

Estudio del coeficiente de rugosidad en un tramo intervenido del río Santa Catarina y su efecto en la capacidad de conducción del cauce

Responsable: Dr. Aldo I. Ramírez Orozco

#### Contenido

Introducción	3
Objetivo	3
Antecedentes	4
Ecuaciones de flujo uniforme	4
Revisión de la literatura	6
Método de Cowan para la estimación del coeficiente de rugosidad	8
Valor base $nb$ para canales y cauces	8
Factores de ajuste a los valores de $nb$	8
Irregularidades de superficie ( $n1$ )	8
Variaciones en la sección transversal (n2)	9
Obstrucciones (n3)	10
Vegetación (n4)	10
Meandreo o sinuosidad (m)	11
Aplicación al tramo de intervención	12
Visita de campo previa a la intervención	13
Visita de campo posterior a la intervención	15
Acciones de intervención	15
Resultado de la intervención	16
Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning	19
Condiciones Previas	19
Método de Cowan	19
Método del contraste de fotografías	20
Condiciones posteriores	22
Método de Cowan	22
Método del contraste de fotografías	22
Modelación en HEC-RAS	<b>2</b> 3
Capacidad hidráulica del río Santa Catarina	24
Conclusiones	24
Bibliografía y Referencias	25
Anexo 1. Coeficientes de rugosidad (n de Manning) en las condiciones actuales	27
Anexo 2. Coeficientes de rugosidad (n de Manning) en las condiciones intervenidas	28
Anexo 3. Fotografías previas a la intervención	29
Anexo 4. Fotografías posteriores a la intervención	37

#### Introducción

Como es bien sabido, la capacidad de un cauce natural se puede calcular con base en la teoría hidráulica del flujo uniforme en canales abiertos, a través de la llamada ecuación de Manning. Un parámetro crítico para la aplicación de esta ecuación lo constituye el coeficiente de rugosidad, n, comúnmente conocido como n de Manning. Un valor alto del coeficiente de rugosidad implica una gran resistencia al flujo y por lo tanto una reducción en la capacidad de conducción del río. Son muy diversos los parámetros físicos que se ven implicados en la determinación del coeficiente de rugosidad, entre los cuales se encuentra la vegetación existente.

Desde los trabajos realizados en forma posterior a la incidencia del huracán Alex en 2010, el cauce del río Santa Catarina, particularmente en su tramo urbano, en las inmediaciones del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) ha visto incrementada en gran medida su vegetación, tanto en la plantilla como en las márgenes. En algunos tramos, esta vegetación es tan densa que ya prácticamente no es posible ver el fondo del propio cauce y algunos de los árboles son más altos que el nivel de los puentes y la infraestructura vial. Resulta evidente que el incremento de la vegetación genera un aumento en el coeficiente de rugosidad y por ende una disminución de la capacidad hidráulica del río. Este hecho genera una situación de riesgo ante la posible ocurrencia de eventos grandes de escurrimiento. Makaske et al. (2011) por ejemplo, encontraron que una condición de vegetación sin control en la parte alemana del río Rhin generaba una sobre elevación del agua de 60cm en comparación con las condiciones normales. Por otro lado, la vegetación en el cauce se encuentra prestando un servicio ambiental que trae consigo beneficios, sobre todo en lo relacionado con la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey.

En afán de encontrar una solución de beneficio tanto desde el punto de vista hidráulico como del ambiental, el gobierno del estado, en coordinación con el Fondo del Agua Metropolitano de Monterrey y otras organizaciones gubernamentales y académicas, ha propuesto la intervención de un tramo del río Santa Catarina, mediante la remoción de material extraño (basura, escombro, etc.) y un control supervisado de vegetación seleccionada (plantas invasoras, maleza y especies no nativas). Esto con el objetivo de ejemplificar un procedimiento que pudiera aplicarse a todo lo largo del tramo urbano del río, reduciendo la n de Manning, pero sin quitar toda la vegetación del cauce (con la consecuente pérdida del servicio ambiental que actualmente provee el cauce.

# Objetivo

Hacer estimaciones del coeficiente de rugosidad de un tramo del río Santa Catarina, antes y después de una intervención controlada, así como realizar una simulación hidráulica a fin de determinar el incremento de capacidad asociado con tal intervención.

#### Antecedentes

Alrededor de 1890, Robert Manning, ingeniero de origen irlandés, propuso una ecuación empírica que es estrictamente aplicable al flujo uniforme en canales abiertos, ya sea naturales o construidos. En la hidráulica, el flujo uniforme se alcanza cuando las fuerzas que producen el flujo, asociadas con la componente del peso propio del agua en sentido longitudinal del canal y las fuerzas que se oponen al mismo se equilibran. Las primeras dependen básicamente de la pendiente del cauce mientras las segundas están asociadas con la fricción que se genera en fondo y taludes del mismo. En ese estado, el flujo no se ralentiza ni se acelera, llegando a establecerse ese equilibrio que constituye el estado natural del flujo a superficie libre. Es decir, el flujo uniforme es el estado del flujo en el que el canal (natural o construido) se "siente más cómodo". Su ocurrencia está más asociada en canales largos sin cambios de sección transversal ni pendiente y con condiciones de rugosidad invariante. Cuando se alcanza la condición de flujo uniforme, el tirante (o profundidad), el área hidráulica, la velocidad y demás características son constantes a lo largo del canal.

De acuerdo con Chow (1959), en ríos, arroyos y corrientes en estado natural raramente se experimentan las condiciones estrictas de flujo uniforme, en virtud del cambio en las condiciones geométricas variables de las secciones transversales, los cambios de pendiente y la posible existencia de controles. A pesar de esta situación, la condición de flujo uniforme se asume frecuentemente en el cálculo del flujo en corrientes naturales. A casi 130 años del origen de la ecuación de Manning, ésta se ha aplicado un sinnúmero de ocasiones en al análisis del flujo y en el diseño de canales con igual cantidad de éxitos. Por esta razón, esta fórmula continúa siendo la base de la hidráulica de conductos a superficie libre.

# Ecuaciones de flujo uniforme

La capacidad de un canal abierto, ya sea artificial o natural está determinada en forma práctica, de acuerdo con la teoría del flujo uniforme, a través de la fórmula empírica de Manning, misma que suelo expresarse en cualquiera de las dos formas dadas por las ecuaciones 1 y 2.

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

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

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$
(2)

Donde:

v = Velocidad media del flujo (m/s)

Q = Gasto o caudal (m<sup>3</sup>/s)

n = Coeficiente de rugosidad, conocido como coeficiente de Manning (adimensional)

R = Radio hidráulico (m)

S = Pendiente del fondo del canal (adimensional)

En un canal con determinadas pendiente y rugosidad, que conduce un cierto gasto o caudal, la condición de flujo uniforme es el criterio que gobierna el área de la sección transversal mínima requerida, o aun cuando exista otro criterio que determine las dimensiones de la sección, éstas no podrán ser menores que dicha sección mínima. En ese sentido, es común que se utilice la ecuación (2) para definir la capacidad máxima de una corriente o canal.

En las ecuaciones (1) y (2) uno de los factores más críticos es el coeficiente de rugosidad conocido comúnmente como la "n" de Manning. Este factor es inversamente proporcional al gasto o caudal por lo que valores grandes del coeficiente resultan en capacidades de conducción reducidas en el canal.

El valor de n es muy variable y depende de una gran cantidad de factores, pues integra todo lo que opone resistencia al flujo, tal como:

- rugosidad de la superficie (material de fondo y taludes)
- vegetación
- obstrucciones y depósitos de material
- irregularidades de la sección transversal (tamaño y forma)
- irregularidades en el alineamiento vertical y horizontal

#### y en menor medida de:

- tirante y gasto
- cambio estacional
- material suspendido
- transporte de fondo (sedimentos)

Para estimar el valor de n existen varios caminos, aunque comprender los factores involucrados y adquirir conocimiento pleno del problema para reducir las suposiciones siempre será una base deseable de juicio:

- Consultar una tabla de valores típicos para canales de varios tipos. Las tablas propuestas por Chow (1959) continúan siendo un referente en este sentido, aunque es posible encontrar otras referencias en la literatura, por ejemplo, Henderson (1966) y Streeter (1971).
- 2. Examinar y familiarizarse con casos o ejemplos reales, cuyos coeficientes de rugosidad son conocidos y están documentados (incluso con fotos) y tomarlos como ejemplo y contrastación. En este apartado, las publicaciones Roughness Characteristics of Natural Channels (USGS, 1967), Estimation of Roughness Coefficients for Natural Stream Channels with Vegetated Banks (USGS, 1998) y Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, USGS (1989) es una referencia obligada, así como la página de internet Verified Roughness Characteristics of Natural Channels, disponible para su consulta en línea en https://www.rcamnl.wr.usgs.gov/sws/fieldmethods/Indirects/nvalues/index.htm. Una referencia más reciente proviene de Yochum et al. (2014). A este método en ocasiones se le llama comparación con fotografías.

- 3. Utilizar ecuaciones empíricas (como la de Manning) para determinar el valor de n, mediante su despeje. Esto hace necesaria la observación de uno o varios eventos, en donde se puedan determinar, a través de otros métodos, los valores de las demás variables de la ecuación, velocidad, área hidráulica (y por lo tanto tirante) y pendiente. Este es el método que fue utilizado por el USGS para la publicación mencionada en el inciso anterior.
- 4. Determinar el valor de n a través de un procedimiento analítico basado en la distribución teórica de la velocidad en la sección transversal del canal y en datos de medidas de velocidad y rugosidad. Aunque posible, la necesidad de datos y la complejidad del problema hacen esta opción poco viable.

Aun cuando se reconoce que el "verdadero" valor de la *n* de Manning sería el obtenido por el criterio 3, en la práctica la asignación del coeficiente n se realiza utilizando los dos primeros criterios del listado anterior.

La contribución del material del fondo y taludes es quizás la más estudiada, sin embargo, la presencia de vegetación cobra especial importancia, como lo sugieren los ejemplos presentados por USGS (1989). En virtud de que el problema que motiva este reporte está más relacionado con este último factor, se presenta una revisión, no exhaustiva, de la literatura.

#### Revisión de la literatura

El rol de la vegetación en su contribución al coeficiente de fricción de Manning ha sido abordado por diversos autores. La mayoría de los estudios se han desarrollado en experimentos de laboratorio que simulan la resistencia por la vegetación en canales regulares. Carter et al. (1963) lista los estudios hasta 1960 y Arcement y Schneider (1987) y USGS (1989) reportan experiencias un poco más recientes. Estos trabajos han brindado información, pero sus resultados no se han aplicado en casos reales debido a las complejidades de los cauces naturales y a la ausencia de información de campo que confirme los resultados del laboratorio. De acuerdo con el criterio de Cowan (1956), que se introducirá más adelante, la vegetación induce los mayores efectos en la rugosidad total de un cauce. Alridge y Garrett (1973) por ejemplo, indican que el efecto de la vegetación depende mucho del tirante y del porcentaje de perímetro mojado que esté cubierto por la vegetación, así como la densidad de la vegetación por debajo de la superficie libre y hasta del alineamiento de la misma relativa al flujo. Copeland (2000) establece que la resistencia al flujo por la vegetación está muy relacionada con la rigidez de las plantas (su tallo y tronco) puesto que las plantas flexibles que quedan por debajo de la superficie libre tienen a doblarse hacia aguas abajo alineándose con las líneas de corriente no contribuyendo en forma significativa a la rugosidad, pero las plantas más rígidas y los árboles constituyen bloqueos más importantes incrementando la n de Manning.

El Servicio de Conservación de Suelos (USSCS, 1954) definió una serie de relaciones entre la n de Manning y el producto VR donde V es la velocidad media y R el radio hidráulico. La relación se expresa como una familia de curvas, cada una definiendo la característica física de la vegetación. La principal característica física de la vegetación es su altura, pero otros factores como la densidad y uniformidad tienen también influencia. Las categorías retardantes del flujo para vegetación (pastos) se muestra en la tabla 1, siendo la categoría A es la que mayor resistencia opone al flujo. Se dispone en la literatura de ecuaciones para el cálculo de n para cada clase retardante.

Tabla 1. Clases retardantes en cobertura de vegetal de pastos (US SCS, 1954)

Condición	Longitud promedio (pulg)	Clase retardante
	Mayor de 30	Α
	De 11 a 24	В
Buena	De 6 a 10	С
	De 2 a 6	D
	Menos de 2	E
Suficiente	Mayor de 30	В
	De 11 a 24	С
	De 6 a 10	D
	De 2 a 6	D
	Menos de 2	E .

En el caso de árboles individuales o grupos de árboles, su presencia genera una importante pérdida de carga y una significativa resistencia al flujo. Investigaciones en este sentido indican que el patrón irregular y a tres bolillo de los árboles es la manera más efectiva de reducir la capacidad hidráulica (Li y Shen, 1973).

El impacto del mantenimiento de la vegetación en los niveles de agua en los ríos y por lo tanto en su capacida ha sido ya analizado. En el río Roding por ejemplo (University of Bristol, 1988) se estimó que la capacidad en un tramo sin vegetación (n de Manning entre 0.05 y 0.06) alcanzó 40 m3/s, mientras que el mismo sin la vegetación removida (n de Manning entre 0.05 y 0.09) solo fue de 25 m3/s.

Fisher (1995a, 1995b) y Smailes (1996) realizaron experimentos con resultados de mucho interés. En el arroyo Winterbourne, completamente infestado de vegetación, estimaron valores de n de hasta 1.3. Luego analizaron los casos en donde se removió el 30, el 60 y el 100% de vegetación. Los principios generales derivados del estudio de mantenimiento de vegetación y el impacto cuantitativo en la capacidad del río son:

- Quitar la vegetación de la parte central del cauce es más eficiente que cortar el mismo porcentaje de vegetación en las márgenes
- ii) Cortar el 80% de la vegetación del canal da prácticamente los mismos beneficios hidráulicos que quitar el 100%, en la mayoría de los casos.
- iii) Para canales con relaciones ancho/profundo mayores de 10, quitar el 65% de la vegetación da casi los mismos resultados que quitar el 100%
- iv) Para canales con relaciones ancho/profundo menores de 2, la diferencia de quitar el 66% de la vegetación y el 100% de la vegetación, se refleja en una reducción del doble en el tirante de agua

# Método de Cowan para la estimación del coeficiente de rugosidad

Se ha comentado ya que existen muchos factores que se ven involucrados en la rugosidad de un cauce y por lo tanto en el coeficiente *n* de Manning, siendo quizás el material del fondo y taludes, la vegetación y las obstrucciones los más importantes. Cowan (1956) desarrolló un procedimiento para estimar los efectos de estos diferentes factores que a la postre determinan el valor de la n del cauce. De acuerdo con Cowan, el valor de n se pude calcular como:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \tag{3}$$

Donde:

 $n_b$  es un valor base correspondiente a un tramo de cauce recto, uniforme, con material natural

 $n_{\mathrm{1}}$  es un factor de corrección por los efectos de las irregularidades superficiales

 $n_2$  es un valor dependiente de las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal

 $n_3$  es un valor asociado con las obstrucciones

 $n_{
m 4}$  es un valor ligado con la vegetación y las condiciones de flujo y,

m es un factor de corrección por el meandreo o sinuosidad (curvas) del río

#### Valor base $n_b$ para canales y cauces

El valor base del coeficiente de rugosidad se asigna dependiendo si se trata de un cauce estable o un cauce arenoso. El primer se define como un canal en que la plantilla está compuesta por suelo firme, grava, guijarros, cantos rodados y fragmentos de roca y que se mantiene más o menos sin cambio para diferentes rangos de flujo. Los valores de n varían entre 0.024 y 0.075. Un cauce arenoso es el que tiene un suministro ilimitado de arena de hasta 2mm de tamaño. Estos cauces toman muchas configuraciones por el movimiento fácil de fondo y márgenes. La tabla 2 muestra los valore de  $n_b$  (USGS, 1989).

#### Factores de ajuste a los valores de $n_b$

El valor de  $n_b$  corresponde a un cauce recto de sección uniforme. Las irregularidades, alineamiento, obstrucciones, vegetación y meandreo incrementan la rugosidad. Cada condición ajusta el valor base en correspondencia a las condiciones. Las tablas que muestran los rangos de ajuste de los distintos factores fueron obtenidas de USGS (1989), de acuerdo con modificaciones de Aldridge y Garrett (1973).

#### Irregularidades de superficie $(n_1)$

Cuando la relación ancho/profundo es pequeña los ajustes son grandes. Esto en virtud de que más rugosidades puedan quedar expuestas con la erosión y por ende aumentar la rugosidad. Los incrementos severos pueden ser de hasta 0.02. En cauces muy grandes con taludes irregulares podrían incluso ser mayores. Los valores propuestos para este ajuste dependen de las condiciones del cauce de acuerdo con lo establecido en la tabla 3.

Tabla 2. Valores base del coeficiente de Manning (Modificado de Aldridge y Garrett, 1973)

Material del lecho	Tamaño media del	Valor base de n					
	material del lecho	Canal uniforme recto <sup>1</sup>	Canal Ilano <sup>2</sup>				
	(mm)						
	Canales	arenosos					
Arena <sup>3</sup>	0.2	0.012	-				
	0.3	0.017					
	0.4	0.020					
·	0.5	0.022	*:				
	0.6	0.023	.ma				
	0.8	0.025	- a				
	1.0	0.026					
	Canales esta	oles y planicies					
Concreto	-	0.012-0.018	0.011				
Roca	-	- VU	0.025				
Suelo firme	1 🚊	0.025-0.032	0.020				
Arena gruesa	1-2	0-026-0.035	( ) -				
Grava fina	5-		0.024				
Grava	2-64	0.028-0.035	1 -				
Grava gruesa	-	1 - 6/12	0.026				
Guijarros	64-256	0.030-0.035	(秦)				
Cantos rodados	>256	0-040-0.070	( <b>≅</b> )				

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Benson y Dalrymple (1967)

Tabla 3. Factores de ajuste por irregularidad en la sección (USGS, 1989)

Condición de irregularidad	Ajuste $n_1$	Ejemplos
Ausente	0.000	Un canal lo más regular posible
Menor	0.001-0.005	Canales excavados cuidadosamente, en buenas condiciones pero que tienen una ligera erosión o socavación en los taludes
Moderada	0.006-0.010	Canales excavados con rugosidad moderada en plantilla y erosión o socavación moderada en taludes.
Severa	0.011-0.020	Cauces naturales con taludes malas condiciones, erosionados o caídos, formas irregulares o dentadas

### Variaciones en la sección transversal $(n_2)$

El valor de n no cambia mucho si los cambios en la sección transversal son graduales. Si hay cambios continuos, severos y alternados de la sección, éstos si pueden incrementar la rugosidad en forma significativa. La tabla 4 siguiente da cuenta de los valores de ajuste.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Chow (1959)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Solo para régimen superior donde predomina la rugosidad del grano

Tabla 4. Factores de ajuste por variación en la sección transversal (USGS, 1989)

Condición de la sección	Ajuste $n_2$	Ejemplos					
Gradual	0.000	La forma y tamaño de la sección cambia gradualmente					
Ocasionalmente alternante	0.001-0.005	Las secciones grandes y pequeñas se alternan ocasionalmente. El flujo principal cambia ocasionalmente de un lado al otro permitiendo cambios en la forma de la sección transversal					
Frecuentemente alternante	0.010-0.015	Las secciones grandes y pequeñas se alternan frecuentemente. El flujo principal cambia frecuentemente de lado propiciando cambios en la forma de sección transversal.					

#### Obstrucciones $(n_3)$

Las obstrucciones, tales como troncos, tocones, cantos rodados, escombros, pilotes, pilas de puentes, basura de gran tamaña incrementan la rugosidad. El incremento depende de la forma y magnitud de la obstrucción en relación con la sección transversal, y el número, arreglo y espaciamiento de las obstrucciones. Cada obstrucción genera un espacio de influencia dependiendo de la velocidad. Cuando hay muchas obstrucciones, estos espacios de influencia pueden traslaparse, potenciando los efectos. Chow (1959) asignó cuatro niveles de obstrucción: despreciables, menor, apreciable y severa. El efecto de las obstrucciones queda establecido de acuerdo con la tabla 5.

Tabla 5. Factores de ajuste por obstrucciones (USGS, 1989)

Condición de obstrucción	Ajuste $n_3$	Ejemplos					
Despreciable	0.000-0.004	Pocas obstrucciones espaciadas, que incluyen depósitos de desechos, tocones, raíces expuestas, estribos, pilas de puente, cantos rodados aislados, que ocupan menos del 5% del área de la sección transversal.					
Menor	0.005-0.015	Las obstrucciones ocupan menos del 15% del área de la sección transversal, y el espaciamiento entre obstrucciones es tal que la esfera de influencia alrededor de cada obstrucción no se traslapa con las esferas de influencia de otras obstrucciones. Se usan ajustes menores para objetos de superficies suaves que para objetos con filos angulados.					
Apreciable	0.020-0.030	Las obstrucciones ocupan entre el 15 y el 50% del área de la sección transversal, o el espacio entre obstrucciones es tan pequeño como para causar un efecto aditivo de las obstrucciones, bloqueando una parte equivalente de la sección.					
Severa	0.040-0.050	Las obstrucciones ocupan más del 50% del área de la sección transversal, o el espacio entre obstrucciones es tan pequeño como para causar turbulencia en la mayor parte de la sección.					

#### Vegetación $(n_4)$

El impacto de la vegetación depende del tirante, el porcentaje de perímetro mojado cubierto por vegetación, así como de la densidad de la vegetación, por debajo del agua, el grado al cual la vegetación se dobla con el flujo y el alineamiento de la vegetación relativo al flujo. Filas de vegetación paralela a la dirección del flujo tendrán menos efecto que cuando están perpendiculares al mismo. Los efectos de la vegetación son mayores en cauces angostos. En cauces en los que la

vegetación cubra la mayor parte de la sección, los ajustes a la n son considerables. Los valores de ajuste asociados con la vegetación se asignan de acuerdo con la tabla 6.

Tabla 6. Factores de ajuste por vegetación (USGS, 1989)

Condición de vegetación	Ajuste $n_4$	Ejemplos
Pequeña	0.002-0.010	Crecimiento denso de pasto flexible (por ejemplo Bermuda), o maleza donde el tirante promedio del flujo es al menos dos veces el alto de la vegetación; plántulas de árboles flexibles tales como sauce, álamo, cedro salado y ácaro, creciendo donde el tirante promedio es al menos tres veces el alto de la vegetación
Mediana	0.010-0.015	Pasto grama creciendo donde el tirante promedio del flujo está entre una y dos veces la altura de la vegetación; pasto con talle, malezas o plántulas de árboles creciendo donde el tirante promedio del flujo está entre dos y tres veces la altura de la vegetación; arbustos moderadamente densos similares a sauces de 1 a 2 años de edad en temporada de latencia, creciendo en las márgenes sin vegetación significativa evidente en el fondo del canal donde el radio hidráulico es mayor a 0.60m.
Grande	0.025-0.050	Pasto grama creciendo donde el tirante promedio del flujo es igual a la altura de la vegetación; sauces de 8 a 10 años de edad o álamos intercalados con malezas y arbustos (vegetación sin follaje) donde el radio hidráulico es más de 0.60m; sauces arbustivos de 1 años de edad intercalados con maleza en los taludes (con follaje) y sin vegetación significativa en el fondo del canal donde el radio hidráulico es mayor de 0.60m.
Muy grande	0.050-0.100	Pasto grama creciendo donde el tirante promedio del flujo es menos de la mitad de la altura de la vegetación; sauces en arbusto del 1 año de edad intercalado con maleza en los taludes (todos con follaje), o totoras densas creciendo en el fondo del canal; árboles intercalados con maleza y arbustos (todos con follaje)

#### Meandreo o sinuosidad (m)

El grado de meandreo depende de la relación de la longitud total del cauce meandreante (media sobre las curvas) en relación con un tramo recto. El meandreo es menor si las relaciones son menores de 1.2, apreciable si está entre 1.2 y 1.5 y severa para relaciones mayores a 1.5. Chow (1959) indica que el meandreo puede incrementar la n hasta en un 30% si el agua está confinada a la sección transversal. El factor de ajuste m está dado de acuerdo con la tabla 7.

Tabla 7. Factores de ajuste por sinuosidad (meandreo) (USGS, 1989)

Grado de sinuosidad	Ajuste m	Descripción
Menor	1.00	Relación del largo del canal a la longitud recta de 1.0 a 1.2
Apreciable	1.15	Relación del largo del canal a la longitud recta de 1.2 a 1.5
Severo	1.30	Relación del largo del canal a la longitud recta mayor de 1.5

# Aplicación al tramo de intervención

En reuniones de las partes interesadas, llevadas a cabo en las oficinas de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León, se definió un tramo del río Santa Catarina para intervención controlada. El tramo se ubica aguas abajo del cruce de las avenidas Benito Juárez / Cristóbal Colón, y el río Santa Catarina. Entre este cruce, particularmente el puente de Morones Prieto hacia la calle Churubusco y el correspondiente a la calle Constituyentes de Nuevo León, se encuentra el tramo en que se decidió realizar la intervención (Figura 1). El tramo se encuentra localizado alrededor de las coordenadas 100°15′58″ Oeste y 25°40′54″ Norte, después de una curva relativamente pronunciada (unos 70 grados), sobre una muy ligera curva y antes de un estrechamiento severo del cauce. El tramo intervenido tendrá una longitud aproximada de 700 metros, habiéndose trabajado al 18 de diciembre de 2018 aproximadamente 450 metros (Figura 2).



Figura 1. Ubicación del tramo de intervención. Río Santa Catarina



Figura 2. Tramo intervenido al 18 de diciembre de 2018

# Visita de campo previa a la intervención

Como parte del proceso de asignación de las condiciones actuales de rugosidad, se efectuó una visita de campo que tuvo como objetivo la verificación de las condiciones existentes en el tramo antes de la intervención. En el tramo existe una rampa de entrada a la que puede accederse desde el carril exprés de la Av. Morones Prieto. Esta rampa de hecho ha propiciado que, en forma clandestina, se realice el tiradero de basura general y escombros en particular.



Figura 3. Material del lecho al inicio del tramo (nótese la comparación con el reloj de pulso)



Figura 4. Montículos de escombro y basura presentes en secciones del tramo



Figura 5. Condiciones del lecho bajo el puente Colón.



Figura 6. Vegetación en el lecho del río



Figura 7. Condiciones vegetación en el lecho del cauce

# Visita de campo posterior a la intervención

#### Acciones de intervención

La intervención sobre el tramo consistió en la remoción de los obstáculos aparentes consistentes en desechos tales como basura y escombros, es decir todo lo que es material no natural ajeno al cauce. Esto se realizó con la ayuda de un cargador (mano de chango) y camión de volteo en un servicio de gestionó Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.

Adicionalmente, se trabajó en un control supervisado de la vegetación. Comenzando con la remoción de especies invasoras y no nativas, así como la maleza y arbustos de talla menor, preservando árboles predominantes en la región.

#### Resultado de la intervención

A mediados del mes de diciembre se realizó una visita para corroborar las condiciones del mismo tramo posterior a la intervención. Las acciones proporcionaron al cauce características de mayor área hidráulica y menor resistencia al flujo, tal como lo indican las figuras 8 a 12. En ellas se observa una significativa disminución de la vegetación, además de la remoción de los montículos de escombros y basuras. El tramo recuperó de manera significativa el área hidráulica.

Durante la visita se observó el método de remoción que estaba en ese momento siendo utilizado. Un mini retroexcavadora de las denominadas "mano de chango". El operador respeta los árboles de mediano a grandes, especialmente los marcados con rojo en el tronco. Sin embargo, con la vegetación menor y arbustiva no aplica criterio alguno y toda es removida. Se observa el crecimiento, por ejemplo, de carrizo que seguramente se está dando en forma posterior a la intervención de ese tramo (Figura 8). Es importante señalar que los residuos de la vegetación removida (troncos y hojas) están aún dentro de la sección hidráulica del río (Figura 12). Éstos deben ser movidos pues condicionan el flujo y representan un material que sería arrastrado por las corrientes. Asimismo, se observan montículos de basura, que probablemente hayan sido botados posteriormente a la intervención (Figura 13).



Figura 8. Condiciones del tramo posterior a la intervención

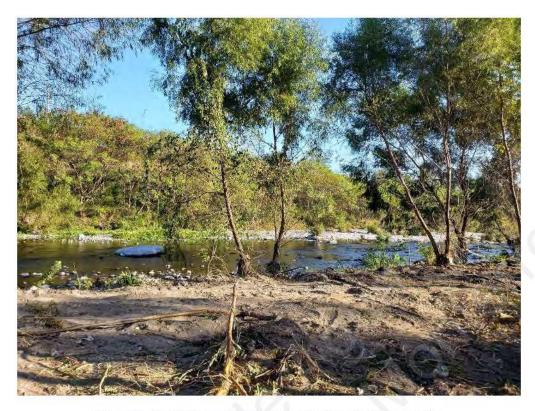


Figura 9. Condiciones del tramo posterior a la intervención



Figura 10. Condiciones del tramo posterior a la intervención



Figura 11. Marcación de árboles a preservar



Figura 12. Material residual de corte de vegetación



Figura 13. Material residual de corte de vegetación



Figura 14. Vista 360° en punto del tramo intervenido

# Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning

Con base en la metodología de Cowan y el procedimiento de comparación fotográfica, se realizó una estimación del coeficiente de rugosidad, n de Manning tanto para las condiciones previas a la intervención como a las posteriores. A continuación, se presenta la aplicación.

#### Condiciones Previas

#### Método de Cowan

En el tramo, en cuanto a material del cauce, se observa grava gruesa como material del lecho del río, con algunos cantos rodados de tamaño pequeño. Por lo que respecta a obstrucciones, a la entrada del tramo se tiene la presencia de estribos y pilas del puente de Av. Colón, además del

puente del Metro. Adicionalmente se tienen diversos montículos de escombro y desechos de material de construcción (incluso vestigios de muebles viejos). Estas obstrucciones se encuentran básicamente en una berma que se ubica sobre margen derecha del cauce, pero aún antes del talud. Su tamaño es considerable, sin embargo, en comparación con el ancho del cauce en ese tramo, no condicionan el área hidráulica en más del 5%. En lo que respecta a la vegetación, ésta se encuentra en forma densa y abundante en el cauce principal y margen derecha y en forma media en la margen derecha. Se aprecia la presencia de matorrales y arbustos de tamaño medio a grande, así como pastos, zacate y grama en forma abundante. Se encuentran también especies de palmas de ornato que se han desarrollado en el lecho del río. La presencia de árboles con troncos que pasan de los 6cm de diámetro (medido a la altura del pecho) es evidente e incluso existen algunos ejemplares cuyo tronco en diámetro sobrepasa los 15cm de diámetro. En las figuras 2 a 6 se muestran algunas vistas del tramo en cuestión.

Con base en la observación de campo, el valor base del coeficiente n de Manning se puede establecer, con referencia a la tabla 2, en un valor  $n_b$ = 0.028.

En cuanto al factor de ajuste por irregularidad de la sección, ésta se ubica en rugosidad moderada con taludes en relativamente buenas condiciones, ligeramente erosionados sin caídos apreciables por lo que  $n_1$ = 0.008 (Tabla 3).

El factor de variación de la sección transversal ubica al tramo bajo estudio, en un caso con cambio gradual de la sección, sin alternancia entre secciones grandes y chicas. Por esta razón, el ajuste, de acuerdo con la tabla 4, es pequeño  $n_2$ = 0.002

Por lo que respecta a las obstrucciones, la presencia de grandes montículos de de basura y escombros indica que el factor de ajuste corresponde al caso entre despreciable y menor, dado que el espaciamiento de los desechos hace poco probable que se traslapen las zonas de influencia. Sin embargo, las obstrucciones sí reducen en forma importante el área hidráulica generando turbulencias en caso de flujos que superen el canal principal (de estiaje). Por lo tanto, de acuerdo con la tabla 5, se tiene que  $n_3 = 0.010$ 

Para el caso de la vegetación, el tramo presenta una porción, particularmente en la sección principal del cauce, una cantidad importante de pastos, arbustos y árboles. Con referencia en la tabla 6, entre grande y muy grande, puesto que el tirante promedio es de orden de la mitad de la altura de los árboles, pero del orden de la altura de los arbustos. Con esto,  $n_4$  = 0.080.

Finalmente, en el tramo la longitud por la curva comparada con la longitud recta del tramo es de 670/660=1.02 por lo que m=1.00.

Con esto, la estimación del coeficiente *n* de Manning del tramo resulta en:

$$n = (0.028 + 0.008 + 0.002 + 0.010 + 0.075) * 1.00 = 0.123$$

#### Método del contraste de fotografías

De acuerdo con USGS (1989), el caso previo a la intervención es similar a los de las figuras 10 y 11. En ellas se tiene que el valor del coeficiente de rugosidad debe encontrarse en algún valor entre 0.15 y 0.20, lo cual es superior al estimado por el método de Cowan.



Figura 10. Tenmille Creek cerca de Elizabeth, La. Valor calculado n = 0.15 (USGS, 1989)



Figura 11. Thompson Creek cerca de Clara, Miss. Valor calculado n = 0.20 (USGS, 1989)

#### Condiciones posteriores

#### Método de Cowan

En las condiciones posteriores a la intervención, el factor base y los factores de ajuste por irregularidad y variaciones de la sección transversal no sufren cambios apreciables. Sin embargo, el factor por obstrucciones, a la luz de la remoción de los montículos de escombro y desechos se ve reducido a  $n_3=0.002$ . El factor asociado con la vegetación sufre una modificación importante, al haberse removido gran cantidad de maleza y arbustos, además de árboles de tamaño pequeño, por lo que  $n_4=0.020$ , al preservarse la presencia de árboles no alineados. El factor de sinuosidad sigue siendo m=1.00. Con base en las modificaciones, una estimación razonable del nuevo coeficiente de Manning será:

$$n = (0.028 + 0.008 + 0.002 + 0.002 + 0.020) * 1.00 = 0.060$$

Esto implica que, para unas mismas condiciones de flujo, en tirante y área hidráulica, el tramo es capaz de conducir el doble del gasto o caudal.

#### Método del contraste de fotografías

De acuerdo con las referencias fotográficas en USGS (1989), se tienen los casos reales mostrados en las figuras 12 y 13.

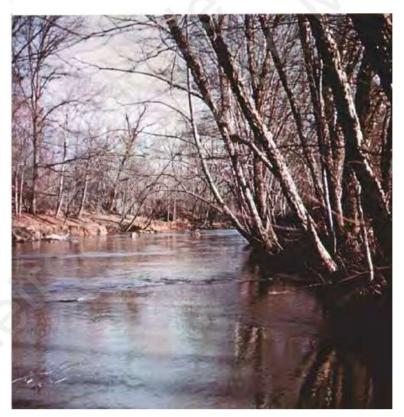


Figura 12. Haw River cerca de Benaja, N.C. Valor calculado n = 0.059 (USGS, 1967)



Figura 13. Cypress Creek cerca de Downsville, La. Valor calculado n = 0.10 (USGS, 1989)

#### Modelación en HEC-RAS

Aprovechando el modelo hidráulico del río Santa Catarina, implementado en 2010-2011 por el Tecnológico de Monterrey y actualizado parcialmente en el contexto del desarrollo del Plan Hídrico Nuevo León 2050 por el Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey, se realizaron dos tipos de corridas. Uno utilizando una estimación actual del coeficiente n de Manning y otro simulando que todos los tramos con vegetación densa fueran intervenidos con trabajos de las mismas condiciones que el tramo bajo estudios. Los modelos, implementado en el software HEC-RAS, fueron operados de tal forma de buscar la capacidad máxima del río. Cabe señalar que el modelo tiene algunas secciones en la cuales el levantamiento topográfico no fue completo, por lo cual, para fines del modelo, simplemente se han establecido paredes verticales para evitar el desbordamiento. Esto condiciona los resultados, mismos que habrá que tomar con gran reserva.

Para la simulación se ha utilizado como referencia la avenida de 50 años de periodo de retorno, que corresponde a un gasto máximo de 2712 m³/s, después de la confluencia con el Arroyo Obispo. Para el caso actual se han usado los coeficientes de rugosidad estimados originalmente para las condiciones con vegetación sin intervenir, incluidos como anexo 1. En estas condiciones, la avenida genera desbordamiento del 41% de las secciones del río por margen izquierda y 42% de las secciones transversales del río por margen derecha. El número total de secciones transversales del tramo simulado es de 361 secciones.

Al realizar la simulación adoptando el valor del coeficiente de rugosidad estimado en las condiciones después de la intervención, la misma avenida de referencia de 50 años de periodo de retorno genera

desbordes en el 17% de las secciones transversales del río por margen izquierda y en 19% de las secciones por margen derecha (de las 361 secciones totales). Esto significa una mejora en el 24% de las secciones por margen izquierda y 22 % de las secciones por margen derecha con respecto al caso sin intervención. Esta mejora llevaría a que, en promedio, se evitarían desbordamientos en una longitud de 6525 m por margen izquierda y 6000 m en margen derecha. Es preciso aclarar que, en virtud de la topografía con que se cuenta en el modelo, los resultados no son definitivos, puesto que aún existen secciones en las que el levantamiento topográfico no fue capaz de captar las condiciones reales de la sección de desborde, al quedarse corto en la extensión de la sección transversal. Sin embargo, la mejora en el funcionamiento del cauce para el caso posterior a la intervención es clara y objetiva.

Los resultados completos del modelo están a disposición en un anexo digital.

### Capacidad hidráulica del río Santa Catarina

La operación del modelo en HEC-RAS en las condiciones en que se encuentra la topografía no permite la determinación precisa de la capacidad actual del río. Sin embargo, en las condiciones intervenidas, la avenida de diseño de 20 años genera apenas desbordes en un 5% de las secciones por margen izquierda y un 9% de desbordes por margen derecha. Para estar en posibilidades de revisar la verdadera capacidad del río se deberá primero completar la topografía faltante.

Sin embargo, los resultados de este estudio indican que las medidas de intervención llevadas a cabo en el tramo piloto, si son replicadas en las zonas de vegetación similar en el cauce, permiten al menos duplicar la capacidad de conducción del río Santa Catarina, lo que incidiría positivamente en la reducción del riesgo debido a inundaciones.

#### Conclusiones

Se realizó la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning, para un tramo del río Santa Catarina en condiciones pre y post intervención, a través del criterio de Cowan. El cálculo indica una disminución del 50% en el valor de la *n* de Manning, lo cual implica un incremento de la capacidad hidráulica en el tramo del 100%.

La consideración de una intervención en la totalidad de las secciones con vegetación en el río Santa Catarina está asociada con un incremento en la capacidad hidráulica del río y en la consecuente disminución del riesgo de inundación. La intervención propuesta no implica la desaparición de toda la vegetación, sino un control supervisado de especies invasoras y no nativas, dejando una parte para que siga cumpliendo con servicios ambientales.

Intervenir las zonas del río Santa Catarina que presentan gran vegetación, con la filosofía empleada en el tramo piloto traería consigo una disminución importante en el riesgo asociado con los desbordamientos del río Santa Catarina.

# Bibliografía y Referencias

Alridge, B.N. and Garrett, J.M. (1973). Roughness coefficients for stream channels in Arizona. U.S. Department of the Interior Geological Survey in cooperation with the Arizona Highway Department.

Arcement, G. J. and Schneider, V.R. (1987). Roughness coefficients for densely vegetated flood plains. U.S. Geological Survey. Water Resources Investigations Report 83-4247.

Bal, K., Meire, P. (2009). The influence of Macrophyte Cutting on the Hydraulic Resistance of Lowland Rivers. Journal of Aquatic Plan Management, 47.

Benson M.A., and Dalrymple T., (1967). General field and office procedures for indirect discharge measurements . U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 3, Chap. A1

Carter, R. W., Einstein, H. A, Hinds, J., Powell R. W and Silberman, E. (1963). Friction factors in open channel –Progress report of the task force on friction factors in open channel of the Committee of Hydromechanics of the Hydraulic Division: American Society of Civil Engineers. Journal of the Hydraulics Division, v. 89, No HY2.

Chow, V. T. (1959). Open Channel Hydraulics. New York, McGraw-Hill Book Co.

Copeland R. R. (2000). Determination of flow resistance coefficients due to shrubs and woody vegetation. U. S. Army Corps of Engineers. ERDC/CHL CHETN-VIII-3.

Cowan, W. L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural Engineering, Vol. 37, No. 7

De Doncker, L., Troch, P., Verhoven, R., Bal, K., Meire, P., Quintelier, J. (2009). Determination of the Manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river Aa and Biebrza river. Environ Fluid Mech (9).

Fernández de Córdova, C. J., León A. J. F., Martínez, P. G. (2018). Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. XXXIX, No. 1, Enero-Abril.

Fisher, K. (1995a). River maintenance evaluation. HR Wallinford Report EX 2961.

Fisher, K. (1995b). The impact of temporal and spatial variations in vegetation in rivers. HR Wallingford Report SR 393.

Fisher, K., and Dawson, H. (2003). Reducing uncertainty in river flood conveyance. Roughness review. DEFRA/Environment Agency. Flood and Coastal Defence R&D Programme. W5A-057.

Henderson (1966)

Kim, J., Lee, C., Kim, W., Kim Y. (2010). Roughness coefficient and its uncertainty in gravel-bed rivers. Water Science and Engineering 3(2).

Li, R., Shen H. W. (1973). Effect of tall vegetation on flow and sediment. Journal of the Hydraulics Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 99.

Makaske, B., Maas, G. J., van den Brink, C., Wolfert, H. P. The Influence of Floodplain Vegetation Succession on Hydraulic Roughness: Is Ecosystem Rehabilitation in Dutch Embanked Floodplains Compatible with Flood Safety Standards? AMBIO: A Journal of the Human Environment Jun 2011: Vol. 40, Issue 4

Smailes, EL (1996). Hydraulic effects of vegetation management. HR Wallingford Report TR3.

Streeter (1971)

University of Bristol (1988). Department of Civil Engineering. Two stage channel flow.

US Soil Conservation Service (1954). Handbook of channel design for soil and water conservation. Publication SCS-TP61. United States Department of Agriculture.

USGS (1967). Roughness Characteristics of Natural Channels. United States Geological Survey, Water-Supply Paper 1849. Department of the Interior.

USGS (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. United States Geological Survey, Water-Supply Paper 2339. Department of the Interior.

USGS (1998). Estimation of Roughness Coefficients for Natural Stream Channels with Vegetated. United States Geological Survey, Water-Supply Paper 2441. Department of the Interior.

Yochum, S. E., Comiti, F., Wohl, E., David. G. C. L. and Mao, L. (2014). Photographic guidance for selecting flow resistance coefficients in high-gradient channels. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-323. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountains Research Station.

Yochum S. E. (2018). Flow resistance coefficient selection in natural channels: A spreadsheet tool. Department of Agriculture, Forest Service, Natural Stream & Aquatic Ecology Center. Technical Summary TS-103.2

# Anexo 1. Coeficientes de rugosidad (n de Manning) en las condiciones actuales

	Sección	Talud Izq	Centro	Talud Der	Sección	Talud Izq	Centro	Talud Der	Sección	Talud Izq	Centro	Talud Der	Sección	Talud Izq	Centro	Talud Der
Month   Color   1987								0.015								
March   Marc																
										-	0.003	0.033	_			
											0.065	0.035				
Mart   Day   Code   Code   Select   Code																
March   Gold																
March   Marc																
SCOPE   COMP																
Section   Gold   Gold   Section																
Section   Gold   Gold   Gold   19590   Gold   Gol											0.065	0.035				
											0.000	0.035				
19890   0.04		0.04	0.04			0.015	0.035			Bridge			5625			
1875   10.04							0.035	0.015								
							0.025	0.015								
1950    1960							0.000									
						0.015										
SYSTON   COM   COM   COM   COM   SISTON   COMS																
25075	25125	0.04	0.04	0.04	18225	0.015	0.035	0.015	11475				4875	0.1	0.13	0.13
28000   0.04		0.04		0.04		77.77	0.035							0.1	0.13	0.13
24050   0.04																
24750   O.04											0.065	0.035				
24600											0.065	0.035				
24650   0.04	24675	0.04	0.04	0.04	17775	0.015	0.035	0.015	11230	Bridge		E .	4425	0.015	0.13	0.015
24895   0.04																
24390																
24800   0.04   0.04   0.04   0.05																
24252   0.04																
24150   0.04																
24000   0.04									-							
24000   0.04   0.04   0.04   17100   0.015   0.065   0.015   10.057   0.015   0.065   0.015   3675   0.08   0.13   0.08   123250   0.04   0.04   0.04   10.04   10.05   0.055   0.015   0.055   0.015   0.055   0.035   0.055   0.035   0.055   0.08   0.13   0.08   1.232750   0.04   0.04   0.04   0.04   10.04   10.05   0.055   0.015   0.055   0.035   0.055   0.035   0.055   0.08   0.13   0.08   1.232750   0.04   0.04   0.04   0.04   10.04   10.05   0.05										-	0.065	0.035				
23925   0.04											0.065	0.035				
22777	23925	0.04	0.04	0.04	17025	0.015	0.065	0.015	10500	0.035		0.035	3630	Bridge		
123700   0.04   0.04   0.04   0.04   1.0800   0.015   0.065   0.015   10.075   0.035   0.065   0.035   3450   0.08   0.13   0.08   123550   0.04   0.04   0.04   0.04   1.6850   0.015   0.065   0.015   10.025   0.035   0.065   0.035   3325   0.08   0.13   0.08   123875   0.04   0.04   0.04   0.04   1.6850   0.015   0.065   0.015   0.055   0.035   0.065   0.035   3325   0.08   0.13   0.08   123870   0.04   0.04   0.04   0.04   1.6850   0.015   0.065   0.015   0.055   0.035   0.065   0.035   3325   0.08   0.13   0.08   123870   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.04   0.05   0.055   0.015   0.065   0.015   0.065   0.035   0.065   0.035   3325   0.08   0.13   0.08   0.035   0.065									77.77.77							
23555   0.04																
23875																
23305   0.04   0.04   0.04   16800   0.015   0.065   0.015   9975   0.035   0.065   0.035   3150   0.08   0.13   0.08																
23255   0.04   0.04   0.04   1.6425   0.015   0.065   0.015   9900   0.035   0.065   0.035   2075   0.08   0.13   0.08																
23255   0.04   0.04   0.04   1.6350   0.015   0.065   0.015   9825   0.015   0.055   0.035   2025   0.08   0.13   0.08   23215   0.016   0.04   0.04   0.04   1.6200   0.015   0.065   0.015   9825   0.015   0.055   0.035   2025   0.08   0.015   0.08   0.015   232107   0.04   0.04   0.04   1.6200   0.015   0.065   0.015   9875   0.08   0.08   0.08   2775   0.015   0.08   0.015   23205   0.04   0.04   0.04   1.6205   0.015   0.065   0.015   9675   0.08   0.08   0.08   0.08   2770   0.06   0.08   0.015   23205   0.04   0.04   0.04   1.6205   0.015   0.065   0.015   9670   0.08   0.08   0.08   0.08   2770   0.06   0.08   0.08   0.08   0.08   2775   0.06   0.08   0.08   0.08   22850   0.04   0.04   0.04   1.5907   0.015   0.065   0.015   9825   0.08   0.08   0.08   22650   0.06   0.08   0.08   0.08   2250   0.06   0.08   0.08   22850   0.04   0.04   0.04   1.5905   0.015   0.065   0.015   9850   0.08   0.08   0.08   2250   0.06   0.08   0.08   22850   0.04   0.04   0.04   1.5905   0.015   0.065   0.015   9375   0.08   0.08   0.08   2475   0.06   0.08   0.08   0.08   2250   0.06   0.08   0.08   2250   0.06   0.08   0																
23275   671   672   73											0.065	0.035				
23110			0.04	0.04							0.065	0.035				
23905   0.04   0.04   0.04   16950   0.015   0.065   0.015   9325   0.08   0.08   0.08   2700   0.06   0.08   0.08   22875   0.06   0.08   0.08   0.08   22875   0.06   0.08   0.08   0.08   22875   0.06   0.08			0.04										2850	0.015		
22875   0.04   0.04   0.04   15975   0.015   0.065   0.015   9325   0.08   0.08   0.08   2625   0.06   0.08   0.08   22875   0.04   0.04   0.04   15825   0.015   0.065   0.015   9395   0.08   0.08   0.08   2475   0.06   0.08   0.08   22725   0.04   0.04   0.04   15875   0.015   0.065   0.015   93900   0.08   0.08   2475   0.06   0.08   0.08   0.08   22725   0.04   0.04   0.04   15875   0.015   0.065   0.015   9325   0.08   0.08   0.08   24200   0.06   0.08										-						
22875   0.04   0.04   0.04   0.04   15900   0.015   0.065   0.015   9450   0.08   0.08   0.08   2550   0.06   0.08   0.08   22725   0.04   0.04   0.04   15675   0.015   0.065   0.015   9375   0.08   0.08   0.08   24275   0.06   0.08   0.08   22725   0.04   0.04   0.04   15675   0.015   0.065   0.015   9225   0.08   0.08   0.08   24200   0.06   0.08																
22800   0.04   0.04   0.04   15825   0.015   0.065   0.015   9375   0.08   0.08   0.08   2475   0.06   0.08   0.08   2275   0.06   0.08   0.08   22650   0.04   0.04   0.04   15675   0.015   0.065   0.015   9225   0.08   0.08   0.08   2325   0.015   0.08   0.08   0.08   2255   0.015   0.08   0.																
22755   0.04   0.04   0.04   1.5750   0.015   0.065   0.015   9300   0.08   0.08   0.08   2400   0.06   0.08   0.08   2285   0.015   0.085																
22575   0.04				0.04				0.015	9300							0.08
22500   0.04   0.04   0.04   15600   0.015   0.065   0.015   9075   0.08   0.08   0.08   2175   0.015   0.08   0.015							0.065	0.015								
22425   0.04   0.04   0.04   15525   0.015   0.065   0.05   9900   0.08   0.08   0.08   2100   0.015   0.08   0.015							D. OCT	0.035								
22325   0.04   0.04   0.04   15375   0.015   0.065   0.05   8825   0.08   0.08   0.08   2025   0.015   0.08   0.015																
22275   0.04																
22125   0.04   0.04   0.04   15275   0.015   0.065   0.05   8700   0.08   0.08   0.08   1875   0.015   0.08   0.015														0.015		
20050   0.04   0.04   0.04   15150   0.015   0.065   0.05   8625   0.08   0.08   0.08   1800   0.015   0.08   0.015																
21975   0.04   0.04   0.04   15075   0.015   0.065   0.05   8575   Birdge     1725   0.015   0.08   0.015																
21900   0.04   0.04   0.04   15000   0.015   0.065   0.05   8850   0.08   0.08   0.08   1650   0.015   0.08   0.015											3100	2,00				
21750   0.04   0.04   0.04   14850   0.015   0.065   0.05   8325   0.08   0.08   0.08   1520   0.015   0.08   0.015	21900	0.04			15000	0.015		0.05	8550	0.08		100000	1650	0.015	0.08	
21675   0.04   0.04   0.04   14775   0.015   0.065   0.05   8325   0.08   0.08   0.08   1425   0.015   0.08   0.015																
21600   0.04   0.04   0.04   14700   0.015   0.065   0.05   8250   0.08   0.08   0.08   1275   0.015   0.08   0.015																
21525         0.04         0.04         0.04         1.625         0.015         0.065         0.05         8175         0.08         0.08         1.275         0.015         0.08         0.015           21450         0.04         0.04         0.04         1.044         1.6550         0.015         0.065         0.05         8100         0.08         0.08         0.08         1.200         0.015         0.08         0.015           21375         0.04         0.04         0.04         1.4400         0.035         0.065         0.035         7950         0.08         0.08         1.025         0.015         0.08         0.015           21320         0.04         0.04         0.04         0.04         0.04         0.04         0.04         0.08         0.08         0.08         0.08         1050         0.015         0.065         0.035         7875         0.08         0.08         0.08         975         0.015         0.065         0.035         0.065         0.035         7875         0.08         0.08         0.08         975         0.015         0.08         0.08         0.08         975         0.015         0.08         0.08         0.08         0.08         <																
21375   0.04   0.04   0.04   14475   0.015   0.065   0.05   8025   0.08   0.08   0.08   1.125   0.015   0.08   0.015     21300   0.04   0.04   0.04   1.4400   0.035   0.065   0.035   7950   0.08   0.08   0.08   1.050   0.015   0.08   0.015     21225   0.04   0.04   0.04   1.4250   0.035   0.065   0.035   7875   0.08   0.08   0.08   975   0.015   0.08   0.015     21130   0.04   0.04   0.04   1.4250   0.035   0.065   0.035   7875   0.08   0.08   0.08   975   0.015   0.08   0.015     21150   0.04   0.04   0.04   1.4250   0.035   0.065   0.035   7875   0.08   0.08   0.08   0.08   990   0.015   0.08   0.015     21050   0.04   0.04   0.04   1.4250   0.035   0.065   0.035   7725   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08     21050   0.04   0.04   0.04   1.4025   0.035   0.065   0.035   7725   0.08   0.08   0.08   8.25   0.015   0.08   0.015     21000   0.04   0.04   0.04   1.4025   0.035   0.065   0.035   7750   0.08   0.08   0.08   675   0.015   0.08   0.015     21000   0.04   0.05   0.04   1.3895   0.035   0.065   0.035   7550   0.08   0.08   0.08   675   0.015   0.08   0.015     20850   0.04   0.05   0.04   1.3895   0.035   0.065   0.035   7350   0.08   0.08   0.08   600   0.015   0.08   0.015     20775   0.04   0.05   0.04   1.3890   0.035   0.065   0.035   7350   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08     20775   0.04   0.05   0.04   1.3725   0.035   0.065   0.035   7350   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08     20775   0.04   0.05   0.04   1.3725   0.035   0.065   0.035   7350   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08     20775   0.04   0.05   0.04   1.3725   0.035   0.065   0.035   7350   0.08	21525	0.04	0.04	0.04	14625	0.015	0.065	0.05	8175	0.08	0.08	0.08	1275	0.015	0.08	0.015
21300         0.04         0.04         0.04         1.4400         0.035         0.065         0.035         7950         0.08         0.08         1.050         0.015         0.08         0.015           21225         0.04         0.04         0.04         1.04         0.04         1.04         1.04         1.04         0.05         0.08         0.08         0.08         0.08         900         0.015         0.08         0.015           21000         0.04         0.04         1.04         1.4175         0.035         0.065         0.035         7725         0.08         0.08         0.08         8.25         0.015         0.08         0.015           21000         0.04         0.04         0.04         1.004         1.4025         0.035         0.065         0.035         7550         0.08         0.08         0.08         750         0.015         0.08																
21255   0.04   0.04   0.04   14250   0.035   0.065   0.035   7875   0.08   0.08   0.08   975   0.015   0.08   0.015																
21150   0.04   0.04   0.04   14250   0.035   0.065   0.035   7725   0.08   0.08   0.08   900   0.015   0.08   0.015     21075   0.04   0.04   0.04   14175   0.035   0.065   0.035   7725   0.08   0.08   0.08   0.08   825   0.015   0.08   0.015     21000   0.04   0.04   0.04   14005   0.035   0.065   0.035   7750   0.08   0.08   0.08   750   0.015   0.08   0.015     21000   0.04   0.04   0.04   14025   0.035   0.065   0.035   7750   0.08   0.08   0.08   675   0.015   0.08   0.015     20925   0.04   0.05   0.04   13895   0.035   0.065   0.035   7750   0.08   0.08   0.08   600   0.015   0.08   0.015     20830   0.04   0.05   0.04   13875   0.035   0.065   0.035   7750   0.08   0.08   0.08   600   0.015   0.08   0.015     20775   0.04   0.05   0.04   13875   0.035   0.065   0.035   7750   0.08   0.08   0.08   525   0.015   0.08   0.015     20700   0.04   0.05   0.04   13875   0.035   0.065   0.035   7750   0.08   0.08   0.08   525   0.015   0.08   0.015     20700   0.04   0.05   0.04   13724   Bridge   7275   0.08   0.08   0.08   375   0.08   0.08   0.08     20625   0.04   0.05   0.04   13725   0.035   0.065   0.035   7200   0.08   0.08   0.08   375   0.08   0.08   0.08     20755   0.04   0.05   0.04   13720   Bridge   7275   0.08   0.08   0.08   0.08   225   0.08   0.08   0.08     20757   0.04   0.05   0.04   13575   0.035   0.065   0.035   7200   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08   0.08     20757   0.04   0.05   0.04   13575   0.035   0.065   0.035   7200   0.08   0.08   0.08   0.08   225   0.08   0.08   0.08     20757   0.04   0.05   0.04   13575   0.035   0.065   0.035   7050   0.08   0.08   0.08   0.08   225   0.08   0.08   0.08     20757   0.04   0.05   0.04   13575   0.035   0.065   0.035   0.065   0.035   0.065   0.085   0.08																
21075   0.04   0.04   0.04   14175   0.035   0.065   0.035   7725   0.08   0.08   0.08   8.25   0.015   0.08   0.015	21150	0.04	0.04	0.04	14250		0.065	0.035	7800	0.08	0,08	0.08	900	0.015		0.015
2000   0.04   0.04   0.04   14025   0.035   0.065   0.035   7575   0.08   0.08   0.08   6.075   0.015   0.08   0.015			0.04	0.04						0.08						
20925         0.04         0.05         0.04         13890         0.035         0.065         0.035         7500         0.08         0.08         6.00         0.015         0.08         0.015           20850         0.04         0.05         0.04         13875         0.035         0.065         0.035         7425         0.08         0.08         0.08         525         0.015         0.08         0.015           20775         0.04         0.05         0.04         13880         0.035         0.065         0.035         7350         0.08         0.08         0.08         450         0.015         0.08         0.015           207075         0.04         0.05         0.04         13880         0.035         0.065         0.035         7350         0.08         0.08         0.08         450         0.015         0.08         0.015           20625         0.04         0.05         0.04         13724         Bridge         7275         0.08         0.08         0.08         375         0.08         0.08         0.08         375         0.08         0.08         0.08         375         0.08         0.08         0.08         375         0.08         0.08 <td></td> <td></td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td></td>			0.01	0.01												
20850         0.04         0.05         0.04         13875         0.035         0.065         0.035         7425         0.08         0.08         525         0.015         0.08         0.015           20777         0.04         0.05         0.04         13875         0.065         0.035         7350         0.08         0.08         0.08         450         0.015         0.08         0.015           20700         0.04         0.05         0.04         13754         Bridge         7275         0.08         0.08         0.08         375         0.08         0.08         0.08           20625         0.04         0.05         0.04         13724         Bridge         7225         0.08         0.08         0.08         300         0.08																
20775   0.04   0.05   0.04   13800   0.035   0.065   0.035   7350   0.08   0.08   0.08   450   0.015   0.08   0.015																
20700   0.04   0.05   0.04   13754   Bridge   7275   0.08   0.08   0.08   375   0.08   0.08   0.08   20625   0.04   0.05   0.04   13725   0.035   0.065   0.035   7200   0.08   0.08   0.08   300   0.08   0.08   0.08   20550   0.04   0.05   0.04   13720   Bridge   7225   0.08   0.08   0.08   0.08   225   0.08   0.08   0.08   2075   0.04   0.05   0.04   13570   0.055   0.055   0.035   7250   0.08   0.08   0.08   0.08   225   0.08   0.08   0.08   0.08   2075   0.08   0	20775	0.04	0.05	0.04	13800				7350	0.08	0.08	0.08	450	0.015	0.08	0.015
20550         0.04         0.05         0.04         13720         Bridge         7125         0.08         0.08         0.08         225         0.08         0.08         0.08           20475         0.04         0.05         0.04         13650         0.035         0.065         0.035         7050         0.08         0.08         0.08         150         0.08         0.08         0.08           20400         0.04         0.05         0.04         13575         0.035         0.065         0.035         6975         0.08         0.08         0.08         75         0.08         0.08           20325         0.04         0.05         0.04         13500         0.035         0.065         0.035         6975         0.08         0.08         0.08         75         0.08	20700	0.04	0.05	0.04	13754	Bridge	8		7275	0.08	0.08	0.08		0.08	0.08	0.08
20475         0.04         0.05         0.04         13550         0.035         0.065         0.035         7050         0.08         0.08         1.08         150         0.08							0.065	0.035								
20400         0.04         0.05         0.04         13575         0.035         0.065         0.035         6975         0.08         0.08         0.08         75         0.08         0.08         0.08           20325         0.04         0.05         0.04         13500         0.035         0.065         0.035         6900         0.08         0.08         0.08         32         Bridge           20259         0.015         0.05         0.015         13425         0.035         0.065         0.035         6825         0.08							0,065	0,035								
20325         0.04         0.05         0.04         13500         0.035         0.065         0.035         6900         0.08         0.08         0.08         32         Bridge           20250         0.015         0.05         0.015         13425         0.035         0.065         0.035         6825         0.08         0.08         0.08         32         Bridge           20175         0.015         0.05         0.015         13350         0.035         0.065         0.035         6780         Bridge																
20175 0.015 0.05 0.015 13350 0.035 0.065 0.035 6780 Bridge	20325	0.04	0.05	0.04	13500	0.035	0.065	0.035	6900	0.08	0.08	0.08	32	Bridge		8 3
											0.08	0.08	0	0.08	0.08	0.08
0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000											0.00	0.08	- 4			
	20100	0.013	0.03	0.015	13213	0.000	0,005	0.033	0730	0.00	0.00	0.06	- 2			

# Anexo 2. Coeficientes de rugosidad (n de Manning) en las condiciones intervenidas

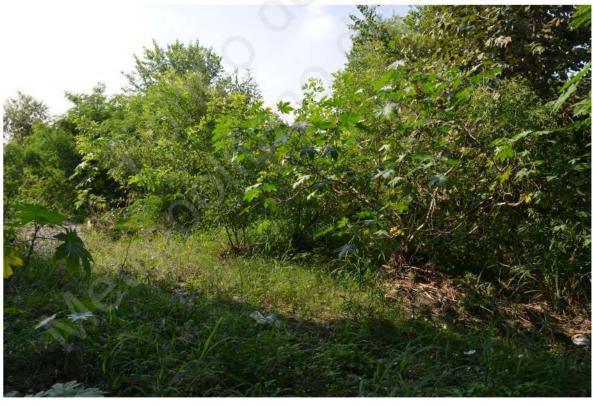
	3 111	CCI	VCII	iua.				ez- 15.550							
Sección	Talud Izq	Centro	Talud Der		Talud Izq		Talud Der		Talud Izq	Centro	Talud Der	Sección	Talud Izq	Centro	Talud De
26999	0.04	0.04	0.04	20025 19950	0.015	0.04	0.015	13200	0.035	0.05	0.035	6710	Bridge	0.06	0.035
26965 26925	Bridge 0.04	0.04	0.04	19875	0.015	0.04	0.015	13125 13050	0.035	0.05	0.035	6675 6600	0.015	0.06	0.035
26850	0.04	0.04	0.04	19800	0.015	0.04	0.015	12975	0.035	0.05	0.035	6525	0.015	0.06	0.035
26775	0.04	0.04	0.04	19725	0.015	0.04	0.015	12940	Bridge	0.00	0.000	6450	0.015	0.06	0.035
26700	0.04	0.04	0.04	19650	0.015	0.04	0.015	12900	0.035	0.05	0.035	6400	Bridge		9
26625	0.04	0.04	0.04	19575	0.015	0.04	0.015	12825	0.035	0.05	0.035	6375	0.015	0.06	0.039
26550	0.04	0.04	0.04	19500	0.015	0.04	0.015	12750	0.035	0.05	0.035	6300	0.015	0.06	0.035
26475	0.04	0.04	0.04	19425	0.015	0.04	0.04	12675	0.035	0.05	0.035	6225	0.015	0.06	0.035
26400	0.04	0.04	0.04	19350	0.015	0.04	0.04	12600	0.035	0.05	0.035	6150	0.06	0.06	0.06
26325	0.04	0.04	0.04	19275	0.015	0.04	0.04	12525	0.035	0.05	0.035	6075	0.06	0.06	0.06
26258	Bridge			19243	Bridge			12450	0.035	0.05	0.035	6000	0.06	0.06	0.00
26250	0.04	0.04	0.04	19200	0.015	0.035	0.05	12375	0.035	0.05	0.035	5925	0.06	0.06	0.06
26175 26100	0.04	0.04	0.04	19125 19050	0.015	0.035	0.015	12310 12300	Bridge 0.035	0.05	0.035	5850 5775	0.06	0.06	0.06
26025	0.04	0.04	0.04	18975	0.015	0.035	0.015	12225	0.035	0.05	0.035	5700	0.06	0.06	0.06
25950	0.04	0.04	0.04	18900	0.015	0.035	0.015	12200	Bridge	0.03	0.033	5625	0.06	0.06	0.00
25875	0.04	0.04	0.04	18825	0.015	0.035	0.015	12150	0.035	0.05	0.035	5595	Bridge		
25800	0.04	0.04	0.04	18787	Bridge			12075	0.035	0.05	0.035	5550	0.06	0.06	0.0
25725	0.04	0.04	0.04	18750	0.015	0.035	0.015	12000	0.035	0.05	0.035	5475	0.06	0.06	0.0
25650	0.04	0.04	0.04	18675	0.015	0.035	0.015	11925	0.035	0.05	0.035	5400	0.06	0.06	0.0
25575	0.04	0.04	0.04	18641	Bridge	3,000,000		11850	0.035	0.05	0.035	5325	0.06	0.06	0.0
25500	0.04	0.04	0.04	18600	0.015	0.035	0.015	11825	Bridge			5250	0.06	0.06	0.06
25425	0.04	0.04	0.04	18525	0.015	0.035	0.015	11775	0.035	0.05	0.035	5175	0.06	0.06	0.06
25350	0.04	0.04	0.04	18450	0.015	0.035	0.015	11700	0.035	0.05	0.035	5100	0.06	0.06	0.0
25275	0.04	0.04	0.04	18375	0.015	0.035	0.015	11625	0.035	0.05	0.035	5025	0.06	0.06	0.0
25200	0.04	0.04	0.04	18300	0.015	0.035	0.015	11550	0.035	0.05	0.035	4950	0.06	0.06	0.0
25125	0.04	0.04	0.04	18225	0.015	0.035	0.015	11475	0.035	0.05	0.035	4875	0.06	0.06	0.0
25050	0.04	0.04	0.04	18150	0.015	0.035	0.015	11430	Bridge		0.01	4800	0.06	0.06	0.0
24975	0.04	0.04	0.04	18075	0.015	0.035	0.015	11400	0.035	0.05	0.035	4725	0.06	0.06	0.00
24900 24825	0.04	0.04	0.04	18000 17925	0.015	0.035	0.015	11325 11317	0.035	0.05	0.035	4650 4575	0.06	0.06	0.0
24825	0.04	0.04	0.04	17925	0.015	0.035	0.015	11317	Bridge 0.035	0.05	0.035	45/5	0.015	0.06	0.01
24675	0.04	0.04	0.04	17775	0.015	0.035	0.015	11230	Bridge	0.05	0.035	4425	0.015	0.06	0.01
24600	0.04	0.04	0.04	17770	0.015	0.035	0.015	11175	0.035	0.05	0.035	4350	0.015	0.06	0.01
24525	0.04	0.04	0.04	17625	0.015	0.035	0.015	11100	0.035	0.05	0.035	4275	0.015	0.06	0.01
24450	0.04	0.04	0.04	17550	0.015	0.035	0.015	11025	0.035	0.05	0.035	4200	0.015	0.06	0.01
24375	0.04	0.04	0.04	17475	0.015	0.035	0.015	10950	0.035	0.05	0.035	4125	0.015	0.06	0.015
24300	0.04	0.04	0.04	17415	Bridge	27500		10875	0.035	0.05	0.035	4050	0.015	0.06	0.015
24260	Bridge			17400	0.015	0.035	0.015	10800	0.035	0.05	0.035	3975	0.015	0.06	0.019
24225	0.04	0.04	0.04	17325	0.015	0.05	0.015	10725	0.035	0.05	0.035	3900	0.06	0.06	0.06
24150	0.04	0.04	0.04	17250	0.015	0.05	0.015	10650	0.035	0.05	0.035	3825	0.06	0.06	0.0
24075	0.04	0.04	0.04	17175	0.015	0.05	0.015	10634	Bridge			3750	0.06	0.06	0.06
24000	0.04	0.04	0.04	17100	0.015	0.05	0.015	10575	0.035	0.05	0.035	3675	0.06	0.06	0.06
23925	0.04	0.04	0.04	17025	0.015	0.05	0.015	10500	0.035	0.05	0.035	3630	Bridge		
23850	0.04	0.04	0.04	16950	0.015	0.05	0.015	10425	0.035	0.05	0.035	3600	0.06	0.06	0.06
23775	0.04	0.04	0.04	16875	0.015	0.05	0.015	10350	0.035	0.05	0.035	3525	0.06	0.06	0.06
23700	0.04	0.04	0.04	16800	0.015	0.05	0.015	10275	0.035	0.05	0.035	3450	0.06	0.06	0.06
23625	0.04	0.04	0.04	16725	0.015	0.05	0.015	10200	0.035	0.05	0.035	3375	0.06	0.06	0.06
23550	0.04	0.04	0.04	16650	0.015	0.05	0.015	10125	0.035	0.05	0.035	3300	0.06	0.06	0.06
23475 23400	0.04	0.04	0.04	16575 16500	0.015	0.05	0.015	10050 9975	0.035	0.05	0.035	3225 3150	0.06	0.06	0.06
23325	0.04	0.04	0.04	16425	0.015	0.05	0.015	9900	0.035	0.05	0.035	3075	0.06	0.06	0.06
23250	0.04	0.04	0.04	16350	0.015	0.05	0.015	9844	Bridge	0.03	0.033	3000	0.06	0.06	0.00
23235	Bridge	0.04		16275	0.015	0.05	0.015	9825	0.035	0.05	0.035	2925	0.06	0.06	0.00
23175	0.04	0.04	0.04	16200	0.015	0.05	0.015	9750	0.035	0.05	0.035	2850	0.015	0.06	0.015
23100	0.04	0.04	0.04	16125	0.015	0.05	0.015	9675	0.06	0.06	0.06	2775	0.015	0.06	0.019
23025	0.04	0.04	0.04	16050	0.015	0.05	0.015	9600	0.06	0.06	0.06	2700	0.06	0.06	0.06
22950	0.04	0.04	0.04	15975	0.015	0.05	0.015	9525	0.05	0.06	0.06	2625	0.06	0.06	0.06
22875	0.04	0.04	0.04	15900	0,015	0.05	0.015	9450	0.06	0.06	0.06	2550	0.06	0.06	0.06
22800	0.04	0.04	0.04	15825	0.015	0.05	0.015	9375	0,06	0.06	0.06	2475	0.06	0.06	0.06
22725	0.04	0.04	0.04	15750	0.015	0.05	0.015	9300	0.06	0.06	0.06	2400	0.06	0.06	0.00
22650	0.04	0.04	0.04	15675	0.015	0.05	0.015	9225	0.06	0.06	0.06	2325	0.015	0.06	0.015
22575	0.04	0.04	0.04	15643	Bridge	-	Care	9150	0.06	0.06	0.06	2250	0.015	0.06	0.019
22500	0.04	0.04	0.04	15600	0.015	0.05	0.015	9075	0.06	0.06	0.06	2175	0.015	0.06	0.019
22425 22350	0.04	0.04	0.04	15525 15450	0.015	0.05	0.05	9000 8925	0.06	0.06	0.06	2100	0.015 Bridge	0.06	0.015
22275	0.04	0.04	0.04	15375	0.015	0.05	0.05	8850	0.06	0.06	0.06	2025	0.015	0.06	0.019
22200	0.04	0.04	0.04	15300	0.015	0.05	0.05	8775	0.06	0.06	0.06	1950	0.015	0.06	0.015
22125	0.04	0.04	0.04	15225	0.015	0.05	0.05	8700	0.06	0.06	0.06	1875	0.015	0.06	0.01
22050	0.04	0.04	0.04	15150	0.015	0.05	0.05	8625	0.06	0.06	0.06	1800	0.015	0.06	0.019
21975	0.04	0.04	0.04	15075	0.015	0.05	0.05	8575	Bridge			1725	0.015	0.06	0.019
21900	0.04	0.04	0.04	15000	0.015	0.05	0.05	8550	0.06	0.06	0.06	1650	0.015	0.06	0.015
21825	0.04	0.04	0.04	14925	0.015	0.05	0.05	8475	0.06	0.06	0.06	1575	0.015	0.06	0.015
21750	0.04	0.04	0.04	14850	0.015	0.05	0.05	8400	0.06	0.06	0.06	1500	0.015	0.06	0.019
21675	0.04	0.04	0.04	14775	0.015	0.05	0.05	8325	0.06	0.06	0.06	1425	0.015	0.06	0.015
21600	0.04	0.04	0.04	14700	0.015	0.05	0.05	8250	0.06	0.06	0.06	1350	0.015	0.06	0.015
21525 21450	0.04	0.04	0.04	14625 14550	0.015	0.05	0.05	8175 8100	0.06	0.06	0.06	1275 1200	0.015	0.06	0.01
21375	0.04	0.04	0.04	14550	0.015	0.05	0.05	8100	0.06	0.06	0.06	1125	0.015	0.06	0.01
213/5	0.04	0.04	0.04	14400	0.015	0.05	0.035	7950	0.06	0.06	0.06	1050	0.015	0.06	0.01
21225	0.04	0.04	0.04	14325	0.035	0.05	0.035	7875	0.06	0.06	0.06	975	0.015	0.06	0.01
21150	0.04	0.04	0.04	14250	0.035	0.05	0.035	7800	0.06	0.06	0.06	900	0.015	0.06	0.01
21075	0.04	0.04	0.04	14175	0.035	0.05	0.035	7725	0.06	0.06	0.06	825	0.015	0.06	0.01
21060	Bridge	11276		14100	0.035	0.05	0.035	7650	0.06	0.06	0.06	750	0.015	0.06	0.01
21000	0.04	0.04	0.04	14025	0.035	0.05	0.035	7575	0.06	0.06	0.06	675	0.015	0.06	0.01
20925	0.04	0.04	0.04	13950	0.035	0.05	0.035	7500	0.06	0.06	0.06	600	0.015	0.06	0.01
20850	0.04	0.04	0.04	13875	0.035	0.05	0.035	7425	0.06	0.06	0.06	525	0.015	0.06	0.01
20775	0.04	0.04	0.04	13800	0.035	0.05	0.035	7350	0.06	0.06	0.06	450	0.015	0.06	0.01
20700	0.04	0.04	0.04	13754	Bridge			7275	0.06	0.06	0.06	375	0.06	0.06	0.0
20625	0.04	0.04	0.04	13725	0.035	0.05	0.035	7200	0.06	0.06	0.06	300	0.06	0.06	0.0
	0.04	0.04	0.04	13720	Bridge			7125	0.06	0.06	0.06	225	0.06	0.06	0.0
20550	0.04	0.04	0.04	13650	0.035	0.05	0.035	7050	0.06	0.06	0.06	150	0.06	0.06	0.0
20550 20475		0.04	0.04	13575	0.035	0.05	0.035	6975	0.06	0.06	0.06	75	0.06	0.06	0.0
20550 20475 20400	0.04														
20550 20475 20400 20325	0.04	0.04	0.04	13500	0.035	0.05	0.035	6900	0.06	0.06	0.06	32	Bridge	271	
20550 20475 20400 20325 20250	0.04 0.015	0.04 0.04	0.015	13425	0.035	0.05	0.035	6825	0.06	0.06	0.06	0	0.06	0.06	0.06
20550 20475 20400 20325	0.04	0.04													_
20550 20475 20400 20325	0.04	0.04												0.06	(

Anexo 3. Fotografías previas a la intervención

































Anexo 4. Fotografías posteriores a la intervención

