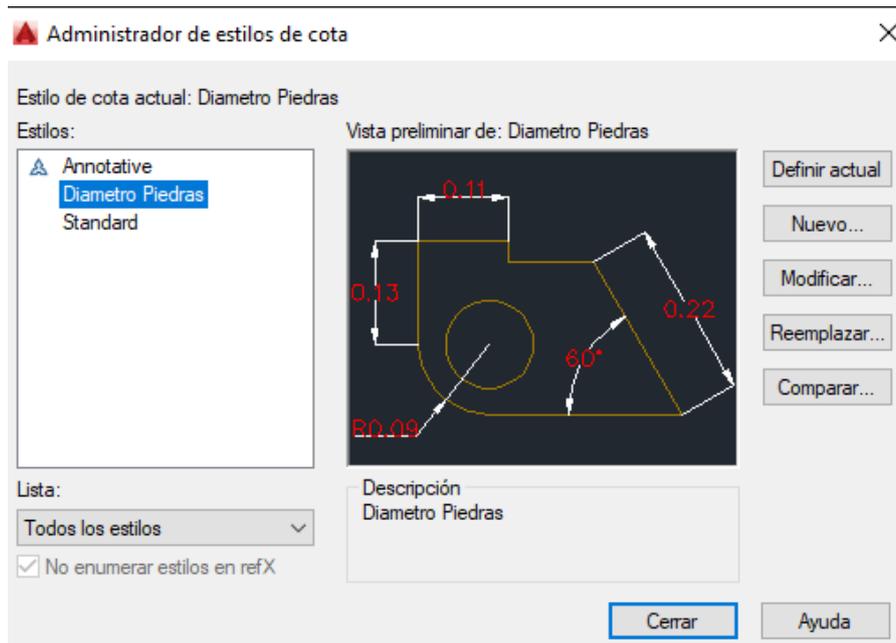


Figura 2.40 Estilo de Cota creado "Diámetro de Piedras"

Comando Acotar

Una vez creado el estilo de cota, se procede a digitar la opción acotar, aquí se selecciona todo el diámetro de la piedra, esta opción automáticamente colocara la medida en metros de la piedra seleccionada.

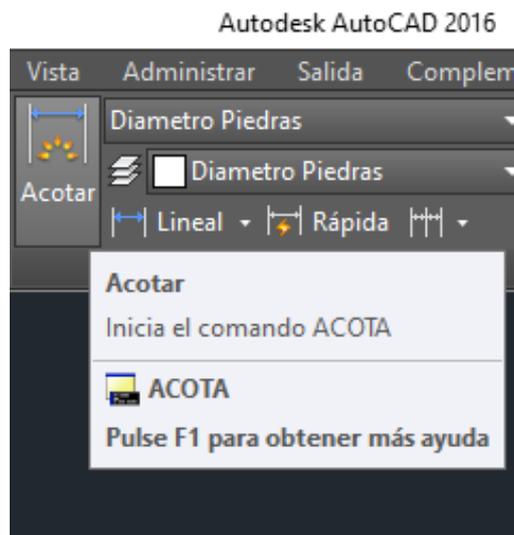


Figura 2.41 Comando Acotar

Comando T. Líneas Múltiples.

Este comando se utiliza para la numeración de las piedras, simplemente se selecciona un largo y un ancho y escribimos el número que se desee.

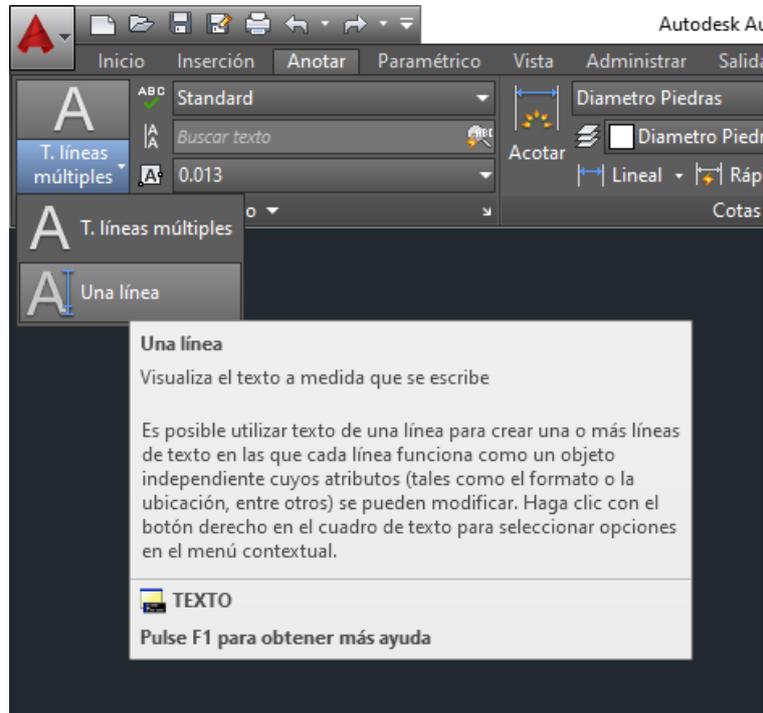


Figura 2.42 Comando Línea Múltiples

Una vez obtenida la fotografía de la sección completa del río, se procede a importarla al programa AutoCAD mediante los comandos **ctrl+c** y **ctrl+v**, en el programa antes mencionado será de gran ayuda tener creado con anterioridad una plantilla para la acotación de las piedras.



Figura 2.43 Importación de la fotografía creada en Photoshop a CivilCad

Se coloca la fotografía en el área de trabajo, se procede a escálala debido a que la imagen actual no representa el tamaño real de las piedras, para esto se utiliza cualquier objeto que se conozca su dimensión real, en este caso se utilizó una barra de aluminio de 60 cm.



Figura 2.44 Regleta de referencia de sesenta centímetros

Se escribe el comando “escalar” y se selecciona la imagen, se presiona enter y se da click en cualquiera de las cuatro esquinas de la fotografía, luego se escribe la letra “R” que significa que se tiene una referencia se presiona enter y luego se va al objeto conocido, en este caso la barra y se selecciona toda su longitud, finalmente se escribe cual es la longitud de este objeto, se presiona enter y la imagen queda escalada.

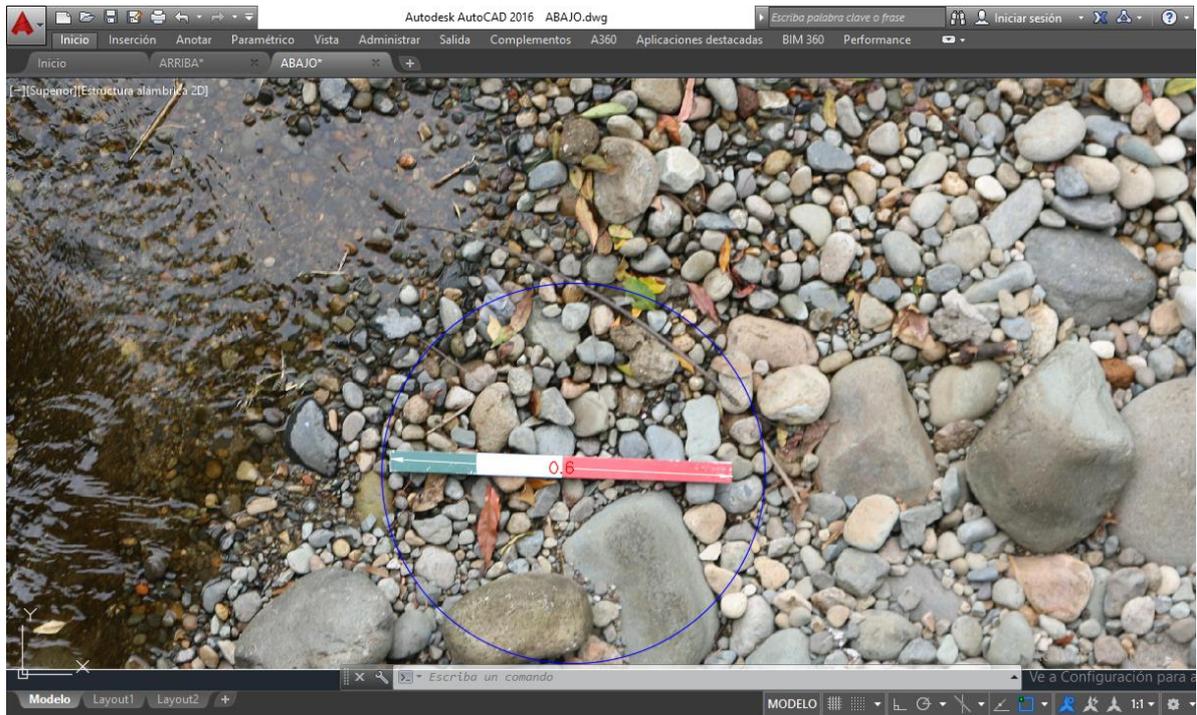


Figura 2.45 Fotografía Escalada

Finalmente, con el comando “acotar” se define el diámetro de las piedras, así como también su respectiva numeración. Para este estudio se trató de identificar un mínimo de cien piedras tanto aguas arriba como aguas abajo, es decir doscientas piedras por puente.

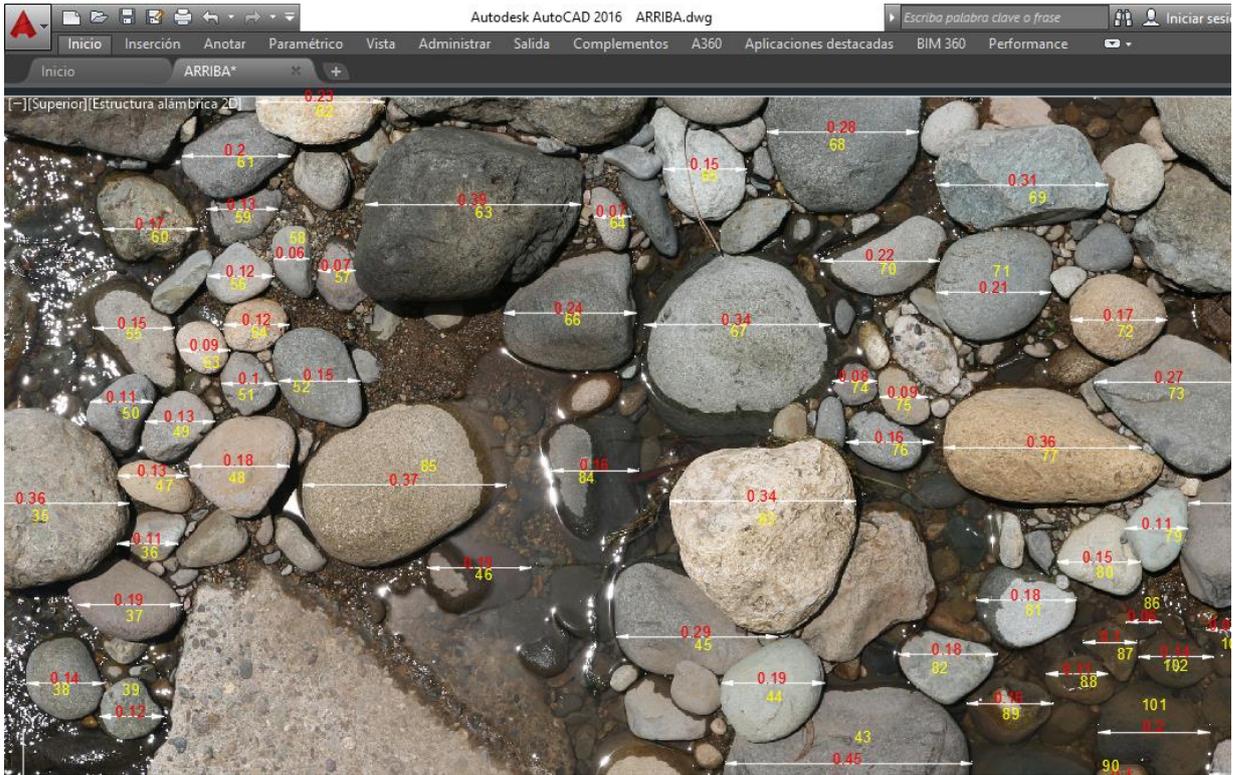


Figura 2.46 Sección Aguas Arriba Puente Coliseo

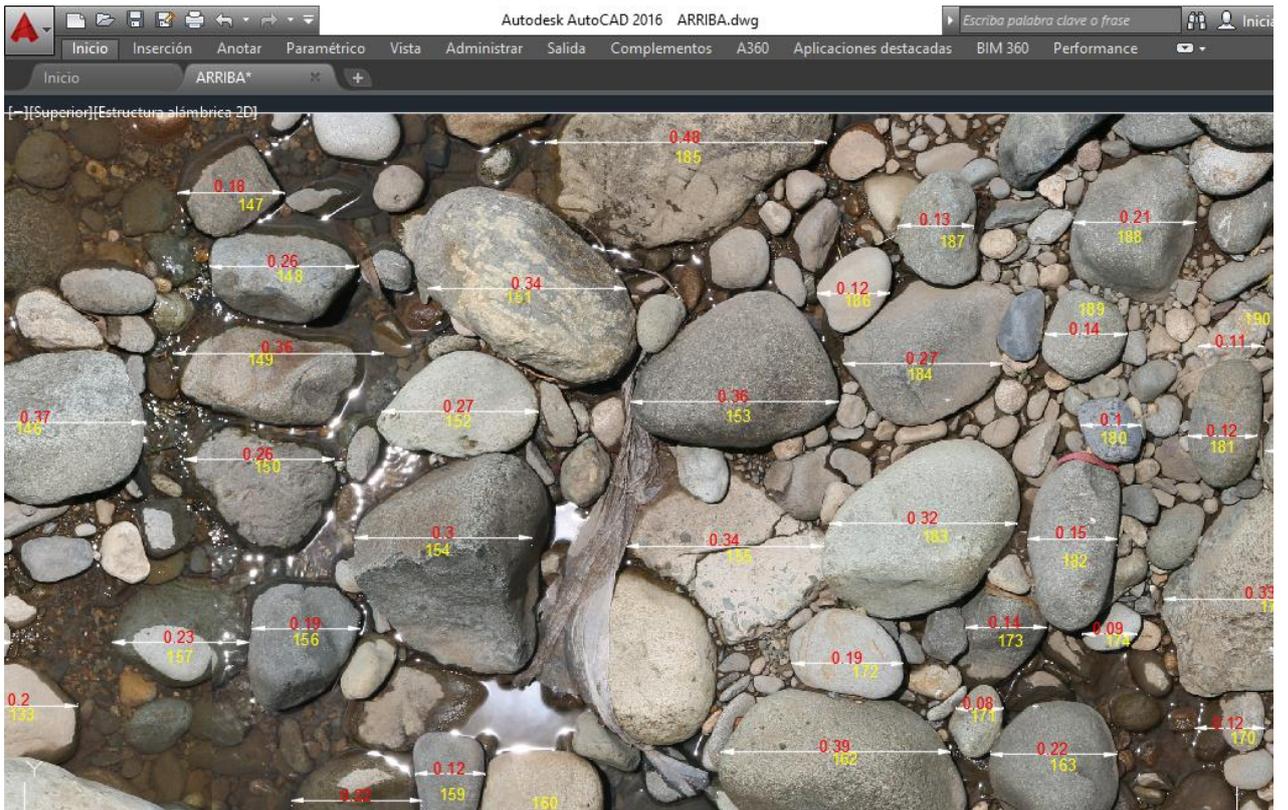


Figura 2.47 Sección Aguas Arriba Puente Coliseo

2.6.5 Factor de Corrección

Para los puentes principalmente que se encuentran en el sector del Cajas, en donde no fue posible realizar la fotografía a 90 grados debido a que no se apreciaban las piedras, se creó una fotografía con cierto ángulo entre la cámara y el curso del agua, se utilizó un factor de corrección entre lo medido en campo y lo medido en AutoCad .

Este factor de corrección se obtuvo de la siguiente manera, primero se procedió a realizar mediciones en campo con una cinta métrica, midiendo piedras en tres zonas, una cercana una intermedia y una lejana, luego se comparó con lo medido en AutoCAD en las mismas piedras y se calculó el factor de corrección para toda la franja que corresponda dicha piedras de manera horizontal.



Figura 2.48 Factor de Corrección por Franjas

Puente Peatonal Hospital Militar				
Aguas Abajo				
Numero Piedra	Realidad(m)	AutoCAD(m)	Factor Corrección por franja	Franja
39	0.35	0.4	-0.05	inferior
7	0.84	0.79	0.05	intermedio
13	0.39	0.3	0.09	superior

Tabla 2.2 Factor de Corrección por franja



Figura 2.49 Ejemplo Piedra medida en campo para Factor de Corrección por franja

2.6.6 Tabulación de la Información

Una vez realizada la acotación y numeración de cada una de las piedras en el AutoCAD, se procedió a crear una hoja de Excel, la cual consta de una descripción general del puente así como también el número y diámetro de cada una de las piedras, separadas tanto aguas arriba como aguas abajo, posteriormente se creó una columna en donde se ha colocado el total de las piedras registradas en la sección para obtener el d_{90} , d_{84} , d_{65} y d_{50} . Se crearon cuatro columnas, una para cada diámetro característico, ya que estos diámetros serán colocados directamente en las fórmulas empíricas.

Las tablas correspondientes a los puentes más importantes serán mostradas en el capítulo cuatro.

CAPITULO 3: FORMULAS Y MÉTODOS DE CÁLCULO

3.1 Coeficiente de Rugosidad

El valor de n en la fórmula de Manning, en numerosos casos, se vuelve subjetivo y depende de la experiencia del proyectista, en el trabajo de Burnham y Davis (1990) se presentan los resultados de un interesante estudio, en el cual se realizó una encuesta a 80 profesionales de la hidráulica, a quienes se les pidió que asignaran un valor de n a diferentes tramos. Los resultados demostraron la gran variabilidad que puede tener este parámetro. (Fernandez de Cordova , 2018)

3.1.1 Definición

El coeficiente de rugosidad n , es un parámetro que determina el grado de resistencia, que ofrecen las paredes y el fondo del canal al flujo del fluido. Mientras más áspera o rugosa sean las paredes y fondo del canal, más dificultad tendrá el agua para desplazarse.

Manning presentó por primera vez la ecuación durante la lectura de un artículo el 4 de diciembre de 1889 la cual se expresaba de la siguiente manera (Manning, 1889):

$$V = CR^{2/3}S^{1/2} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Esta fórmula esta expresada en unidades inglesas en donde:

V =velocidad media

R = radio hidráulico

S =pendiente de la línea de energía

C =factor de resistencia al flujo de Chezy

En términos de unidades métricas se tiene:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

V =velocidad media en metros/seg

R = radio hidráulico en metros

S =pendiente de la línea de energía

n =Coeficiente de rugosidad de Manning

Para la deducción del exponente de R , se utilizaron datos experimentales de Bazin, realizados en canales artificiales. Para diferentes formas y rugosidades se encontró que el valor promedio variaba entre 0.6499 a 0.8395. Al considerar estas variaciones, Manning adopto un valor aproximado de $2/3$ para el exponente.

Desde el punto de vista de la mecánica de fluidos moderna, la cual presta mucha atención a las dimensiones, las unidades de n deben ser motivos de consideración. A partir de la ecuación de Manning, se sabe que las dimensiones de n son $\frac{T}{\sqrt[3]{L}}$. Como no es razonable suponer que el coeficiente de rugosidad contenga la dimensión T , algunos autores suponen que el numerador contiene el término \sqrt{g} , obteniendo así las dimensiones para n de $\sqrt[6]{L}$.

Al aplicar la ecuación de Manning, la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad n , ya que no existe un método exacto para la selección de este valor. Para un mayor conocimiento se mencionarán varios factores que afectan a la n de Manning. (Chow, 1994)

3.1.2 Factores que afectan al coeficiente de rugosidad

Rugosidad Superficial

La rugosidad superficial se ve representada por el tamaño y forma de los granos que se encuentre en el rango del perímetro mojado de la sección del río, estos producen un efecto retardador del flujo, de forma general granos finos dan valores de n bajos comparados a granos gruesos cuyo valor de n es más alto.

Los granos finos como arena, arcilla, limos o margas poseen un efecto retardador muy bajo en comparación a los cantos rodados que poseen un efecto retardador alto. Cuando el material es fino el valor de n es bajo y relativamente no se ve afectado por cambios en el nivel del flujo. Sin embargo, cuando el material consta de gravas y cantos rodados, el valor de n es alto, generalmente para flujos bajos y altos. Los cantos rodados tienden a depositarse en el fondo del canal, haciendo que este sea más rugoso que sus bancas e incrementando el valor de n para niveles bajos, en niveles altos una porción de la energía del flujo se utiliza para mover los cantos rodados aguas abajo, lo cual incrementa el valor de n . Por estas dos razones se menciona que el valor de n para material grueso es alto tanto en niveles de flujo alto y bajo (Chow, 1994).

Irregularidad del Canal

Son irregularidades de tamaño y forma que se dan tanto en el perímetro mojado como en la sección transversal del canal. En cauces artificiales tales irregularidades son producidas

por la presencia de barras de arena, ondas de arena, crestas y depresiones que están presentes a lo largo del canal. Estas irregularidades mencionadas introducen una rugosidad adicional a la causada por la rugosidad superficial y otros factores que mencionaremos más adelante. De forma general un cambio uniforme y gradual en la sección transversal o en su forma no produce efectos a considerar en el valor de n , pero cambios bruscos en su sección o cambios de sinuosidades requieren el uso de un valor grande de n . En dichos casos el incremento de n puede ser de 0.005 o mayor (Chow, 1994).

Alineamiento del Canal

Curvas suaves con radios grandes producirán valores de n bajos, en tanto que curvas bruscas con meandros severos incrementara el valor de n . En base a pruebas de laboratorio llevadas a cabo en canaletas, Scobey sugirió que el valor de n se incrementa en 0.001 por cada 20 grados de curvatura en una longitud de 31 metros aproximados de canal, el factor curvatura no debe ignorarse puesto a que puede producir acumulación de material flotante y por consiguiente incrementar indirectamente el valor de n . Finalmente se agrega que la presencia de meandros en corrientes naturales puede incrementar el valor de n en un 30% (Chow, 1994)

Sedimentación y socavación

En general, la sedimentación puede cambiar un canal muy irregular en un canal relativamente uniforme y disminuir el valor de n , en tanto que la socavación puede hacer lo contrario e incrementar la n , sin embargo, el efecto de sedimentación dependerá de la naturaleza del lecho. La cantidad y uniformidad de la socavación dependerá del material que conforme el perímetro mojado, por ejemplo, un lecho de arena o de gravas se erosionará más uniformemente que un lecho compuesto de arcillas. El efecto de la socavación no es importante siempre y cuando la erosión en el lecho del canal sea causada por velocidades uniformes (Chow, 1994).

Obstrucciones

La presencia de obstrucciones como troncos, pilas de puentes o estructuras similares tiende a incrementar el valor de n (Chow, 1994).

Tamaño y forma del canal

No existe evidencia definitiva acerca del tamaño y la forma del canal como factores importantes que afecten el valor de n , un incremento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir la n , según la condición del canal (figura 3.1) (Chow, 1994).

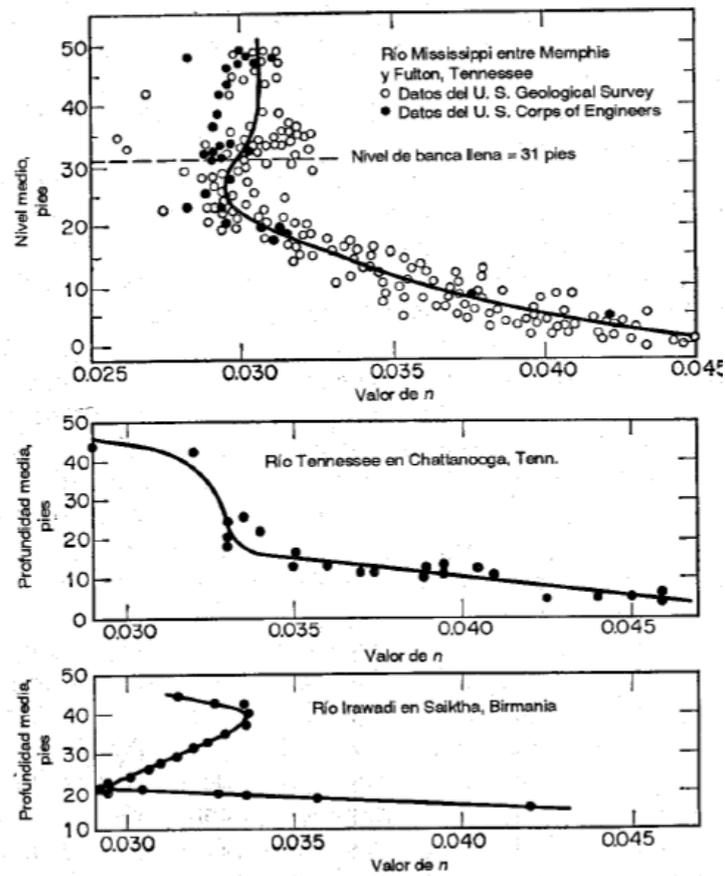


Figura 3.1 Variación del valor de n con el nivel medio o la profundidad (Chow, 1994)

Nivel y Caudal

Por lo general, en la mayor parte de corrientes el valor de n disminuye con el aumento del nivel y del caudal. Cuando el agua es poco profunda, las irregularidades que presenta el fondo del canal quedan expuestas y sus efectos son mucho más notorios.

Sin embargo, el valor de n puede ser grande en niveles altos si las banquetas están cubiertas por vegetación o si son rugosas. Cuando el caudal es muy alto, el flujo puede llegar a rebosar los valles de inundaciones, el valor de n en estos valles por lo general es mayor que el del canal en sí y su magnitud depende de la condición superficial o de la vegetación, si el lecho y los valles de inundaciones de un canal son igualmente suaves y regulares, el valor de n puede permanecer constante para todos los niveles.

Esto se puede observar en la siguiente figura, esta muestra los valores de n para varios niveles de inundación de acuerdo con el tipo de cubierta vegetal y la profundidad de inundación. Sin embargo, nótese que la vegetación tiene un efecto importante solo hasta

cierto nivel y que el coeficiente de rugosidad puede considerarse constante para propósitos prácticos en la determinación de caudales de crecientes por encima de los valles de inundación (Chow, 1994).

Profundidad de agua, pies	Sección del canal	Cubierta de la planicie de inundación				
		Maíz	Pastos	Vegas	Pastos de grano	Maleza y basuras
Por debajo de 1	0.03	0.06	0.05	0.10	0.10	0.12
1 a 2	0.03	0.06	0.05	0.08	0.09	0.11
2 a 3	0.03	0.07	0.04	0.07	0.08	0.10
3 a 4	0.03	0.07	0.04	0.06	0.07	0.09
Por encima de 4	0.03	0.06	0.04	0.05	0.06	0.08

Figura 3.2 Valores de n para varios niveles en el río Nishnabotna, Iowa (Chow, 1994)

Cambio Estacional

En dependencia de la época del año, se producirá crecimiento de plantas acuáticas, hierbas, malezas, y árboles en el canal o en las bancas, el valor de n puede aumentar en invierno y disminuir en verano. Este cambio estacional puede producir variaciones en otros factores (Chow, 1994).

Material en suspensión y carga de lecho

El material en suspensión y la carga de lecho, ya sea en movimiento o no, consumirá energía y causará una pérdida de altura e incrementará la rugosidad aparente del canal. Se debe tener en cuenta que aquellas condiciones que tiendan a inducir la turbulencia y causar retardo incrementará el valor de n , y aquellas que tiendan a reducir la turbulencia y el retardo disminuirán el valor de n . (Chow, 1994)

3.2 Métodos Aplicados

Existen varias fórmulas empíricas que permiten determinar el valor n de Manning las cuales toman en cuenta el diámetro de las partículas que componen el lecho del río. Así diferentes autores utilizan en sus fórmulas diámetros como: d_{90} , d_{84} , d_{65} , d_{50} , razón por lo cual los resultados pueden ser distintos.

Formula de Meyer-Peter y Müller (1948)

Eugene Meyer Peter nació en Appenzell, Suiza en el año de 1883, realizó sus estudios en el Instituto Federal Suizo de Tecnología (ETH) entre el año de 1901 a 1905. Durante 14 años realizó construcciones de puertos, muelles y proyectos en plantas de energía, posteriormente fue profesor en el ETH en donde ganó prestigio como investigador a nivel internacional. Incentivó a la construcción del laboratorio de hidráulica en el año de 1930. Después de 22 años se retiró del instituto y de director del instituto de hidráulica y mecánica se suelo. Falleció a la edad de 86 años en la ciudad de Zúrich.

Roberto Müller nació en Baden, Suiza en 1908, realizó sus estudios en el Instituto Federal Suizo de Tecnología (ETH) en la ciudad de Zúrich. En el año de 1931 se convirtió en el asistente del profesor Eugene Meyer Peter. Estos dos investigadores junto a Hans Albert Einstein y Henry Farve trabajaron en la ecuación de transporte de la capa de fondo. En el año de 1957 Müller se retira de profesor del ETH para formar parte de un proyecto que consistía en conectar tres lagos naturales (Murten, Neuchatel y Bienne), falleció en el año de 1987.

Ecuación para transporte de fondo

$$bg = 8Y_s(g\Delta D^3)^{0.5} \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{0.5} \tau * -0.047 \right]^{1.5} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

En donde

Y_s =Peso específico de las partículas en Kg/m³

Δ =Densidad relativa de las partículas sumergidas

g =Aceleración debido a la gravedad (m/s²)

D =Diámetro de las partículas (m)

n =Coeficiente de rugosidad según Manning

n' =Coeficiente de rugosidad de Manning asociado a las partículas (se obtiene de la relación)

$$n = 0.038 * (d_{90})^{\frac{1}{6}} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Formula del diámetro medio del material de fondo

$$D_m = \frac{\sum D_i * P_i}{100} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Donde

D_i =diámetro medio de cada fracción en la que se divide la curva granulométrica, en m

P_i =porcentaje en peso de cada fracción de la muestra, con diámetro D_i

Para determinar el coeficiente de rugosidad los autores proponen que esta fórmula se utilice para materiales no cohesivos de partículas predominantemente gruesas.

Formula de Meyer Peter-Müller

$$n = 0.038 * (d_{90})^{\frac{1}{6}} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

Donde:

d_{90} es el diámetro en (metros) del material del lecho, tal que el 90% en peso es menor.

(Fernandez de Cordova , 2018)

Formula de Raudkin (1976)

$$n = 0.013 * (d_{65})^{\frac{1}{6}} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

Donde:

d_{65} es el diámetro en (milímetros) del material del lecho, tal que el 65% del material en peso es menor.

(Gilberto Sotelo Avila, 2002)

Formula de Limerinos (1970)

Limerinos establece que el coeficiente de rugosidad está directamente relacionado con el diámetro característico presente en el lecho del río y la distribución de tamaño de partículas en el río. Estos elementos se combinan a uno solo mediante la ponderación del tamaño de las partículas.

Los tamaños de las partículas que fueron utilizados en el estudio corresponden al 16%, 50% y 84%, obtenidos en una distribución de frecuencia acumuladas de los diámetros del material que componen el cauce, además estos pertenecen a un muestro aleatorio. (Limerinos, 1970)

Diámetro característico del 84 %

Este parámetro de la rugosidad se relacionó primero con la suavidad relativa basado en el tamaño del 84% de las partículas. Se conoce que los elementos más grandes del arroyo en un canal tienen un efecto retardante muy grande con respecto a la velocidad, por lo tanto, se esperó que tenga una relación altamente significativa utilizando distintos valores de d_{84} para cada ecuación.

$$n = \frac{0.1129 * R^{\frac{1}{6}}}{1.16 + 2 \log\left(\frac{R}{d_{84}}\right)} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

Donde:

R es radio hidráulico en metros, y ($0.3 \leq R \leq 1.83$)

d_{84} es el diámetro del material (m) del lecho, que iguala o excede el 84% de las partículas (Fernandez de Cordova , 2018)

Fórmula de HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa desarrollado conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center del United Army Corps of Engineering y el Environmental System Research Institute, utilizado para la modelación hidráulica unidimensional que permite realizar cuatro tipos de análisis hidrológicos.

- Modelación de flujo en régimen permanente
- Modelación de flujo en régimen no permanente
- Modelación del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Esta fórmula depende de un parámetro muy utilizado en el diseño hidráulico de canales como es la rugosidad absoluta k . La rugosidad está en directa relación con el tamaño de las partículas y utilizar la misma para el cálculo de la n tiene la ventaja de reflejar la variación del factor de fricción en cada instante, para esta tesis este valor de k se asumió igual al d_{50} , el cual corresponde al diámetro del material en (m) del lecho del río, que iguala o excede el 50% de las partículas.

$$n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{18 \log\left(12.2 \frac{R}{k}\right)} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

Donde:

R es el radio hidráulico en metros

k es la rugosidad en metros.

Fórmula de Garde y Raju (1976)

Estos autores establecieron que los datos analizados por Strickler provenían de varios ríos de Suiza, con lecho formado con material predominantemente grueso.

$$n = 0.047 * (d_{50})^{\frac{1}{6}} \quad \text{(Ecuación 3.9)}$$

Donde:

D₅₀ es el diámetro en (metros) del material del lecho, tal que el 50% del material en peso es menor. (Fernandez de Cordova , 2018)

Fórmula Jarret (1984)

Desarrolló una ecuación para cauces con S_o>0.002 estudiando más de veinte cauces

$$n = 0.39 * S_f^{0.38} * R^{-0.16} \quad \text{(Ecuación 3.10)}$$

Donde:

S_f es la pendiente de la rasante friccional, si no se conoce se iguala a la del agua y R se expresa en metros. (Fernandez de Cordova , 2018)

3.3 Métodos no aplicados

Método de Cowan

Cowan propuso la siguiente ecuación para calcular el valor de n

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m^5 \quad \text{(Ecuación 3.11)}$$

en donde n₀ es un valor básico de n para un canal recto , uniforme y liso , n₁ es un valor que debe agregarse al n₀ para corregir el efecto de la rugosidad superficial , n₂ es un valor para considerar las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal , n₃

es un valor que toma en cuenta las obstrucciones , n_4 es un valor para considera la vegetación y las condiciones de flujo , y m_5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal .Los valores de n_0 a n_4 y m_5 pueden seleccionarse de la figura que está sujeta a condiciones dadas .

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Figura 3.3 Valores a seleccionar mediante el método de Cowan (Chow, 1994)

Coefficiente de rugosidad mediante tablas

La siguiente tabla presenta una lista de valores de n para canales de diferentes clases, para cada tipo de canal se muestran los valores mínimo, normal y máximo de n . Los valores normales para canales artificiales dados en tabla se recomiendan solo para canales con buen mantenimiento. Los números en negrilla son los valores a menudo recomendados para diseño. Esta tabla es bastante extensa, pero en este trabajo se coloca solo aquella en la cual se vea involucrada canales o cauces naturales los cuales son de nuestro interés.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
C. Excavado o dragado			
a. En tierra, recto y uniforme			
1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
b. En tierra, serpenteante y lento			
1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
c. Excavado con pala o dragado			
1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
d. Cortes en roca			
1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
D. Corrientes naturales			
D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150

Figura 3.4 Valores de n de Ven Te Chow (Chow, 1994)

Método basado en fotografías

El método consiste en realizar una comparación entre la zona de estudio y otros cauces en los cuales ya se conozca el coeficiente de rugosidad, esta comparación se la realiza mediante fotografías representativas y descripciones que coincidan con la zona de estudio. A continuación, se presentan algunos tipos de fotografías, con su respectiva descripción.



Figura 3.5 Valores de n según características del de canal (Chow, 1994)

Descripción:

$n=0.035$. Canal natural, pendientes laterales algo irregulares; fondo más o menos nivelado limpio y regular; en arcilla limosa gris claro a marga limosa marrón claro; muy poca variación en la sección transversal.



Figura 3.6 Valores de n según características del de canal (Chow, 1994)

Descripción:

$n=0.150$. Río natural en un suelo de arcilla arenosa. Alineamientos muy sinuosos, pendientes laterales irregulares y fondo disparejo. Muchas raíces, árboles y matorrales, troncos largos y otros residuos flotantes sobre el fondo; arboles caen continuamente al canal debido a la socavación de las bancas.

CAPITULO 4: OBTENCION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

4.1 Introducción

Los valores de área mojada, perímetro mojado y nivel máximo de crecida que se mostrarán más adelante fueron obtenidos mediante los levantamientos topográficos correspondientes en cada una de las estaciones, estos levantamientos topográficos se presentan en el anexo 1, además se elaboró un manual en formato digital (anexo 3) en donde se encuentra el cálculo del coeficiente de rugosidad para diferentes alturas de agua. A continuación, se mostrarán los valores del coeficiente de rugosidad tanto para aguas arriba como para aguas abajo y una breve descripción del canal, esto se lo realizará para las treinta y un secciones estudiadas en el río Tomebamba, se explica como ejemplo el proceso de tres estaciones, los resultados del resto de secciones se encuentran en el anexo 2.

4.2 Resultados del Coeficiente de Rugosidad para las estaciones

4.2.1 Puente Restaurante Dos Chorreras

4.2.1.1 Descripción del Canal

El canal se compone principalmente de andesita con gravas bien y mal graduadas el diámetro promedio en la sección es de 0.22 metros. Las orillas se encuentran cubiertas por flora, propia del lugar.

Número de Estación: 3

Ubicación: Se encuentra en las coordenadas UTM 9691832 Norte y 703905 Este, a 3440.384 m.s.n.m, este puente forma parte de la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal.

4.2.1.2 Propiedades

Los cálculos se realizaron con un nivel máximo de crecida de 1.903 metros para aguas arriba y 1.255 metros para aguas abajo.

Área de drenaje:

Aguas Arriba: 22.610 m²

Aguas Abajo: 7.263 m²

Perímetro mojado:

Aguas Arriba: 33.529 m

Aguas Abajo: 20.095 m

Coeficiente de Rugosidad:

Meyer Peter y Müller (1948): $n = 0.033$

Raudkin (1976): $n = 0.032$

Garde y Raju (1976): $n = 0.035$

Limerinos (1970)

Aguas Arriba: $n = 0.062$

Aguas Abajo: $n = 0.082$

HEC-RAS (2016)

Aguas Arriba: $n = 0.030$

Aguas Abajo: $n = 0.033$

JARRET (1984)

Aguas Arriba: $n = 0.054$

Aguas Abajo: $n = 0.060$

4.2.1.3 Fotografías del Lugar



Figura 4.1 Foto General del Puente Restaurante Dos Chorreras



Figura 4.2 Foto Aguas Arriba del Puente Restaurante Dos Chorreras



Figura 4.3 Foto Aguas Abajo del Puente Restaurante Dos Chorreras

4.2.2 Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional

4.2.2.1 Descripción del Canal

El canal se compone principalmente de andesita con gravas bien y mal graduadas el diámetro promedio en la sección es de 0.19 metros. Las orillas se encuentran cubiertas principalmente por plantas endémicas de la zona, los árboles de eucalipto son comunes del sector.

Nombre de la Estación: Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional

Número de Estación: 20

Ubicación: Se encuentra en las coordenadas UTM 9680050 Norte y 720210 Este, a 2573.692 m.s.n.m, se encuentra a pocos metros del coliseo Jefferson Pérez Quezada.

4.2.2.2 Propiedades

Los cálculos se realizaron con un nivel máximo de crecida para aguas arriba de 3.09 m y 5.15 m para aguas abajo.

Área de drenaje:

Aguas Arriba: 71.555 m²

Aguas Abajo: 113.456 m²

Perímetro mojado:

Aguas Arriba: 61.650 m

Aguas Abajo: 61.666 m

Coefficiente de Rugosidad:

Meyer Peter y Müller (1948): $n = 0.032$

Raudkin (1976): $n = 0.031$

Garde y Raju (1976): $n = 0.033$

Limerinos (1970)

Aguas Arriba: $n = 0.048$

Aguas Abajo: $n = 0.044$

HEC-RAS (2016)

Aguas Arriba: $n = 0.028$

Aguas Abajo: n= 0.027

JARRET (1984)

Aguas Arriba: n= 0.093

Aguas Abajo: n= 0.087

4.2.2.3 Fotografías del Lugar



Figura 4.4 Foto General del Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional



Figura 4.5 Foto Aguas Arriba del Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional



Figura 4.6 Foto Aguas Abajo del Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional

4.2.3 Puente Peatonal Facultad de Medicina

4.2.3.1 Descripción del Canal

El canal se compone principalmente de andesita con gravas bien y mal graduadas el diámetro promedio en la sección es de 0.27 metros. En sus orillas existen diferentes tipos de plantas, sus taludes en su totalidad son cubiertos de llano, existen arbustos de pequeño y mediano tamaño.

Nombre de la Estación: Puente Peatonal Facultad Medicina

Número de Estación: 31

Ubicación: Se encuentra en las coordenadas UTM 9678252 Norte y 723244 Este a 2506.203 m.s.n.m , en sus cercanías se encuentra la facultad de medicina de la Universidad de Cuenca

4.2.3.2 Propiedades

Los niveles máximos de crecida registrados en la sección para aguas arriba y para aguas abajo son de 1.682 m y 2.557 m respectivamente.

Área de drenaje:

Aguas Arriba: 23.007 m²

Aguas Abajo: 41.384 m²

Perímetro mojado:

Aguas Arriba: 35.560 m

Aguas Abajo: 41.887 m

Coefficiente de Rugosidad:

Meyer Peter y Müller (1948): $n = 0.034$

Raudkin (1976): $n = 0.034$

Garde y Raju (1976): $n = 0.036$

Limerinos (1970)

Aguas Arriba: $n = 0.070$

Aguas Abajo: $n = 0.060$

HEC-RAS (2016)

Aguas Arriba: n= 0.033

Aguas Abajo: n= 0.032

JARRET (1984)

Aguas Arriba: n= 0.066

Aguas Abajo: n= 0.062

4.2.3.3 Fotografías del Lugar



Figura 4.7 Foto General del Puente Peatonal Facultad de Medicina



Figura 4.8 Foto Aguas Arriba del Puente Peatonal Facultad de Medicina



Figura 4.9 Foto Aguas Abajo del Puente Peatonal Facultad de Medicina

4.3 Ejemplo del Cálculo del Coeficiente de Rugosidad

4.3.1 Puente Escalinata-Parque de la Madre

NOMBRE DEL PUENTE:	ESCALINATA-PARQUE DE LA MADRE	DETERMINACION (D90)	
NUMERO	DIÁMETRO DE PIEDRAS(m)	ORDENADO ASCENDENTEMENTE	
AGUAS ARRIBA			
1	0.21	1	0.05
2	0.1	2	0.05
3	0.18	3	0.05
4	1.25	4	0.06
5	0.96	5	0.06
6	0.4	6	0.06
7	0.18	7	0.06
8	0.96	8	0.06
9	0.17	9	0.06
10	0.75	10	0.06
11	0.32	11	0.06
12	0.44	12	0.06
13	0.5	13	0.06
14	0.08	14	0.06
15	0.11	15	0.06
16	0.07	16	0.06
17	0.18	17	0.06
18	0.08	18	0.07
19	0.12	19	0.07
20	0.1	20	0.07
21	0.12	21	0.07
22	0.22	22	0.07
23	0.12	23	0.07
24	0.15	24	0.07
25	0.07	25	0.07
26	0.08	26	0.07
27	0.45	27	0.07
28	0.12	28	0.07
29	0.22	29	0.07
30	0.08	30	0.07
31	0.16	31	0.07
32	0.27	32	0.07
33	0.12	33	0.07
34	0.08	34	0.07
35	0.06	35	0.07
36	0.06	36	0.07

37	0.07	37	0.07
38	0.07	38	0.07
39	0.07	39	0.07
40	0.08	40	0.07
41	0.08	41	0.07
42	0.15	42	0.07
43	0.1	43	0.07
44	0.06	44	0.07
45	0.07	45	0.07
46	0.34	46	0.07
47	0.06	47	0.07
48	0.08	48	0.07
49	0.31	49	0.08
50	0.09	50	0.08
51	0.09	51	0.08
52	0.07	52	0.08
53	0.33	53	0.08
54	0.19	54	0.08
55	0.1	55	0.08
56	0.19	56	0.08
57	0.07	57	0.08
58	0.08	58	0.08
59	0.25	59	0.08
60	0.4	60	0.08
61	0.05	61	0.08
62	0.07	62	0.08
63	0.05	63	0.08
64	0.13	64	0.08
65	0.06	65	0.08
66	0.07	66	0.08
67	0.16	67	0.08
68	0.08	68	0.08
69	0.1	69	0.08
70	0.08	70	0.08
71	0.07	71	0.08
72	0.09	72	0.08
73	0.08	73	0.08
74	0.07	74	0.08
75	0.09	75	0.08
76	0.08	76	0.08
77	0.2	77	0.08
78	0.09	78	0.08
79	0.28	79	0.09
80	0.07	80	0.09
81	0.32	81	0.09

82	0.1	82	0.09
83	0.27	83	0.09
84	0.68	84	0.09
85	0.3	85	0.09
86	0.09	86	0.09
87	0.12	87	0.09
88	0.08	88	0.09
89	0.25	89	0.09
90	0.11	90	0.09
91	0.22	91	0.09
92	0.27	92	0.09
93	0.34	93	0.09
94	0.13	94	0.09
95	0.13	95	0.09
96	0.19	96	0.09
97	0.47	97	0.09
98	0.21	98	0.09
99	0.19	99	0.09
100	0.28	100	0.09
101	0.11	101	0.09
102	0.3	102	0.09
103	0.36	103	0.09
104	0.15	104	0.09
105	0.21	105	0.09
106	0.25	106	0.09
107	0.19	107	0.09
108	0.18	108	0.09
109	0.42	109	0.09
110	0.25	110	0.09
111	0.16	111	0.09
112	0.13	112	0.09
113	0.59	113	0.09
114	0.13	114	0.1
115	0.18	115	0.1
116	0.32	116	0.1
117	0.15	117	0.1
118	0.16	118	0.1
119	0.1	119	0.1
120	0.49	120	0.1
121	0.43	121	0.1
122	0.45	122	0.1
123	0.41	123	0.1
124	0.13	124	0.1
125	0.09	125	0.1
126	0.08	126	0.1

127	0.07	127	0.1
128	0.24	128	0.1
129	0.15	129	0.1
130	0.12	130	0.1
131	0.29	131	0.1
132	0.08	132	0.1
133	0.14	133	0.1
134	0.1	134	0.1
135	0.08	135	0.1
136	0.12	136	0.1
137	0.15	137	0.1
138	0.28	138	0.1
139	0.11	139	0.1
140	0.14	140	0.1
141	0.09	141	0.1
142	0.12	142	0.1
143	0.11	143	0.11
144	0.2	144	0.11
145	0.23	145	0.11
146	0.22	146	0.11
147	0.34	147	0.11
148	0.29	148	0.11
149	0.16	149	0.11
150	0.35	150	0.11
151	0.11	151	0.11
152	0.34	152	0.11
153	0.14	153	0.11
154	0.22	154	0.11
155	0.23	155	0.11
156	0.13	156	0.11
157	0.08	157	0.11
158	0.17	158	0.11
159	0.09	159	0.11
160	0.11	160	0.12
161	0.24	161	0.12
162	0.26	162	0.12
163	0.16	163	0.12
164	0.23	164	0.12
165	0.32	165	0.12
166	0.17	166	0.12
167	0.15	167	0.12
168	0.12	168	0.12
169	0.08	169	0.12
170	0.07	170	0.12
171	0.14	171	0.12

172	0.22	172	0.12
173	0.35	173	0.12
174	0.33	174	0.12
175	0.25	175	0.12
176	0.57	176	0.12
177	0.09	177	0.12
178	0.35	178	0.12
179	0.1	179	0.12
180	0.17	180	0.12
181	0.17	181	0.12
182	0.1	182	0.12
183	0.11	183	0.13
184	0.19	184	0.13
185	0.14	185	0.13
186	0.08	186	0.13
187	0.07	187	0.13
188	0.09	188	0.13
189	0.25	189	0.13
190	0.07	190	0.13
191	0.1	191	0.13
192	0.12	192	0.13
193	0.1	193	0.13
194	0.1	194	0.13
195	0.15	195	0.13
196	0.07	196	0.13
197	0.15	197	0.13
198	0.11	198	0.13
199	0.05	199	0.13
200	0.16	200	0.13
201	0.1	201	0.13
202	0.09	202	0.13
203	0.31	203	0.13
204	0.15	204	0.13
205	0.07	205	0.14
206	0.13	206	0.14
207	0.1	207	0.14
208	0.2	208	0.14
209	0.16	209	0.14
210	0.12	210	0.14
211	0.1	211	0.14
212	0.21	212	0.14
213	0.07	213	0.14
214	0.16	214	0.14
215	0.09	215	0.14
216	0.12	216	0.15

AGUAS ABAJO		217	0.15
1	0.09	218	0.15
2	0.44	219	0.15
3	0.11	220	0.15
4	0.7	221	0.15
5	0.13	222	0.15
6	0.11	223	0.15
7	0.15	224	0.15
8	0.22	225	0.15
9	0.24	226	0.15
10	0.29	227	0.15
11	0.17	228	0.15
12	0.26	229	0.15
13	0.24	230	0.15
14	0.46	231	0.15
15	0.21	232	0.15
16	0.34	233	0.16
17	0.22	234	0.16
18	0.4	235	0.16
19	0.1	236	0.16
20	0.21	237	0.16
21	0.37	238	0.16
22	0.15	239	0.16
23	0.25	240	0.16
24	0.13	241	0.16
25	0.57	242	0.16
26	0.1	243	0.17
27	0.13	244	0.17
28	0.42	245	0.17
29	0.13	246	0.17
30	0.57	247	0.17
31	0.4	248	0.17
32	0.16	249	0.17
33	0.09	250	0.17
34	0.46	251	0.17
35	0.13	252	0.17
36	0.15	253	0.17
37	0.1	254	0.17
38	0.35	255	0.18
39	0.18	256	0.18
40	0.33	257	0.18
41	0.42	258	0.18
42	0.36	259	0.18
43	0.25	260	0.18
44	0.1	261	0.18

45	0.33	262	0.18
46	0.38	263	0.19
47	0.17	264	0.19
48	0.36	265	0.19
49	0.13	266	0.19
50	0.29	267	0.19
51	0.44	268	0.19
52	0.34	269	0.19
53	0.59	270	0.19
54	0.24	271	0.19
55	0.09	272	0.19
56	0.6	273	0.19
57	0.36	274	0.2
58	0.09	275	0.2
59	0.12	276	0.2
60	0.2	277	0.2
61	0.1	278	0.2
62	0.17	279	0.21
63	0.11	280	0.21
64	0.14	281	0.21
65	0.12	282	0.21
66	0.13	283	0.21
67	0.26	284	0.21
68	0.23	285	0.21
69	0.21	286	0.21
70	0.07	287	0.21
71	0.32	288	0.22
72	0.06	289	0.22
73	0.14	290	0.22
74	0.08	291	0.22
75	0.25	292	0.22
76	0.22	293	0.22
77	0.12	294	0.22
78	0.12	295	0.22
79	0.13	296	0.22
80	0.19	297	0.22
81	0.1	298	0.22
82	0.18	299	0.23
83	0.23	300	0.23
84	0.45	301	0.23
85	0.19	302	0.23
86	0.46	303	0.23
87	0.09	304	0.23
88	0.14	305	0.23
89	0.21	306	0.24

90	0.09	307	0.24
91	0.1	308	0.24
92	0.47	309	0.24
93	0.43	310	0.24
94	0.37	311	0.25
95	0.26	312	0.25
96	0.07	313	0.25
97	0.17	314	0.25
98	0.09	315	0.25
99	0.13	316	0.25
100	0.18	317	0.25
101	0.17	318	0.25
102	0.09	319	0.25
103	0.35	320	0.25
104	0.1	321	0.25
105	0.06	322	0.25
106	0.06	323	0.26
107	0.09	324	0.26
108	0.15	325	0.26
109	0.08	326	0.26
110	0.08	327	0.27
111	0.09	328	0.27
112	0.08	329	0.27
113	0.06	330	0.28
114	0.06	331	0.28
115	0.19	332	0.28
116	0.07	333	0.29
117	0.08	334	0.29
118	0.1	335	0.29
119	0.11	336	0.29
120	0.08	337	0.29
121	0.1	338	0.3
122	0.13	339	0.3
123	0.19	340	0.31
124	0.14	341	0.31
125	0.07	342	0.31
126	0.13	343	0.32
127	0.15	344	0.32
128	0.07	345	0.32
129	0.06	346	0.32
130	0.08	347	0.32
131	0.13	348	0.32
132	0.31	349	0.33
133	0.09	350	0.33
134	0.17	351	0.33

135	0.11	352	0.33
136	0.06	353	0.34
137	0.07	354	0.34
138	0.14	355	0.34
139	0.09	356	0.34
140	0.09	357	0.34
141	0.14	358	0.34
142	0.1	359	0.35
143	0.12	360	0.35
144	0.4	361	0.35
145	0.09	362	0.35
146	0.06	363	0.35
147	0.25	364	0.36
148	0.1	365	0.36
149	14	366	0.36
150	0.08	367	0.36
151	0.08	368	0.37
152	0.59	369	0.37
153	0.12	370	0.38
154	0.11	371	0.38
155	0.21	372	0.38
156	0.44	373	0.4
157	0.15	374	0.4
158	0.07	375	0.4
159	0.12	376	0.4
160	0.09	377	0.4
161	0.09	378	0.41
162	0.12	379	0.42
163	0.1	380	0.42
164	0.13	381	0.42
165	0.12	382	0.43
166	0.22	383	0.43
167	0.07	384	0.43
168	0.15	385	0.44
169	0.25	386	0.44
170	0.07	387	0.44
171	0.07	388	0.44
172	0.09	389	0.45
173	0.11	390	0.45
174	0.06	391	0.45
175	0.09	392	0.46
176	0.23	393	0.46
177	0.08	394	0.46
178	0.32	395	0.47
179	0.38	396	0.47

180	0.17	397	0.49
181	0.5	398	0.5
182	0.09	399	0.5
183	0.09	400	0.57
184	0.07	401	0.57
185	0.09	402	0.57
186	0.2	403	0.59
187	0.29	404	0.59
188	0.43	405	0.59
189	0.22	406	0.6
190	0.67	407	0.65
191	0.78	408	0.67
192	0.23	409	0.68
193	0.65	410	0.7
194	0.13	411	0.75
195	0.12	412	0.78
196	0.25	413	0.96
197	0.11	414	0.96
198	0.19	415	1.25
199	0.09	416	14
200	0.38		

Tabla 4.1: Diámetros de la estación Escalinata-Parque de la Madre y diámetro característico (D90)

DETERMINACION (D84)		DETERMINACION (D65)		DETERMINACION (D50)	
ORDENADO ASCENDENTEMENTE		ORDENADO ASCENDENTEMENTE		ORDENADO ASCENDENTEMENTE	
1	0.05	1	0.05	1	0.05
2	0.05	2	0.05	2	0.05
3	0.05	3	0.05	3	0.05
4	0.06	4	0.06	4	0.06
5	0.06	5	0.06	5	0.06
6	0.06	6	0.06	6	0.06
7	0.06	7	0.06	7	0.06
8	0.06	8	0.06	8	0.06
9	0.06	9	0.06	9	0.06
10	0.06	10	0.06	10	0.06
11	0.06	11	0.06	11	0.06
12	0.06	12	0.06	12	0.06
13	0.06	13	0.06	13	0.06
14	0.06	14	0.06	14	0.06
15	0.06	15	0.06	15	0.06
16	0.06	16	0.06	16	0.06

17	0.06	17	0.06	17	0.06
18	0.07	18	0.07	18	0.07
19	0.07	19	0.07	19	0.07
20	0.07	20	0.07	20	0.07
21	0.07	21	0.07	21	0.07
22	0.07	22	0.07	22	0.07
23	0.07	23	0.07	23	0.07
24	0.07	24	0.07	24	0.07
25	0.07	25	0.07	25	0.07
26	0.07	26	0.07	26	0.07
27	0.07	27	0.07	27	0.07
28	0.07	28	0.07	28	0.07
29	0.07	29	0.07	29	0.07
30	0.07	30	0.07	30	0.07
31	0.07	31	0.07	31	0.07
32	0.07	32	0.07	32	0.07
33	0.07	33	0.07	33	0.07
34	0.07	34	0.07	34	0.07
35	0.07	35	0.07	35	0.07
36	0.07	36	0.07	36	0.07
37	0.07	37	0.07	37	0.07
38	0.07	38	0.07	38	0.07
39	0.07	39	0.07	39	0.07
40	0.07	40	0.07	40	0.07
41	0.07	41	0.07	41	0.07
42	0.07	42	0.07	42	0.07
43	0.07	43	0.07	43	0.07
44	0.07	44	0.07	44	0.07
45	0.07	45	0.07	45	0.07
46	0.07	46	0.07	46	0.07
47	0.07	47	0.07	47	0.07
48	0.07	48	0.07	48	0.07
49	0.08	49	0.08	49	0.08
50	0.08	50	0.08	50	0.08
51	0.08	51	0.08	51	0.08
52	0.08	52	0.08	52	0.08
53	0.08	53	0.08	53	0.08
54	0.08	54	0.08	54	0.08
55	0.08	55	0.08	55	0.08
56	0.08	56	0.08	56	0.08
57	0.08	57	0.08	57	0.08
58	0.08	58	0.08	58	0.08
59	0.08	59	0.08	59	0.08
60	0.08	60	0.08	60	0.08
61	0.08	61	0.08	61	0.08

62	0.08	62	0.08	62	0.08
63	0.08	63	0.08	63	0.08
64	0.08	64	0.08	64	0.08
65	0.08	65	0.08	65	0.08
66	0.08	66	0.08	66	0.08
67	0.08	67	0.08	67	0.08
68	0.08	68	0.08	68	0.08
69	0.08	69	0.08	69	0.08
70	0.08	70	0.08	70	0.08
71	0.08	71	0.08	71	0.08
72	0.08	72	0.08	72	0.08
73	0.08	73	0.08	73	0.08
74	0.08	74	0.08	74	0.08
75	0.08	75	0.08	75	0.08
76	0.08	76	0.08	76	0.08
77	0.08	77	0.08	77	0.08
78	0.08	78	0.08	78	0.08
79	0.09	79	0.09	79	0.09
80	0.09	80	0.09	80	0.09
81	0.09	81	0.09	81	0.09
82	0.09	82	0.09	82	0.09
83	0.09	83	0.09	83	0.09
84	0.09	84	0.09	84	0.09
85	0.09	85	0.09	85	0.09
86	0.09	86	0.09	86	0.09
87	0.09	87	0.09	87	0.09
88	0.09	88	0.09	88	0.09
89	0.09	89	0.09	89	0.09
90	0.09	90	0.09	90	0.09
91	0.09	91	0.09	91	0.09
92	0.09	92	0.09	92	0.09
93	0.09	93	0.09	93	0.09
94	0.09	94	0.09	94	0.09
95	0.09	95	0.09	95	0.09
96	0.09	96	0.09	96	0.09
97	0.09	97	0.09	97	0.09
98	0.09	98	0.09	98	0.09
99	0.09	99	0.09	99	0.09
100	0.09	100	0.09	100	0.09
101	0.09	101	0.09	101	0.09
102	0.09	102	0.09	102	0.09
103	0.09	103	0.09	103	0.09
104	0.09	104	0.09	104	0.09
105	0.09	105	0.09	105	0.09
106	0.09	106	0.09	106	0.09

107	0.09	107	0.09	107	0.09
108	0.09	108	0.09	108	0.09
109	0.09	109	0.09	109	0.09
110	0.09	110	0.09	110	0.09
111	0.09	111	0.09	111	0.09
112	0.09	112	0.09	112	0.09
113	0.09	113	0.09	113	0.09
114	0.1	114	0.1	114	0.1
115	0.1	115	0.1	115	0.1
116	0.1	116	0.1	116	0.1
117	0.1	117	0.1	117	0.1
118	0.1	118	0.1	118	0.1
119	0.1	119	0.1	119	0.1
120	0.1	120	0.1	120	0.1
121	0.1	121	0.1	121	0.1
122	0.1	122	0.1	122	0.1
123	0.1	123	0.1	123	0.1
124	0.1	124	0.1	124	0.1
125	0.1	125	0.1	125	0.1
126	0.1	126	0.1	126	0.1
127	0.1	127	0.1	127	0.1
128	0.1	128	0.1	128	0.1
129	0.1	129	0.1	129	0.1
130	0.1	130	0.1	130	0.1
131	0.1	131	0.1	131	0.1
132	0.1	132	0.1	132	0.1
133	0.1	133	0.1	133	0.1
134	0.1	134	0.1	134	0.1
135	0.1	135	0.1	135	0.1
136	0.1	136	0.1	136	0.1
137	0.1	137	0.1	137	0.1
138	0.1	138	0.1	138	0.1
139	0.1	139	0.1	139	0.1
140	0.1	140	0.1	140	0.1
141	0.1	141	0.1	141	0.1
142	0.1	142	0.1	142	0.1
143	0.11	143	0.11	143	0.11
144	0.11	144	0.11	144	0.11
145	0.11	145	0.11	145	0.11
146	0.11	146	0.11	146	0.11
147	0.11	147	0.11	147	0.11
148	0.11	148	0.11	148	0.11
149	0.11	149	0.11	149	0.11
150	0.11	150	0.11	150	0.11
151	0.11	151	0.11	151	0.11

152	0.11	152	0.11	152	0.11
153	0.11	153	0.11	153	0.11
154	0.11	154	0.11	154	0.11
155	0.11	155	0.11	155	0.11
156	0.11	156	0.11	156	0.11
157	0.11	157	0.11	157	0.11
158	0.11	158	0.11	158	0.11
159	0.11	159	0.11	159	0.11
160	0.12	160	0.12	160	0.12
161	0.12	161	0.12	161	0.12
162	0.12	162	0.12	162	0.12
163	0.12	163	0.12	163	0.12
164	0.12	164	0.12	164	0.12
165	0.12	165	0.12	165	0.12
166	0.12	166	0.12	166	0.12
167	0.12	167	0.12	167	0.12
168	0.12	168	0.12	168	0.12
169	0.12	169	0.12	169	0.12
170	0.12	170	0.12	170	0.12
171	0.12	171	0.12	171	0.12
172	0.12	172	0.12	172	0.12
173	0.12	173	0.12	173	0.12
174	0.12	174	0.12	174	0.12
175	0.12	175	0.12	175	0.12
176	0.12	176	0.12	176	0.12
177	0.12	177	0.12	177	0.12
178	0.12	178	0.12	178	0.12
179	0.12	179	0.12	179	0.12
180	0.12	180	0.12	180	0.12
181	0.12	181	0.12	181	0.12
182	0.12	182	0.12	182	0.12
183	0.13	183	0.13	183	0.13
184	0.13	184	0.13	184	0.13
185	0.13	185	0.13	185	0.13
186	0.13	186	0.13	186	0.13
187	0.13	187	0.13	187	0.13
188	0.13	188	0.13	188	0.13
189	0.13	189	0.13	189	0.13
190	0.13	190	0.13	190	0.13
191	0.13	191	0.13	191	0.13
192	0.13	192	0.13	192	0.13
193	0.13	193	0.13	193	0.13
194	0.13	194	0.13	194	0.13
195	0.13	195	0.13	195	0.13
196	0.13	196	0.13	196	0.13

197	0.13	197	0.13	197	0.13
198	0.13	198	0.13	198	0.13
199	0.13	199	0.13	199	0.13
200	0.13	200	0.13	200	0.13
201	0.13	201	0.13	201	0.13
202	0.13	202	0.13	202	0.13
203	0.13	203	0.13	203	0.13
204	0.13	204	0.13	204	0.13
205	0.14	205	0.14	205	0.14
206	0.14	206	0.14	206	0.14
207	0.14	207	0.14	207	0.14
208	0.14	208	0.14	208	0.14
209	0.14	209	0.14	209	0.14
210	0.14	210	0.14	210	0.14
211	0.14	211	0.14	211	0.14
212	0.14	212	0.14	212	0.14
213	0.14	213	0.14	213	0.14
214	0.14	214	0.14	214	0.14
215	0.14	215	0.14	215	0.14
216	0.15	216	0.15	216	0.15
217	0.15	217	0.15	217	0.15
218	0.15	218	0.15	218	0.15
219	0.15	219	0.15	219	0.15
220	0.15	220	0.15	220	0.15
221	0.15	221	0.15	221	0.15
222	0.15	222	0.15	222	0.15
223	0.15	223	0.15	223	0.15
224	0.15	224	0.15	224	0.15
225	0.15	225	0.15	225	0.15
226	0.15	226	0.15	226	0.15
227	0.15	227	0.15	227	0.15
228	0.15	228	0.15	228	0.15
229	0.15	229	0.15	229	0.15
230	0.15	230	0.15	230	0.15
231	0.15	231	0.15	231	0.15
232	0.15	232	0.15	232	0.15
233	0.16	233	0.16	233	0.16
234	0.16	234	0.16	234	0.16
235	0.16	235	0.16	235	0.16
236	0.16	236	0.16	236	0.16
237	0.16	237	0.16	237	0.16
238	0.16	238	0.16	238	0.16
239	0.16	239	0.16	239	0.16
240	0.16	240	0.16	240	0.16
241	0.16	241	0.16	241	0.16

242	0.16	242	0.16	242	0.16
243	0.17	243	0.17	243	0.17
244	0.17	244	0.17	244	0.17
245	0.17	245	0.17	245	0.17
246	0.17	246	0.17	246	0.17
247	0.17	247	0.17	247	0.17
248	0.17	248	0.17	248	0.17
249	0.17	249	0.17	249	0.17
250	0.17	250	0.17	250	0.17
251	0.17	251	0.17	251	0.17
252	0.17	252	0.17	252	0.17
253	0.17	253	0.17	253	0.17
254	0.17	254	0.17	254	0.17
255	0.18	255	0.18	255	0.18
256	0.18	256	0.18	256	0.18
257	0.18	257	0.18	257	0.18
258	0.18	258	0.18	258	0.18
259	0.18	259	0.18	259	0.18
260	0.18	260	0.18	260	0.18
261	0.18	261	0.18	261	0.18
262	0.18	262	0.18	262	0.18
263	0.19	263	0.19	263	0.19
264	0.19	264	0.19	264	0.19
265	0.19	265	0.19	265	0.19
266	0.19	266	0.19	266	0.19
267	0.19	267	0.19	267	0.19
268	0.19	268	0.19	268	0.19
269	0.19	269	0.19	269	0.19
270	0.19	270	0.19	270	0.19
271	0.19	271	0.19	271	0.19
272	0.19	272	0.19	272	0.19
273	0.19	273	0.19	273	0.19
274	0.2	274	0.2	274	0.2
275	0.2	275	0.2	275	0.2
276	0.2	276	0.2	276	0.2
277	0.2	277	0.2	277	0.2
278	0.2	278	0.2	278	0.2
279	0.21	279	0.21	279	0.21
280	0.21	280	0.21	280	0.21
281	0.21	281	0.21	281	0.21
282	0.21	282	0.21	282	0.21
283	0.21	283	0.21	283	0.21
284	0.21	284	0.21	284	0.21
285	0.21	285	0.21	285	0.21
286	0.21	286	0.21	286	0.21

287	0.21	287	0.21	287	0.21
288	0.22	288	0.22	288	0.22
289	0.22	289	0.22	289	0.22
290	0.22	290	0.22	290	0.22
291	0.22	291	0.22	291	0.22
292	0.22	292	0.22	292	0.22
293	0.22	293	0.22	293	0.22
294	0.22	294	0.22	294	0.22
295	0.22	295	0.22	295	0.22
296	0.22	296	0.22	296	0.22
297	0.22	297	0.22	297	0.22
298	0.22	298	0.22	298	0.22
299	0.23	299	0.23	299	0.23
300	0.23	300	0.23	300	0.23
301	0.23	301	0.23	301	0.23
302	0.23	302	0.23	302	0.23
303	0.23	303	0.23	303	0.23
304	0.23	304	0.23	304	0.23
305	0.23	305	0.23	305	0.23
306	0.24	306	0.24	306	0.24
307	0.24	307	0.24	307	0.24
308	0.24	308	0.24	308	0.24
309	0.24	309	0.24	309	0.24
310	0.24	310	0.24	310	0.24
311	0.25	311	0.25	311	0.25
312	0.25	312	0.25	312	0.25
313	0.25	313	0.25	313	0.25
314	0.25	314	0.25	314	0.25
315	0.25	315	0.25	315	0.25
316	0.25	316	0.25	316	0.25
317	0.25	317	0.25	317	0.25
318	0.25	318	0.25	318	0.25
319	0.25	319	0.25	319	0.25
320	0.25	320	0.25	320	0.25
321	0.25	321	0.25	321	0.25
322	0.25	322	0.25	322	0.25
323	0.26	323	0.26	323	0.26
324	0.26	324	0.26	324	0.26
325	0.26	325	0.26	325	0.26
326	0.26	326	0.26	326	0.26
327	0.27	327	0.27	327	0.27
328	0.27	328	0.27	328	0.27
329	0.27	329	0.27	329	0.27
330	0.28	330	0.28	330	0.28
331	0.28	331	0.28	331	0.28

332	0.28	332	0.28	332	0.28
333	0.29	333	0.29	333	0.29
334	0.29	334	0.29	334	0.29
335	0.29	335	0.29	335	0.29
336	0.29	336	0.29	336	0.29
337	0.29	337	0.29	337	0.29
338	0.3	338	0.3	338	0.3
339	0.3	339	0.3	339	0.3
340	0.31	340	0.31	340	0.31
341	0.31	341	0.31	341	0.31
342	0.31	342	0.31	342	0.31
343	0.32	343	0.32	343	0.32
344	0.32	344	0.32	344	0.32
345	0.32	345	0.32	345	0.32
346	0.32	346	0.32	346	0.32
347	0.32	347	0.32	347	0.32
348	0.32	348	0.32	348	0.32
349	0.33	349	0.33	349	0.33
350	0.33	350	0.33	350	0.33
351	0.33	351	0.33	351	0.33
352	0.33	352	0.33	352	0.33
353	0.34	353	0.34	353	0.34
354	0.34	354	0.34	354	0.34
355	0.34	355	0.34	355	0.34
356	0.34	356	0.34	356	0.34
357	0.34	357	0.34	357	0.34
358	0.34	358	0.34	358	0.34
359	0.35	359	0.35	359	0.35
360	0.35	360	0.35	360	0.35
361	0.35	361	0.35	361	0.35
362	0.35	362	0.35	362	0.35
363	0.35	363	0.35	363	0.35
364	0.36	364	0.36	364	0.36
365	0.36	365	0.36	365	0.36
366	0.36	366	0.36	366	0.36
367	0.36	367	0.36	367	0.36
368	0.37	368	0.37	368	0.37
369	0.37	369	0.37	369	0.37
370	0.38	370	0.38	370	0.38
371	0.38	371	0.38	371	0.38
372	0.38	372	0.38	372	0.38
373	0.4	373	0.4	373	0.4
374	0.4	374	0.4	374	0.4
375	0.4	375	0.4	375	0.4
376	0.4	376	0.4	376	0.4

377	0.4	377	0.4	377	0.4
378	0.41	378	0.41	378	0.41
379	0.42	379	0.42	379	0.42
380	0.42	380	0.42	380	0.42
381	0.42	381	0.42	381	0.42
382	0.43	382	0.43	382	0.43
383	0.43	383	0.43	383	0.43
384	0.43	384	0.43	384	0.43
385	0.44	385	0.44	385	0.44
386	0.44	386	0.44	386	0.44
387	0.44	387	0.44	387	0.44
388	0.44	388	0.44	388	0.44
389	0.45	389	0.45	389	0.45
390	0.45	390	0.45	390	0.45
391	0.45	391	0.45	391	0.45
392	0.46	392	0.46	392	0.46
393	0.46	393	0.46	393	0.46
394	0.46	394	0.46	394	0.46
395	0.47	395	0.47	395	0.47
396	0.47	396	0.47	396	0.47
397	0.49	397	0.49	397	0.49
398	0.5	398	0.5	398	0.5
399	0.5	399	0.5	399	0.5
400	0.57	400	0.57	400	0.57
401	0.57	401	0.57	401	0.57
402	0.57	402	0.57	402	0.57
403	0.59	403	0.59	403	0.59
404	0.59	404	0.59	404	0.59
405	0.59	405	0.59	405	0.59
406	0.6	406	0.6	406	0.6
407	0.65	407	0.65	407	0.65
408	0.67	408	0.67	408	0.67
409	0.68	409	0.68	409	0.68
410	0.7	410	0.7	410	0.7
411	0.75	411	0.75	411	0.75
412	0.78	412	0.78	412	0.78
413	0.96	413	0.96	413	0.96
414	0.96	414	0.96	414	0.96
415	1.25	415	1.25	415	1.25
416	14	416	14	416	14

Tabla 4.2 Diámetros Característicos D84 D65 y D50 (m) del puente Escalinata-Parque de la Madre

Selección de los diámetros característicos

Los diámetros seleccionados hacen referencia al 90, 84, 65 y 50 por ciento del total de las piedras que se encuentran en la sección analizada, esto abarca tanto aguas arriba como aguas abajo, a continuación, se presenta una tabla de los diámetros característicos seleccionados.

Diámetros Característicos			
D90(m)	D84(m)	D65(m)	D50(m)
0.4	0.33	0.19	0.14

Tabla 4.3 Diámetros característicos D90 D84 D65 D50 para el puente escalinata – parque de la madre

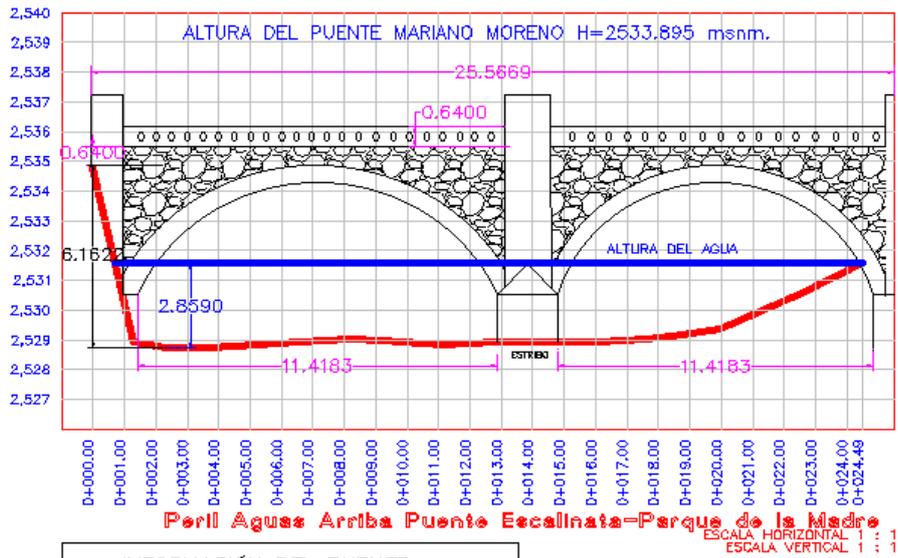
Aplicación de las Fórmulas Empíricas

FORMULAS EMPIRICAS			
Meyer-Peter y Muller (1948):	$n = 0.038 * d_{090}^{\frac{1}{6}}$	D90(m)	n
		0.4	0.033
Raudkin (1976):	$n = 0.013 * d_{065}^{\frac{1}{6}}$	D65(mm)	n
		190	0.031
Garde y Raju (1976):	$n = 0.047 * d_{050}^{\frac{1}{6}}$	D50(m)	n
		0.14	0.034

Limerinos (1970):	$n = \frac{0.1129 * R^{\frac{1}{6}}}{[1.16 + 2 \log(\frac{R}{d_{84}})]}$		H(m)	A(m2)	P(m)	R(m)	D84(m)	n	Media n
		Aguas Arriba	2.859	55.22	50.265	1.098	0.330	0.052	0.051
		Aguas Abajo	3.809	90.41	63.144	1.432	0.330	0.049	
HEC-RAS (2016):	$n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{[18 * \log(12.2 * \frac{R}{K})]}$		H(m)	A(m2)	P(m)	R(m)	K	n	
		Aguas Arriba	2.859	55.22	50.265	1.098	0.140	0.028	0.028
		Aguas Abajo	3.809	90.41	63.144	1.432	0.140	0.028	
JARRET (1984):	$n = 0.39 * sf^{0.38} * R^{-0.16}$		H(m)	A(m2)	P(m)	R(m)	sf	n	
		Aguas Arriba	2.859	55.22	50.265	1.098	0.022	0.090	0.088
		Aguas Abajo	3.809	90.41	63.144	1.432	0.022	0.086	

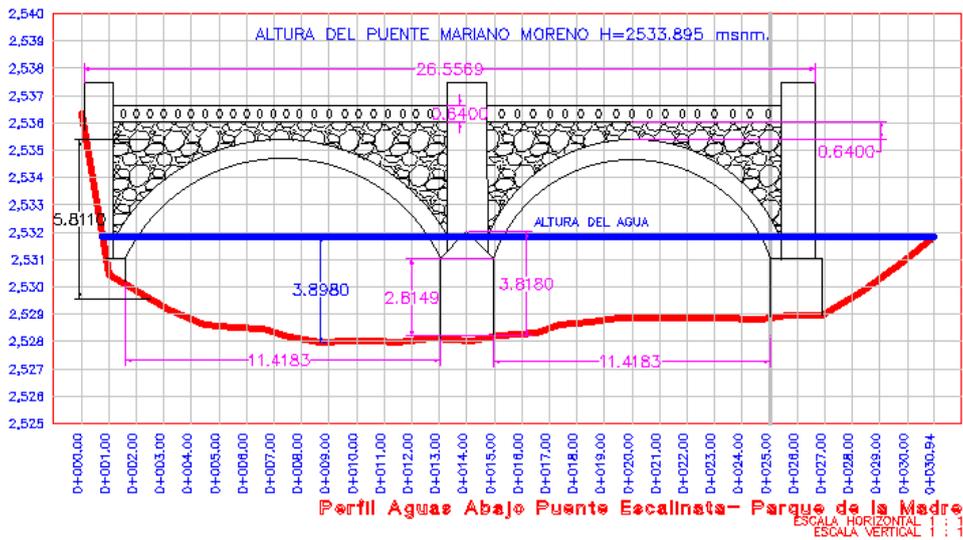
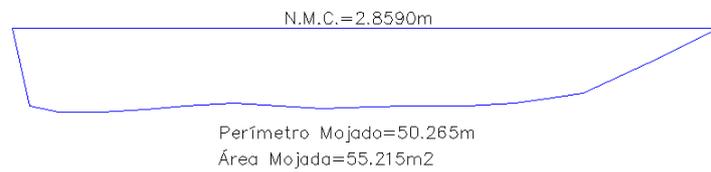
Tabla 4.4 Coeficiente de Rugosidad Puente Escalinata Parque de La Madre

Nota: Los diferentes parámetros hidráulicos utilizados con anterioridad como el nivel máximo de crecida H(m), área mojada A(m2), perímetro mojado P(m) y radio hidráulico R (m) fueron obtenidos de los perfiles topográficos que se muestran a continuación



INFORMACIÓN DEL PUENTE	
ALTURA DEL PUENTE:	6.162 mts.
LONGITUD DEL PUENTE:	25.567 mts.
LONGITUD ENTRE ESTRIBOS:	11.418 mts.
PERALTE DE LOSA:	0.30m(Hormigon)
PERALTE DE MGA:	NO TIENE.
ALTURA MÁXIMA DE CRECIDA:	2.859 mts.

Área y Perímetro de la sección Puente Gran Sol Aguas Arriba



Área y Perímetro de la sección Puente Mariano Moreno Aguas Abajo



Figura 4.10 Perfiles y secciones transversales Puente Escalinata-Parque de la madre

4.3.2 Puente Restaurante Las Cuevas

NOMBRE DEL PUENTE:	RESTAURANTE LAS CUEVAS	DETERMINACION (D90)	
NUMERO	DIÁMETRO DE PIEDRAS(m)	ORDENADO ASCENDENTEMENTE	
AGUAS ARRIBA			
1	0.73	1	0.05
2	0.47	2	0.06
3	0.32	3	0.06
4	0.7	4	0.06
5	0.22	5	0.07
6	0.38	6	0.07
7	0.45	7	0.07
8	0.5	8	0.07
9	0.65	9	0.07
10	0.67	10	0.07
11	0.22	11	0.07
12	0.5	12	0.07
13	0.58	13	0.07
14	0.34	14	0.07
15	0.3	15	0.07
16	0.64	16	0.07
17	0.76	17	0.07
18	0.43	18	0.08
19	0.51	19	0.08
20	0.52	20	0.08
21	0.42	21	0.08
22	0.62	22	0.08
23	0.48	23	0.08
24	0.44	24	0.08
25	0.48	25	0.08
26	0.5	26	0.08
27	1	27	0.08
28	0.53	28	0.08
29	0.44	29	0.09
30	0.56	30	0.09
31	0.53	31	0.09
32	0.5	32	0.09
33	0.46	33	0.09
34	1.66	34	0.09
35	0.47	35	0.1
36	0.46	36	0.1
37	0.54	37	0.1

38	0.57	38	0.1
39	0.47	39	0.1
40	0.53	40	0.1
41	0.44	41	0.1
42	0.21	42	0.1
43	1.5	43	0.1
AGUAS ABAJO		44	0.1
1	0.74	45	0.11
2	1.05	46	0.11
3	0.56	47	0.11
4	0.1	48	0.12
5	0.08	49	0.12
6	0.37	50	0.12
7	0.08	51	0.12
8	0.06	52	0.12
9	0.07	53	0.12
10	0.07	54	0.13
11	0.25	55	0.14
12	0.09	56	0.15
13	0.17	57	0.16
14	0.08	58	0.17
15	0.07	59	0.18
16	0.14	60	0.19
17	0.08	61	0.19
18	0.12	62	0.21
19	0.12	63	0.21
20	0.12	64	0.22
21	0.07	65	0.22
22	0.19	66	0.23
23	0.08	67	0.25
24	0.07	68	0.26
25	0.09	69	0.27
26	0.07	70	0.3
27	0.27	71	0.32
28	0.08	72	0.34
29	0.12	73	0.37
30	0.1	74	0.38
31	0.23	75	0.39
32	0.08	76	0.42
33	0.09	77	0.43
34	0.16	78	0.44
35	0.1	79	0.44
36	0.06	80	0.44
37	0.07	81	0.44
38	0.21	82	0.45
39	0.08	83	0.46

40	0.08	84	0.46
41	0.12	85	0.47
42	0.11	86	0.47
43	0.11	87	0.47
44	0.1	88	0.48
45	0.05	89	0.48
46	0.39	90	0.5
47	0.07	91	0.5
48	0.15	92	0.5
49	0.09	93	0.5
50	0.07	94	0.51
51	0.09	95	0.52
52	0.1	96	0.53
53	0.11	97	0.53
54	0.19	98	0.53
55	0.06	99	0.54
56	0.08	100	0.56
57	0.18	101	0.56
58	0.13	102	0.57
59	0.44	103	0.58
60	0.07	104	0.62
61	0.12	105	0.64
62	0.1	106	0.65
63	0.07	107	0.67
64	0.07	108	0.7
65	0.1	109	0.73
66	0.1	110	0.74
67	0.07	111	0.76
68	0.08	112	1
69	0.09	113	1.05
70	0.26	114	1.5
71	0.1	115	1.66
72	0.1	116	
73		117	

Tabla 4.5: Diámetros de la estación Puente Restaurante Las Cuevas y diámetro característico (D90)

DETERMINACION (D84)		DETERMINACION (D65)		DETERMINACION (D50)	
ORDENADO ASCENDENTEMENTE		ORDENADO ASCENDENTEMENTE		ORDENADO ASCENDENTEMENTE	
1	0.05	1	0.05	1	0.05
2	0.06	2	0.06	2	0.06
3	0.06	3	0.06	3	0.06
4	0.06	4	0.06	4	0.06
5	0.07	5	0.07	5	0.07

6	0.07	6	0.07	6	0.07
7	0.07	7	0.07	7	0.07
8	0.07	8	0.07	8	0.07
9	0.07	9	0.07	9	0.07
10	0.07	10	0.07	10	0.07
11	0.07	11	0.07	11	0.07
12	0.07	12	0.07	12	0.07
13	0.07	13	0.07	13	0.07
14	0.07	14	0.07	14	0.07
15	0.07	15	0.07	15	0.07
16	0.07	16	0.07	16	0.07
17	0.07	17	0.07	17	0.07
18	0.08	18	0.08	18	0.08
19	0.08	19	0.08	19	0.08
20	0.08	20	0.08	20	0.08
21	0.08	21	0.08	21	0.08
22	0.08	22	0.08	22	0.08
23	0.08	23	0.08	23	0.08
24	0.08	24	0.08	24	0.08
25	0.08	25	0.08	25	0.08
26	0.08	26	0.08	26	0.08
27	0.08	27	0.08	27	0.08
28	0.08	28	0.08	28	0.08
29	0.09	29	0.09	29	0.09
30	0.09	30	0.09	30	0.09
31	0.09	31	0.09	31	0.09
32	0.09	32	0.09	32	0.09
33	0.09	33	0.09	33	0.09
34	0.09	34	0.09	34	0.09
35	0.1	35	0.1	35	0.1
36	0.1	36	0.1	36	0.1
37	0.1	37	0.1	37	0.1
38	0.1	38	0.1	38	0.1
39	0.1	39	0.1	39	0.1
40	0.1	40	0.1	40	0.1
41	0.1	41	0.1	41	0.1
42	0.1	42	0.1	42	0.1
43	0.1	43	0.1	43	0.1
44	0.1	44	0.1	44	0.1
45	0.11	45	0.11	45	0.11
46	0.11	46	0.11	46	0.11
47	0.11	47	0.11	47	0.11
48	0.12	48	0.12	48	0.12
49	0.12	49	0.12	49	0.12
50	0.12	50	0.12	50	0.12

51	0.12	51	0.12	51	0.12
52	0.12	52	0.12	52	0.12
53	0.12	53	0.12	53	0.12
54	0.13	54	0.13	54	0.13
55	0.14	55	0.14	55	0.14
56	0.15	56	0.15	56	0.15
57	0.16	57	0.16	57	0.16
58	0.17	58	0.17	58	0.17
59	0.18	59	0.18	59	0.18
60	0.19	60	0.19	60	0.19
61	0.19	61	0.19	61	0.19
62	0.21	62	0.21	62	0.21
63	0.21	63	0.21	63	0.21
64	0.22	64	0.22	64	0.22
65	0.22	65	0.22	65	0.22
66	0.23	66	0.23	66	0.23
67	0.25	67	0.25	67	0.25
68	0.26	68	0.26	68	0.26
69	0.27	69	0.27	69	0.27
70	0.3	70	0.3	70	0.3
71	0.32	71	0.32	71	0.32
72	0.34	72	0.34	72	0.34
73	0.37	73	0.37	73	0.37
74	0.38	74	0.38	74	0.38
75	0.39	75	0.39	75	0.39
76	0.42	76	0.42	76	0.42
77	0.43	77	0.43	77	0.43
78	0.44	78	0.44	78	0.44
79	0.44	79	0.44	79	0.44
80	0.44	80	0.44	80	0.44
81	0.44	81	0.44	81	0.44
82	0.45	82	0.45	82	0.45
83	0.46	83	0.46	83	0.46
84	0.46	84	0.46	84	0.46
85	0.47	85	0.47	85	0.47
86	0.47	86	0.47	86	0.47
87	0.47	87	0.47	87	0.47
88	0.48	88	0.48	88	0.48
89	0.48	89	0.48	89	0.48
90	0.5	90	0.5	90	0.5
91	0.5	91	0.5	91	0.5
92	0.5	92	0.5	92	0.5
93	0.5	93	0.5	93	0.5
94	0.51	94	0.51	94	0.51
95	0.52	95	0.52	95	0.52
96	0.53	96	0.53	96	0.53

97	0.53	97	0.53	97	0.53
98	0.53	98	0.53	98	0.53
99	0.54	99	0.54	99	0.54
100	0.56	100	0.56	100	0.56
101	0.56	101	0.56	101	0.56
102	0.57	102	0.57	102	0.57
103	0.58	103	0.58	103	0.58
104	0.62	104	0.62	104	0.62
105	0.64	105	0.64	105	0.64
106	0.65	106	0.65	106	0.65
107	0.67	107	0.67	107	0.67
108	0.7	108	0.7	108	0.7
109	0.73	109	0.73	109	0.73
110	0.74	110	0.74	110	0.74
111	0.76	111	0.76	111	0.76
112	1	112	1	112	1
113	1.05	113	1.05	113	1.05
114	1.5	114	1.5	114	1.5
115	1.66	115	1.66	115	1.66

Tabla 4.6 Diámetros Característicos D84 D65 y D50 (m) del puente Restaurante Las Cuevas

Selección de los diámetros característicos

Los diámetros seleccionados hacen referencia al 90, 84, 65 y 50 por ciento del total de las piedras que se encuentran en la sección analizada, esto abarca tanto aguas arriba como aguas abajo, a continuación, se presenta una tabla de los diámetros característicos seleccionados.

Diámetros Característicos			
D90(m)	D84(m)	D65(m)	D50(m)
0.62	0.53	0.39	0.17

Tabla 4.7 Diámetros característicos D90 D84 D65 D50 para el puente Restaurante Las Cuevas

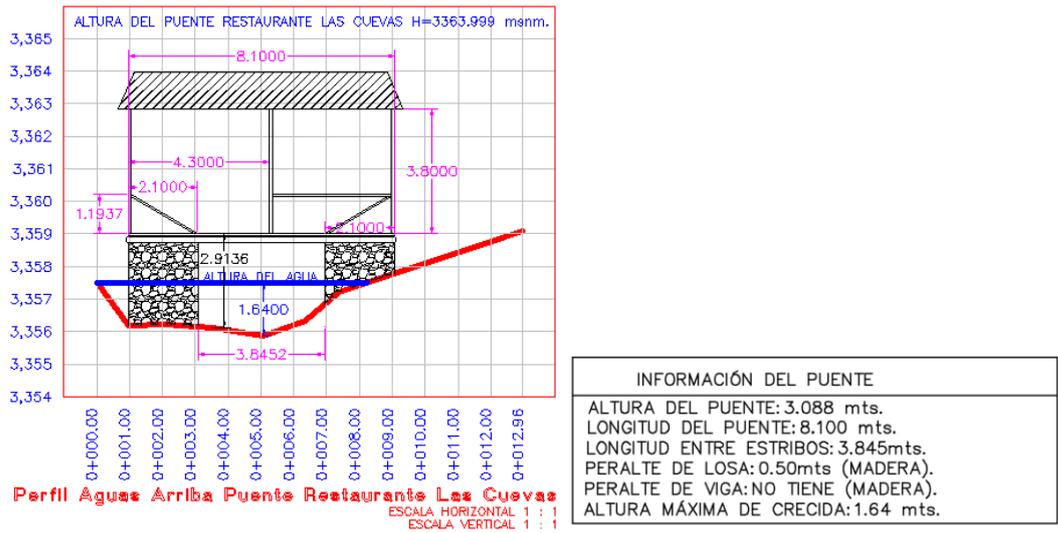
Aplicación de las Fórmulas Empíricas

FORMULAS EMPIRICAS			
Meyer-Peter y Muller (1948):	$n = 0.038 * d_{090}^{\frac{1}{6}}$	D90(m)	n
		0.62	0.035
Raudkin (1976):	$n = 0.013 * d_{065}^{\frac{1}{6}}$	D65(mm)	n
		390	0.035
Garde y Raju (1976):	$n = 0.047 * d_{050}^{\frac{1}{6}}$	D50(m)	n
		0.17	0.035

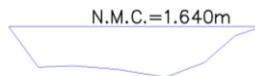
Limerinos (1970):	$n = \frac{0.1129 * R^{\frac{1}{6}}}{[1.16 + 2 \log(\frac{R}{d_{84}})]}$		H(m)	A(m2)	P(m)	R(m)	D84(m)	n	Media n
		Aguas Arriba	1.640	8.99	17.607	0.511	0.530	0.090	0.084
HEC-RAS (2016):	$n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{[18 * \log(12.2 * \frac{R}{K})]}$		H(m)	A(m2)	P(m)	R(m)	K	n	
		Aguas Arriba	1.640	8.99	17.607	0.511	0.170	0.032	0.031
JARRET (1984):	$n = 0.39 * sf^{0.38} * R^{-0.16}$		H(m)	A(m2)	P(m)	R(m)	sf	n	
		Aguas Arriba	1.640	8.99	17.607	0.511	0.0037	0.052	0.051
	Aguas Abajo	2.148	16.84	25.512	0.660	0.0037	0.050		

Tabla 4.8 Coeficiente de Rugosidad Puente Restaurante Las Cuevas

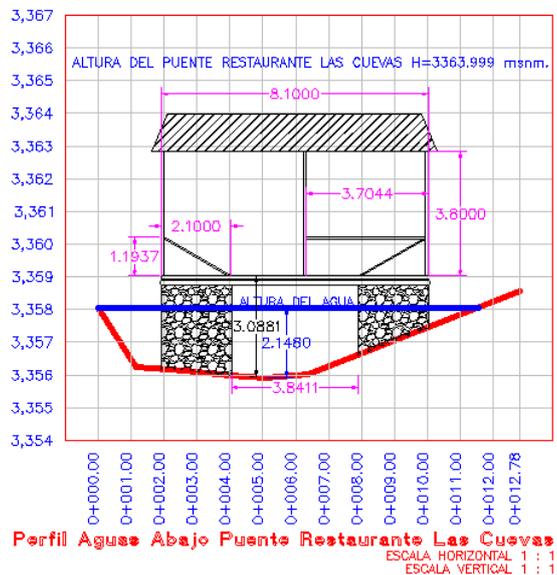
Nota: Los diferentes parámetros hidráulicos utilizados con anterioridad como el nivel máximo de crecida H(m), área mojada A(m2), perímetro mojado P(m) y radio hidráulico R (m) fueron obtenidos de los perfiles topográficos que se muestran a continuación.



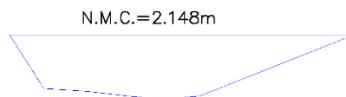
Área y Perímetro de la sección Puente Restaurante Las Cuevas Aguas Arriba



Perímetro Mojado=17.607m
 Área Mojada=8.989m²



Área y Perímetro de la sección Puente Restaurante Las Cuevas Aguas Abajo



Perímetro Mojado=25.512m
 Área Mojada=16.840m²

Escala 1:250

Figura 4.11 Perfiles y secciones transversales Puente Restaurante Las Cuevas

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados de los coeficientes de rugosidad, con cada fórmula empírica correspondiente a cada estación analizada en la investigación.

ESTACIÓN	FORMULAS EMPIRICAS					
	Meyer - Peter v Muller	Raudkin	Garde y Raju	Limerinos	Hec-Ras	Jarret
Puente rio Quinuas (Entrada a la virgen)	0.033	0.032	0.036	0.067	0.033	0.090
Puente antes entrada a la Virgen de El Cajas	0.032	0.032	0.036	0.082	0.035	0.182
Puente Restaurante Dos chorreras	0.033	0.032	0.035	0.072	0.031	0.057
Puente Restaurante Reina del Cisne	0.032	0.032	0.036	0.064	0.033	0.111
Puente Restaurante Las Cuevas	0.035	0.035	0.035	0.084	0.031	0.051
Puente Chirimachay	0.034	0.034	0.037	0.073	0.034	0.114
Puente Restaurante Las Ollas	0.034	0.033	0.037	0.085	0.037	0.090
Puente Río Matadero	0.033	0.031	0.033	0.048	0.027	0.038
Puente Entrada a Llaviuco	0.031	0.029	0.031	0.051	0.026	0.127
Puente Piscicola Los Andes	0.033	0.032	0.035	0.051	0.031	0.125
Puente Tomebamba DJ Mazan	0.033	0.033	0.037	0.071	0.035	0.105
Puente Av. Enrique Arízaga Toral (Medio Ejido - San Joaquín)	0.033	0.032	0.035	0.065	0.031	0.130
Puente Estacion de Matadero en Sayausi (ETAPA)	0.035	0.035	0.039	0.080	0.037	0.098
Puente Unidad Educativa del Milenio	0.034	0.033	0.036	0.057	0.031	0.089
Puente Calle de la Pimienta	0.035	0.034	0.038	0.067	0.034	0.047
Puente Monseñor Leonidas Proaño y Av. Ordoñez Lasso	0.034	0.033	0.036	0.083	0.033	0.100
Puente Campus Balzay - U. de Cuenca	0.031	0.029	0.031	0.048	0.026	0.097
Puente Puertas del Sol	0.021	0.026	0.032	0.029	0.027	0.088
Puente Av. de las Américas	0.032	0.031	0.034	0.060	0.030	0.083
Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional	0.032	0.031	0.033	0.046	0.028	0.090
Puente Colegio Corazones	0.033	0.030	0.031	0.045	0.025	0.068
Puente Peatonal Otorongo	0.034	0.034	0.037	0.055	0.031	0.104
Puente del Vado	0.034	0.033	0.036	0.051	0.030	0.089
Puente Peatonal U de Cuenca	0.033	0.033	0.035	0.052	0.030	0.083
Puente del Centenario	0.034	0.033	0.036	0.053	0.031	0.060
Puente Peatonal Hospital Militar	0.035	0.034	0.036	0.061	0.031	0.077
Puente Escalinata-Parque de la Madre	0.033	0.031	0.034	0.051	0.028	0.088
Puente Todos Santos	0.033	0.031	0.034	0.053	0.029	0.086
Puente Vergel	0.033	0.031	0.034	0.057	0.029	0.101
Puente Hospital Vicente Corral	0.032	0.031	0.034	0.064	0.031	0.090
Puente Peatonal Facultad Medicina	0.034	0.034	0.036	0.065	0.032	0.064
MEDIA	0.033	0.032	0.035	0.061	0.031	0.091

Tabla 4.9 Coeficiente de Rugosidad del Río Tomebamba.

Tabla de Excel de coeficientes de rugosidad para diferentes alturas de crecida.

Se armó una tabla de cada estación con las fórmulas empíricas, en el cual se muestra el coeficiente de rugosidad y la altura de crecida (H), para que sea una herramienta para futuras investigaciones. La altura del agua va creciendo con un intervalo de cincuenta centímetros. Las variaciones de la altura del agua de todas las estaciones se encontraran en el anexo 3.

Puente Escalinata-Parque de la Madre							
Limerinos (1970):		H(m)	A(m ²)	P(m)	R(m)	D84(m)	n
	Aguas Arriba	0.50	3.557	20.700	0.172	0.33	0.142
		1.00	14.826	39.902	0.372	0.33	0.076
		1.50	24.906	42.804	0.582	0.33	0.062
		2.00	35.583	45.649	0.779	0.33	0.057
		2.50	46.816	48.336	0.969	0.33	0.054
	Aguas Abajo	0.50	3.557	20.700	0.172	0.33	0.142
		1.00	10.894	44.097	0.247	0.33	0.098
		1.50	22.984	50.523	0.455	0.33	0.069
		2.00	35.852	54.092	0.663	0.33	0.060
		2.50	49.556	57.434	0.863	0.33	0.055
		3.00	63.850	59.612	1.071	0.33	0.052
		3.50	78.503	61.561	1.275	0.33	0.050
	HEC-RAS (2016):		H(m)	A(m ²)	P(m)	R(m)	K
Aguas Arriba		0.50	3.557	20.700	0.172	0.14	0.035
		1.00	14.826	39.902	0.372	0.14	0.031
		1.50	24.906	42.804	0.582	0.14	0.030
		2.00	35.583	45.649	0.779	0.14	0.029
		2.50	46.816	48.336	0.969	0.14	0.029
Aguas Abajo		0.50	3.557	20.700	0.172	0.14	0.035
		1.00	10.894	44.097	0.247	0.14	0.033
		1.50	22.984	50.523	0.455	0.14	0.030
		2.00	35.852	54.092	0.663	0.14	0.029
		2.50	49.556	57.434	0.863	0.14	0.029
		3.00	63.850	59.612	1.071	0.14	0.029
		3.50	78.503	61.561	1.275	0.14	0.028
JARRET (1984):			H(m)	A(m ²)	P(m)	R(m)	sf
	Aguas Arriba	0.50	3.557	20.700	0.172	0.022	0.121
		1.00	14.826	39.902	0.372	0.022	0.107
		1.50	24.906	42.804	0.582	0.022	0.100

		2.00	35.583	45.649	0.779	0.022	0.095
		2.50	46.816	48.336	0.969	0.022	0.092
	Aguas Abajo	0.50	3.557	20.700	0.172	0.022	0.121
		1.00	10.894	44.097	0.247	0.022	0.114
		1.50	22.984	50.523	0.455	0.022	0.104
		2.00	35.852	54.092	0.663	0.022	0.098
		2.50	49.556	57.434	0.863	0.022	0.094
		3.00	63.850	59.612	1.071	0.022	0.090
		3.50	78.503	61.561	1.275	0.022	0.088

Tabla 4.10 Coeficiente de rugosidad para distintas alturas de agua Puente Escalinata-parque de la Madre.

CONCLUSIONES

La presente monografía es netamente investigativo y experimental, la cual servirá como base para futuros estudios y modelaciones para posibles desbordamientos del río Tomebamba.

Al realizar los levantamientos topográficos, se debe tener en cuenta que los parámetros hidráulicos no van a ser los mismos, debido a que las distintas variables cambian en el afluente, siendo así que el levantamiento de información de los treinta y uno puentes, se hizo de manera objetiva para obtener resultados reales.

Una vez analizadas las treinta y un estaciones, se determinó que los diámetros característicos de cada sección cumplen un factor fundamental en el momento del cálculo, ya que a mayor diámetro característico el coeficiente de rugosidad aumenta siendo directamente proporcional al diámetro de las partículas que se encuentran en el lecho del río, por otra parte un correcto levantamiento topográfico de los taludes de cada sección, ayuda para determinar el nivel máximo de crecida, en este estudio los valores máximos de crecida se encuentran en rangos entre un metro hasta los cinco metros. Con las consideraciones anteriores se obtuvieron los siguientes resultados, para las fórmulas de Meyer-Peter y Müller, Garden y Raju, Raudkin y Hec Ras se obtiene valores similares del coeficiente de rugosidad siendo estos 0.033, 0.035, 0.032 y 0.031 respectivamente, mientras que por las fórmulas de Limerinos y Jarret que consideran además del diámetro característico parámetros hidráulicos en su cálculo se obtienen valores más altos que los anteriores siendo 0.061 y 0.091.

El cauce del río Tomebamba al pasar por zonas montañosas, los cantos rodados tienen un tamaño considerable, siendo así un diámetro máximo de 3.1 metros y un promedio de 0.23 metros.

Los resultados obtenidos en esta monografía demuestran también que entre menor sea la altura del agua, mayor será el coeficiente de rugosidad, puesto que la resistencia al flujo es mayor al tener mayor contacto con las piedras del lecho del río, y a medida que la altura

del agua va creciendo, el valor del coeficiente de rugosidad disminuye ya que pierde contacto con las piedras del río.

Se realizó un manual digital con los coeficientes de rugosidad de las seis fórmulas empíricas utilizadas, con el fin de aportar investigación sobre el coeficiente de rugosidad.

RECOMENDACIONES

Para realizar las fotografías de los diámetros característicos, estas deben ser obtenidas principalmente en los meses de febrero, agosto y septiembre, ya que en estos meses se registran las precipitaciones más bajas en la ciudad, por lo que se puede observar un gran número de piedras, así también se podría recomendar el uso de un dron para evitar el proceso de la creación de la fotografía a 90 grados, de esta manera se obtuviera una mayor precisión. En cuanto a los levantamientos topográficos es aconsejable no levantar las secciones transversales de talud a talud, sino tener un criterio adecuado, y establecer oportunamente los sitios en donde se encuentran los valles de inundación, ya que, si no se realiza de esta manera, el nivel máximo de crecida llegaría casi hasta el talud y no representa la realidad de la sección.

Se debe tener cuidado en los puentes, en los cuales se necesita realizar más de una estación topográfica, ya que una mala triangulación afecta en las cotas para poder obtener la altura del puente, una correcta precisión del GPS es de mucha ayuda para que el margen de error en cotas sea el mínimo.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Rodas et al, C.E. (1994). Determinación de los Coeficientes de Rugosidad de los Ríos que atraviesan la Ciudad de Cuenca. Cuenca, Ecuador
- Chow, V.T (1994). Hidráulica de canales abiertos. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A
- Donoso Correa. M.(2002). La cuenca del río Paute. Cuenca, Ecuador
- Fernández de Córdova, J. (2019). Propuesta de un Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones por lluvias intensas . Caso de estudio : río Yannuncay en Cuenca-Ecuador "Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas , Centro de Investigaciones Hidráulicas . La Habana, Cuba.
- Gilberto Sotelo Avila. (2002). Hidráulica de Canales. Mexico D.F.
- Manning, R. (1889). Flujo de agua en canales abiertos y tuberías. Irlanda.
- Pachas, R. (2009). El Levantamiento Topografico : Uso del gps y estación total.Trujillo,Venezuela
- Limerinos, J.T.(1970). Determination of the Manning's Coefficient from measured bed roughness in natural channels . Unitad States
- Martínez, & Meneses. (2017). Determinación del coeficiente de rugosidad del río Yanuncay mediante fórmulas empíricas.Cuenca,Ecuador
- Programa para el Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS). (1998). Información de suelos, geología, cobertura vegetal y uso del suelo, información cartográfica general. Universidad de Cuenca .Cuenca, Ecuador

ANEXOS

Anexo 1: Perfiles Transversales de las estaciones analizadas (Digital)

Puente río Quinuas (Entrada a la Virgen)

Puente antes entrada a la Virgen de El Cajas

Puente Restaurante Dos Chorreras

Puente Restaurante Reina del Cisne

Puente Restaurante Las Cuevas

Puente Chirimachay

Puente Restaurante Las Ollas

Puente Rio Matadero

Puente Entrada a Llaviucu

Puente Piscícola Los Andes

Puente Tomebamba DJ Mazan

Puente Av. Enrique Arízaga Toral (Medio Ejido - San Joaquín)

Puente Estación de Matadero en Sayausí (ETAPA)

Puente Unidad Educativa del Milenio

Puente Calle de la Pimienta

Puente Monseñor Leónidas Proaño y Av. Ordoñez Lasso

Puente Campus Balzay - U. de Cuenca

Puente Puertas del Sol

Puente Av. de las Américas

Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional

Puente Colegio Corazones

Puente Peatonal Otorongo

Puente del Vado

Puente Peatonal Universidad de Cuenca

Puente del Centenario

Puente Peatonal Hospital Militar

Puente Escalinata-Parque de la Madre

Puente Todos Santos

Puente El Vergel

Puente Hospital Vicente Corral Moscoso

Puente Peatonal Facultad de Medicina

Anexo 2: Determinación del Coeficiente de Rugosidad de las Estaciones (Digital)

Puente río Quinuas (Entrada a la Virgen)

Puente antes entrada a la Virgen de El Cajas

Puente Restaurante Dos Chorreras

Puente Restaurante Reina del Cisne

Puente Restaurante Las Cuevas

Puente Chirimachay

Puente Restaurante Las Ollas

Puente Rio Matadero

Puente Entrada a Llaviucu

Puente Piscícola Los Andes

Puente Tomebamba DJ Mazan

Puente Av. Enrique Arízaga Toral (Medio Ejido - San Joaquín)

Puente Estación de Matadero en Sayausí (ETAPA)

Puente Unidad Educativa del Milenio

Puente Calle de la Pimienta

Puente Monseñor Leónidas Proaño y Av. Ordoñez Lasso

Puente Campus Balzay - U. de Cuenca

Puente Puertas del Sol

Puente Av. de las Américas

Puente Av. 3 de noviembre y Unidad Nacional

Puente Colegio Corazones

Puente Peatonal Otorongo

Puente del Vado

Puente Peatonal Universidad de Cuenca

Puente del Centenario

Puente Peatonal Hospital Militar

Puente Escalinata-Parque de la Madre

Puente Todos Santos

Puente El Vergel

Puente Hospital Vicente Corral Moscoso

Puente Peatonal Facultad de Medicina

Anexo 3: Anexo 3 Manual del coeficiente de rugosidad a diferentes alturas del agua hasta el nivel máximo de crecida (Digital)