

# **MODELO PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE CANALES NAVEGABLES EN LAS VÍAS FLUVIALES DE COLOMBIA**

## **MODEL FOR THE CONCEPTUAL DESIGN OF NAVIGABLE CHANNELS IN THE RIVERWAYS OF COLOMBIA**

Paula Catalina López Arias  
Ingeniería Civil  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia.  
est.paula.lopez3@unimilitar.edu.co

**Artículo de Investigación**

**DIRECTOR**

**Ing. David Alejandro Rincón Castro, M.Sc.**



La U  
**acreditada**  
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA INTEGRAL DE PROYECTOS  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DICIEMBRE DE 2021**

# MODELO PARA EL DISEÑO CONCEPTUAL DE CANALES NAVEGABLES EN LAS VÍAS FLUVIALES DE COLOMBIA

## MODEL FOR THE CONCEPTUAL DESIGN OF NAVIGABLE CHANNELS IN THE RIVERWAYS OF COLOMBIA

Paula Catalina López Arias  
Ingeniería Civil  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia.  
est.paula.lopez3@unimilitar.edu.co

### RESUMEN

Colombia es un país rico en recursos hídricos y privilegiado por su posición geoestratégica donde presenta aproximadamente 23.750 kilómetros de aguas superficiales de los cuales son navegables 18.000 kilómetros por lo tanto existen grandes posibilidades de interconexión interfluvial a través de canales, pero el país no ha sabido aprovechar su riqueza natural, por lo que no ha existido una cultura del agua buscando su conservación, su mejor aprovechamiento y mucho menos una interconexión mediante canales fluviales. Debido a este motivo no se cuenta con normativa técnica aplicable en Colombia al diseño de canales/vías fluviales. Atendiendo a lo anterior, se busca generar una serie de pautas para el diseño conceptual de canales navegables en las vías fluviales del país, donde se permita integrar distintos referentes internaciones, para lo cual se realiza una recopilación de normativa internacional y artículos, luego un análisis de dicha información para así generar una serie de parámetros aplicables al país, tales como squat, profundidad del canal, ancho del canal y radio de giro. Estos parámetros se aplican al tramo del río Meta que conecta el municipio de Maní Casanare con Puerto Gaitán donde se obtiene una profundidad de 1.0 metro, un ancho del canal de 26 metros y un radio de giro de 69 metros.

**Palabras clave:** vías fluviales, canales navegables, diseño, normativa técnica, transporte fluvial y lacustre.

### ABSTRACT

Colombia is a country rich in water resources and privileged by its geostrategic location, having 23,750 kilometers of surface water where 18,000 kilometers of those are navigable. Therefore, there are great possibilities of interfluvial interconnection through channels, but the country has not known how to take advantage of its natural wealth, so there has not been a culture of water seeking its conservation, its better use, and much less an interconnection through river channels. Due to this reason, there are no technical regulations applicable in Colombia to the design of channels / waterways. Considering the above, it seeks to generate a series of guidelines for the conceptual design of navigable channels in the country's waterways, where it is possible to integrate different international references, for which a compilation of international regulations

and articles is carried out, then an analysis of this information in order to generate a series of parameters applicable to the country, such as squat, channel depth, channel width and turning radius. These parameters are applied to the stretch of the Meta river that connects the municipality of Mani Casanare with Puerto Gaitán, where a depth of 1.0 meter, a channel width of 26 meters and a turning radius of 69 meters are obtained.

**Keywords:** waterways, navigable channels, design, technical regulations, river and lake transport.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es un país rico en agua y privilegiado de su posición geoestrategia que lo determina como: el Geocentro de la Gran Cuenca Oceánica Mundial, de la Mayor Cuenca Ecológica y de Biodiversidad de la Tierra, Colombia cuenta con la única cordillera intertropical del mundo que incluye 90% de las tierras frías de la región circundante del gran Caribe y el 57% de la superficie mundial de paramos, así como una gran variedad de pisos térmicos y microclimas (Garay Salamanca, Ramírez Leyton, & De Lombaerde, 2001).

En aguas interiores superficiales se estiman más de 23.750 kilómetros de ríos de la red primera y segunda (Ministerio de transporte, 2018), de los cuales son navegables alrededor de 18.000 kilómetros, corrientes que se distribuyen en cinco cuencas con la especial ventaja de que corren hacia los cuatro puntos cardinales ofreciendo una total irrigación del territorio. Además de las grandes posibilidades de interconexión interfluvial a través de canales en su mayoría naturales utilizando las zonas de desborde o alivio de las cuencas o con obras hidráulicas sostenibles para la creación de canales artificiales para garantizar la facilidad de la integración de gran parte del país lejano a la economía y al desarrollo social (Superintendencia de puertos y transporte, 2018).

Históricamente el país no ha sabido aprovechar su riqueza natural, por lo que no ha existido una cultura del agua buscando su conservación y su mejor aprovechamiento, y mucho menos para generar una estructuración de la infraestructura adecuada, que sea un vehículo de

conectividad y de integración productiva y social del país. Por lo tanto la normativa existente como la ley 1 de 1991, por medio de la cual se expide el Estatuto de Puertos Marítimos y se dictan otras disposiciones, la ley 1005 de 1993 "Por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales", la resolución 664 de 1999, por medio de la cual se expide el reglamento de construcción de obras fluviales, la ley 1242 de 2008 la cual establece el Código Nacional de Navegación y Actividades Portuarias Fluviales y se dictan otras disposiciones y la ley 1682 de 2013 dentro de las políticas dictadas por la Nación, por la cual "Se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias", el plan maestro fluvial. Son las normas que se pueden aplicar al diseño de canales fluviales, pero en ninguna de estas se encuentran parámetros claros para esto.

Debido a esto se presenta una falta de normativa y parámetros técnicos para realizar un correcto diseño de los canales de navegación lo cual ha generado una pérdida en el fortalecimiento y creación de canales navegables en las vías fluviales con aprovechamiento de la hidráulica, el desarrollo socio económico de las poblaciones y limitando la conexión entre los municipios aledaños. Dicha falta de parámetros técnicos y normativas ha generado que al momento de realizar un diseño de algún canal fluvial en el país no se tenga claro que normativa es aplicable para las vías fluviales y cuáles son los valores mínimos o máximos que no se pueden exceder en variables como radios de curvatura, entretangencias en curvas de giro, entre otros. También genera que en el momento de evaluar un diseño ya realizado no se puede definir claramente como evaluar los parámetros que se tienen.

Atendiendo a lo anterior, se busca generar una serie de pautas para el diseño conceptual de canales navegables en las vías fluviales del país, donde se permita integrar distintos referentes

internacionales. Se basa en el estudio de referentes como artículos científicos, normativa técnica internacional, casos de éxito y las normas aplicables al contexto colombiano. Por último, se plantea la base para el diseño de canales navegables en vías fluviales.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para generar pautas para el diseño de canales navegables en las vías fluviales de Colombia lo primero que se realizó fue la identificación de normativa y parámetros para el diseño de canales navegables y transporte fluvial a nivel internacional.

En segundo lugar se depuró las bases de datos virtuales de la universidad Militar Nueva Granda tales como ScienceDirect, Scopus, Access Engineering, Springer desde el año 2016 hasta el 2022 donde se usaron palabras claves como “design depth for waterway”, “boat turning radius”, “inland waterway design engineering”, “waterway design engineering”, “waterway engineering”, “waterway design parameters” donde se obtuvo resultados de artículos científicos los cuales complementaron la información establecida en la normativa.

En tercer lugar se realizó la caracterización de los ríos Meta y Manacacias, como ejemplo para aplicar las pautas para el diseño conceptual.

Luego se realizó un análisis de los parámetros de la normativa internacional y artículos científicos para encontrar cuales son los parámetros aplicables a las condiciones que se presentan en Colombia.

Después de hacer la respectiva investigación se unifica la información encontrada y se realiza las pautas para el diseño de canales navegables en las vías fluviales.

A continuación se presenta una serie de conceptos para comprender mejor los resultados de dicha investigación:

Zona de navegación: Son las zonas transitables demarcadas por boyas a tal efecto, estas pueden o no tener el mismo ancho que el canal (PIANC, 2019).

Eslora L: Longitud que tiene la embarcación sobre la primero o principal cubierta desde codaste a la roda por la parte de adentro (Real Academia Española, 2021).

Manga del buque B: Es la mayor anchura de un buque (PIANC, 2019).

Efecto Banco (Veril): Es el efecto hidrodinámico causado por la proximidad de un buque a un banco. Presiones asimétricas actuando sobre el buque pueden causar que el mismo sea atraído hacia el banco (PIANC, 2019).

- Radio de la curva: Es el radio desde el centro de la curva al eje del canal (PIANC, 2019).
- Ancho del canal: Está definido como el ancho en el lecho del canal (PIANC, 2019).
- Calado: Profundidad que alcanza en el agua la parte sumergida de un barco (Real Academia Española, 2021).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Con el fin de generar el modelo básico para el diseño de canales navegables en las vías fluviales de Colombia se encontró la siguiente normativa donde se encuentra información útil para realizarlo:

- InCom WG 198: Saltwater Intrusion Mitigation in Inland Waterways (PIANC, 2021).
- MarCom WG 208: Planning for Automation of Container Terminals (PIANC, 2021).
- InCom WG 179: Standardisation of Inland Waterways - Proposal for the Revision of the ECMT 1992 Classification (2020).
- InCom WG 141: Design Guidelines for Inland Waterway Dimensions (PIANC, 2019).
- Technical Standards and cometaryies for port and harbour facilities in Japan (The Overseas coastal area development institute of Japan, 2009).

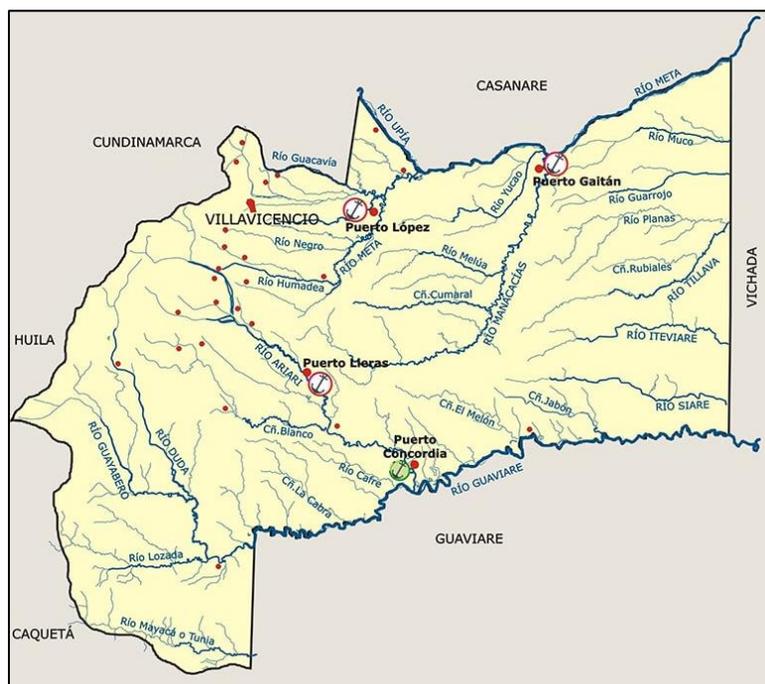
De las bases virtuales de la universidad Militar Nueva Granada se obtuvo información de los siguientes artículos:

- Impacts of wind and current on ship behavior in ports and waterways: A quantitative analysis based on AIS data (Zhou, Daamen, Vellinga, & Hoogendoorn, 2020).
- Inland Waterway Transport and Inland Ports: An Overview of Synchronodal Concepts, Drivers, and Success Cases in the IWW Sector (Behdani, Wiegmas, & Fan, 2021).
- Hydraulic Geometry Relation for Navigable Canals Considering Ship Speed (Mao, L., Chen, Y, 2019)
- Transporte fluvial en Colombia: Operación, infraestructura, ambiente, normativa y potencial de desarrollo (Quintero González, Ramírez Sosa, & Cortázar Ávila, 2020).

#### **Caracterización del río Meta:**

El río Meta es uno de los grandes afluentes del río Orinoco, el cual se encuentra ubicado en el centro oriente del territorio colombiano, cuenta con una longitud total de 1000 km con sus afluentes desde su nacimiento en la cordillera de los Andes hasta su desembocadura en el río Orinoco, de los cuales 785 km son navegables. Su cuenca es aproximadamente de 93.800 km<sup>2</sup> y su caudal promedio es de 6.490 m<sup>3</sup>/s (Ardila Luna, 2016 ).

**Figura 1. Río Meta.**



Nota: Fuente (IGAC, 2002).

Los municipios que se encuentran cubiertos por el río Meta son San Juanito, El Calvario, Restrepo, Cumaral, Villavicencio, Barranca de Upía, Cabuyaro, Puerto López, San Martín, San Carlos de Guaroa y Castilla la Nueva (Ardila Luna, 2016).

La morfología del río es trezado con islas en su interior, con transporte de sedimentos, donde su ancho es mayor al comienzo y final de una bifurcación. Se caracteriza por un clima intertropical de sabana (Instituto Colombiano de Antropología e historia, 2021).

Según el estudio y diseño del muelle de Puerto Gaitán realizado por el INVIAS, para el tramo del río meta que conecta el municipio de Maní Casanare con el municipio de Puerto Gaitán se realiza la caracterización en las embarcaciones de las cuales se obtiene las embarcaciones tipo (Oramas Leuro, 2020), que se presentan a continuación:

**Tabla 1. Embarcaciones tipo para el tramo del río que conecta Maní Casanare con Puerto Gaitán.**

<b>TIPO DE EMBARCACIÓN</b>	<b>ESLORA (m)</b>	<b>MANGA (m)</b>	<b>PUNTAL (m)</b>	<b>CALADO MAX (m)</b>	<b>DWT (Ton)</b>
BARCAZA AUTOPROPULSADA	42	6,65	1,2	0,9	120
BARCAZA/BOTE	30	6	1,2	0,9	100
EMBARCACIÓN DE CARGA	25	3	1	0,6	25

*Nota:* Tomado del estudio y diseño del muelle de Puerto Gaitán realizado por el INVIAS (Oramas Leuro, 2020).

Luego de realizar la caracterización y el estudio detallado de la información encontrada se realiza un análisis de la información la cual se puede emplear en Colombia según las condiciones de las vías fluviales la cual se encuentra a continuación:

El diseño de canales de acceso se puede considerar como un proceso de dos etapas siendo el diseño conceptual y el diseño detallado. En la primera etapa los parámetros propuestos que se emplean son el ancho, la profundidad y el alineamiento están determinador por información obtenida en campo. En cambio, el diseño detallado es un proceso elaborado y puede utilizar modelos físicos, matemáticos y/o simuladores para detallar temas como maniobras de buques, condiciones de tráfico y análisis de riesgo, donde son usados para agregar confiabilidad al diseño conceptual (PIANC, 2019).

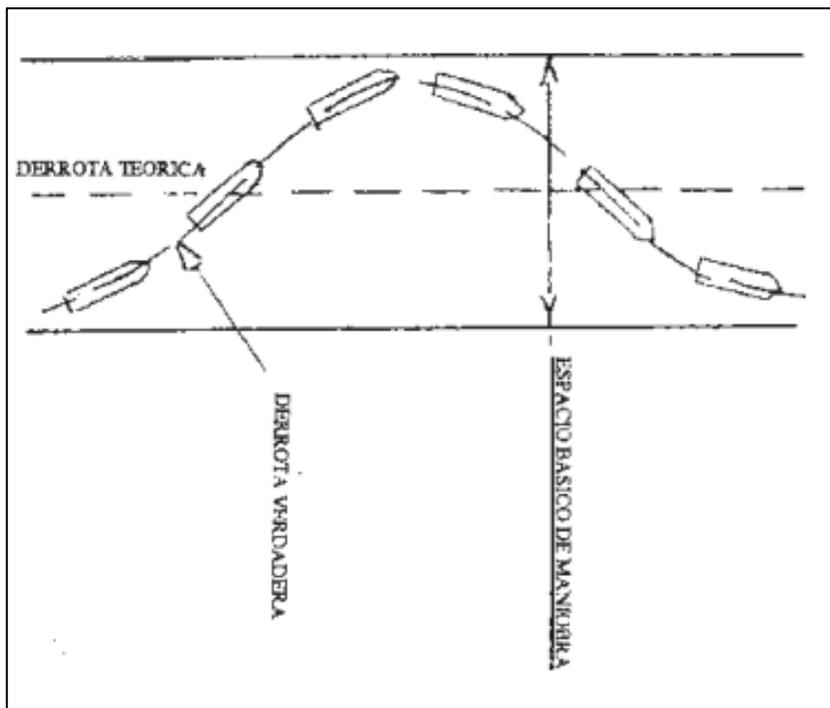
Los parámetros básicos de ancho, profundidad y alineamiento son interdependientes, donde un ancho adicional puede amortizar una profundidad reducida y la alineación puede ser modificada para permitir reducción de ancho o profundidad. La meta principal de este estudio es proveer un sistema que permita arribar a un ancho, profundidad y radio de giro que conserve un nivel de seguridad adecuado para la navegación en las vías fluviales de Colombia.

Para lograr obtener dichos parámetros se debe conocer el buque tipo de diseño, el cual se escoge para diseñar el canal o vía fluvial; este debe asegurar que el diseño le permita a todos los

otros buques que utilicen el canal navegarlo con seguridad, podrá ser el buque de mayor tamaño pero no necesariamente debe cumplirse.

El ancho de un canal se expresa como múltiplo de la manga del buque, para lo cual se utiliza el buque de diseño, donde se debe establecer si el canal pretende ser navegado permanentemente o si será aceptable algún tipo de limitación por año (The Overseas coastal area development institute of Japan, 2009). Para el diseño del ancho se debe considerar la maniobrabilidad básica de los buques, cuando los buques se encuentren en condición de control manual abarcan el camino asumiendo ausencia de cualquier factor externo de perturbación.

Figura 2. El ancho del campo de maniobra básica.

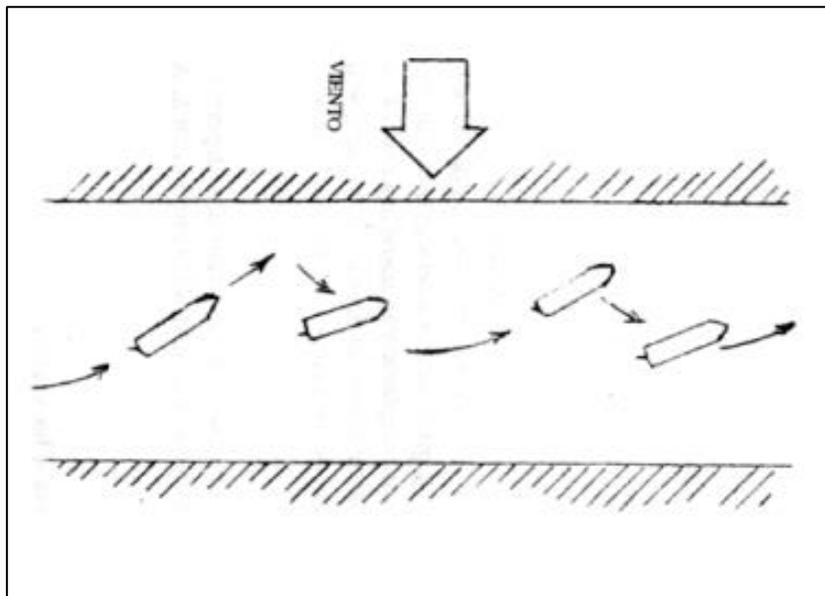


Nota: Fuente (PIANC, 2019).

También se debe tener en cuenta factores ambientales como el viento cruzado el cual afectara al buque a cualquier velocidad, pero será mayor el efecto a velocidad baja, donde causará un desplazamiento lateral de buque o lo hará tomar un ángulo de abatimiento, esto

incrementa el ancho requerido para maniobrar ya que difícilmente el buque podrá mantener un rumbo fijo a baja velocidad, como se puede observar en la Figura 2.

**Figura 3. Maniobra con viento fuerte.**

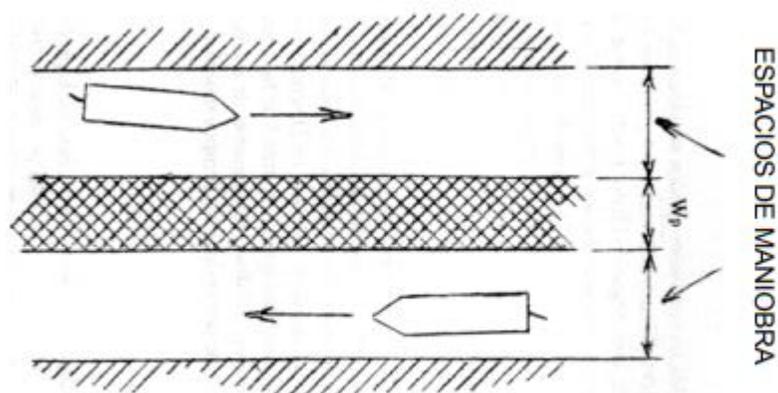


Nota: Fuente (PIANC, 2019).

La corriente atravesada es otro factor que afecta el buque en una forma similar a la indicada por el viento, pero con la diferencia de que el efecto aumenta a medida que la relación profundidad/calado se acercan a la unidad, teniendo un efecto adicional en la maniobra lo que puede causar que los arribos o zarpes se vean restringidos a determinados periodos de tiempo.

Para canales donde se deseen dos vías, se deberá tener en cuenta la distancia de cruce ( $W_p$ ) para permitir un paso seguro de los buques, esta distancia deberá asegurar que la interacción buque-buque sea reducida a un mínimo aceptable y es usual dejar una faja central igual a un múltiplo de la manga del buque de diseño. Este ancho también dependerá de la densidad del tráfico en las vías fluviales, entre mayor sea el tráfico, mayor será el ancho necesario.

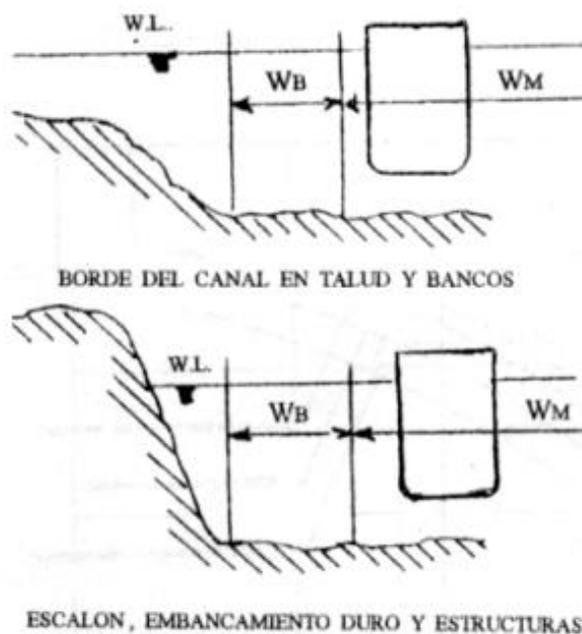
Figura 4. Distancia de cruce  $W_p$ .



Nota: fuente (PIANC, 2019).

La interacción con los banco puede provocar a un buque cambios de dirección incontrolables, para prevenir esto es necesario dejar un ancho adicional fuera de cambios de maniobras el cual dependerá de la velocidad del buque en relación a la profundidad, de la altura del veril y de su talud y de la relación profundidad/calado.

Figura 5. Ancho del veril  $W_b$ .



Nota: fuente (PIANC, 2021).

La profundidad del canal responde técnicamente al cómputo de las configuraciones del agua, suelo y la embarcaciones que circularan por este, el diseño de profundidad está sujeto a la vocación que se le quiere dar al puerto. Por tanto, se define un buque tipo de proyecto, se tomarán valores seguros y adecuados que relacionen: Relación Profundidad /calado, el squat, calado máximo operativo y movimientos naturales del buque.

Se calcula el squat, el cuál es la tendencia de un buque a aumentar su inmersión y variar su asiento longitudinal durante la navegación reduciendo la distancia de la quilla al fondo, esta se calcula con la siguiente ecuación:

$$SQUAT (m) = \frac{V}{L_{pp}} \frac{Fn h}{\sqrt{(1 - Fn h^2)}}$$

Donde: V: volumen desplazado (m<sup>3</sup>) C<sub>b</sub>\*L<sub>pp</sub>\*BT; L<sub>pp</sub>: Eslora entre perpendiculares; B:manga; T Calado máximo; C<sub>b</sub> Coeficiente de block, Fn<sub>h</sub> Número de froude. El squat mínimo aceptado a nivel internacional es de 1.10. El número de Froude de profundidad debe ser menor que 0.7, ya que Fn<sub>h</sub> que se aproxima o es igual a la unidad genera que la resistencia de avance de los buque alcance grandes valores generando potencia insuficiente en estos.

La relación profundidad/calado se debe calcular y luego ser controlada para asegurarse de no estar por debajo de 1.10, ya que cuando esta relación es superior a 1 las condiciones de seguridad y ambientales se consideran óptimas y permiten grandes posibilidades de maniobra.

Se utiliza una distancia nominal libre bajo la quilla, donde la recomendación general de la PIANC es un valor nominal de 0.5 m, según numeral 2.1.2.7. del reporte 121 de 2014.

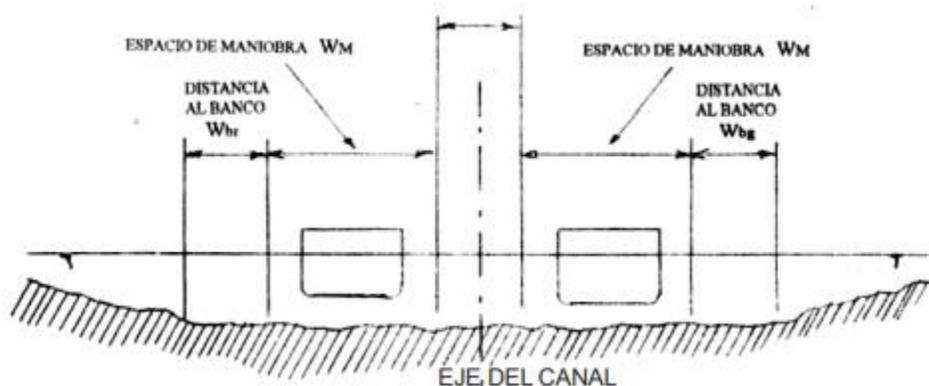
El ancho (W) de la vía fluvial está dada por el tamaño, dimensiones y características de maniobrabilidad de la embarcación de diseño, las ayudas de navegación disponibles, las condiciones físicas y geométricas del canal y los afectos que afectan su variabilidad.

La ecuación empleada para el ancho si se requiere canal de doble vía:

$$W = 2W_{BM} + 2 \sum_{i=1}^n W_i + W_{br} + W_{bg} + W_p$$

Si se requiere canal de una vía no se tiene en cuenta  $W_p$ . Donde  $W_{bm}$ : ancho de básico de maniobra del buque (tabla 1 de anexos);  $W_i$ : ancho adicional para secciones (tabla 2 de anexos);  $W_p$ : Distancia de cruce (tabla 3 de anexos)  $W_b$ : distancia al banco donde  $r$  es lado izquierdo y  $g$  lado derecho (tabla 4 de anexos). Para obtener estos valores se ingresa a la respectiva tabla conociendo la manga, la velocidad del buque, la velocidad de vientos, las corrientes longitudinales y densidad del tráfico, allí se obtiene el factor por el cual se debe multiplicar la manga para conocer el ancho del canal.

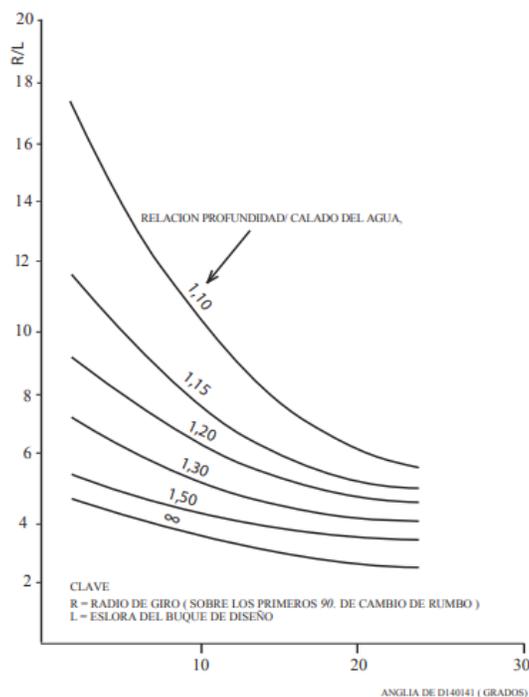
Figura 6. Elementos del ancho de canal o vía fluvial.



Nota: Fuente (PIANC, 2021).

El canal navegable cuenta con unas curvas de giro a lo largo del trayecto, para lo cual se elige un ángulo medio del timón de la embarcación y se calcula la relación profundidad/calado, con estos valores se ingresa a la siguiente figura y allí con ángulo del timón se ingresa al eje  $x$  hasta tocar la línea de la relación profundidad/calado y de allí se obtiene la relación radio de giro/eslora de la embarcación. De esta relación se despeja el radio de giro necesario para una navegación segura.

Figura 7. Radio de giro, función del ángulo de timón y profundidad.



Nota: fuente (PIANC, 2019).

Es importante conocer que respecto a curvas sucesivas en la misma dirección se procura mantener un tramo recto no menor a 3 esloras de la embarcación tipo.

A continuación se presenta el diseño conceptual para el tramo del río Meta que conecta los municipios de Maní Casanare y Puerto Gaitán, este será una vía tránsito para las embarcaciones.

Los parámetros que se emplean para realizar el diseño son los siguientes:

Tabla 2. Información para realizar el diseño del canal navegable para el tramo desde Maní Casanare hasta Puerto Gaitán del río Meta.

Información de Buque	
Buque de diseño	Transporte de carga
Eslora (m)	42
Eslora. E/perp (m)	42
Manga (m)	6,65
Calado (m)	0,9
Coef. Bloque	0,800
Vel. Buque (nudos)	8
Vientos cruzados (nudos)	7,24

<b>Información de Buque</b>	
<b>Buque de diseño</b>	<b>Transporte de carga</b>
<b>Cota actual</b>	1,5
<b>H Sign (m)</b>	0,2
<b>Ang. Corriente (grados)</b>	35
<b>Vel. Corriente (nudos)</b>	2
<b>RAO (asumida)</b>	0,35
<b>Tipo de suelo</b>	Arcillolita /Arena Fina
<b>AtoN</b>	Intermedias

*Nota:* Elaboración propia mediante los datos encontrados en el estudio y diseño del muelle de Puerto Gaitán realizado por el INVIAS (Oramas Leuro, 2020).

**Profundidad:** La profundidad operativa del río se establece mediante el estudio hidrológico e hidráulico de este, donde según el estudio y diseño del muelle de Puerto Gaitán realizado por el INVIAS (Oramas Leuro, 2020), es de 1.7 metros sobre el lecho del río en su punto más bajo, por ende la profundidad del canal navegable deberá ser 1.1 veces el calado del buque tipo de proyecto, en este caso 0.99 metros de profundidad el cual se aproxima a 1.0 metros para facilidad de construcción, ya que el calado es de 0.9 metros.

**Ancho del canal:** La determinación del ancho del canal influida por factores ambientales, operacionales y la morfología del lecho, se realiza tomando los coeficientes presentes en las tablas 1, 2 , 3 y 4 de los anexos presentados; se resumen a continuación:

**Tabla 3. Coeficientes según las características del tramo del río Meta.**

<b>Sobre ancho</b>	<b>Una vía</b>	<b>wi</b>
<b>Maniobrabilidad básica</b>	Wbm	1,5
<b>Vel. Del buque</b>	Wa	0
<b>Viento cruzado</b>	Wb	0,2
<b>Corriente cruzada</b>	Wc	0,6
<b>Corriente longitudinal</b>	Wd	0,1
<b>Altura de ola</b>	We	0
<b>Ayudas a la navegación</b>	Wf	0,2
<b>Superficie del fondo</b>	Wg	0,1
<b>Profundidad del canal</b>	Wh	0,2
<b>Peligrosidad de la carga</b>	Wi	0
<b>Banca derecha</b>	Wbr	0,5
<b>Banca izquierda</b>	Wbg	0,5

Sobre ancho	Una vía	wi
Por separador de vías	Wp	0
<b>Suma</b>		<b>3,9</b>

*Nota:* Los valores se tomaron de la tabla 1, 2, 3 y 4 presentes en los anexos.

La sumatoria de los coeficientes se multiplica por la manga de la embarcación tipo, obteniendo el ancho del canal, que en este caso es 25.935 metros, el cual es aproximado a 26 metros para identificarlo de manera adecuada en el terreno.

**Radio de giro:** el radio de giro o la curva evolutiva se aproxima a la relación  $1,5 L$  a  $2L$  donde “L” eslora total de la embarcación tipo (46 metros). Se define entonces un radio de 1,5 veces la eslora  $R= 69$  metros.

## CONCLUSIONES

Se realizó la adecuada identificación de normativa y parámetros internacionales que pueden ser aplicados en el diseño conceptual de canales o vías fluviales en Colombia de las cuales se observa que una parte importante de estudios a nivel internacional son realizados por la asociación mundial para la infraestructura del transporte acuático PIANC.

Se analizó los parámetros de la normativa internacional y se toma los cuales pueden ser aplicados en las vías fluviales de Colombia tales como el cálculo de Squat, profundidad del canal, ancho del canal, radio de giros para los cuales se debe que conocer la morfología del río a estudiar, embarcación tipo de diseño, velocidad del viento, corrientes, densidad del tráfico y ayudas a la navegación que se presentan.

Se aplica los parámetros encontrados para el diseño conceptual del río Meta en la parte que conecta el municipio de Maní Casanare con el municipio de Puerto Gaitán del cual se obtuvo una profundidad de 1.0 metro, un ancho del canal de 26 metros y un radio de giro de 69 metros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ardila Luna, D. C. (2016). El río Meta y los proyectos para la integración de los Llanos Orientales colombianos, desde la Colonia hasta el siglo XXI. *Anuario de Historia Regional y de las Fronteras, Vol 2.*, 256 - 283.
- Behdani, B., Wiegmas, B., & Fan, Y. (2021). Inland Waterway Transport and Inland Ports: An Overview of Synchronodal Concepts, Drivers, and Success Cases in the IWW Sector. *International Encyclopedia of Transportation*, 577-586.
- Congreso de Colombia. (1993). *Ley 105 de 1993*. Obtenido de [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0105\\_1993.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0105_1993.html)
- Congreso de la República. (2013). *Ley 1683 de 2013*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=55612>
- Garay Salamanca, L. J., Ramírez Leyton, D., & De Lombaerde, P. (2001). *El Futuro de Colombia en la Cuenca del Pacífico*. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- IGAC. (2002). *Atlas de Colombia*. Bogotá.
- Instituto Colombiano de Antropología e historia. (2021). *Región de la Orinoquía*. Obtenido de <https://www.icanh.gov.co/?idcategoria=5205>
- Lobo, M., & Duqye, J. (2008). Importancia de los recursos genéticos de la. *Revista Corpoica*, 9(2), 19-30. Obtenido de <file:///C:/Users/alomi/Downloads/Dialnet-ImportanciaDeLosRecursosGeneticosDeLaAgrobiodivers-5624739.pdf>
- Mao, L., Chen, Y. (2019). Hydraulic Geometry Relation for Navigable Canals Considering Ship Speed. *hanghai Jiaotong Univ*, 299-304.
- Ministerio de Transporte. (1991). *Ley 1 de 1991*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=67055>
- Ministerio de transporte. (1999). *Resolución 0000664 de 1999*. Obtenido de [https://www.simbogota.com.co/pdf/Resoluciones/1999\\_Resolucion\\_000664\\_1999.pdf](https://www.simbogota.com.co/pdf/Resoluciones/1999_Resolucion_000664_1999.pdf)
- Ministerio de transporte. (2008). *Ley 1242 de 2008*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=31783>
- Ministerio de transporte. (2018). *Proyecto de investigación infraestructura fluvial*. Bogotá D.C.
- Oramas Leuro, C. (2020). *Esstudio y diseño del muelle de Puerto Gaitán (Meta)*. Bogotá D.C.: Instituto Nacional de Vías.

- PIANC. (2019). *InCom WG Reporte n° 141: design guideline for inland waterway dimensions*. Bruselas, Bélgica.
- PIANC. (2021). *InCon WG Report n° 198: Saltwater intrusion mitigation inland waterways*. Bruselas, Bélgica.
- PIANC. (2021). *MarCom WG Report n° 208: Planning for automation of container terminals*. Bruselas, Bélgica .
- Pinzón-Rincón, J., & Remolina Millan, A. (2017). Evaluación de herramientas para la gerencia de proyectos de construcción. *Prospect.*, 15(2), 51-59.
- Quintero González, J., Ramírez Sosa, Y., & Cortázar Ávila, A. (2020). Transporte fluvial en Colombia: operación, infraestructura, ambiente, normativa y potencial de desarrollo. *Ciudades, Estados y Política Vol 7(1)*, 49-68.
- Real Academia Española. (2021). *Calado*. Obtenido de <https://dle.rae.es/calado>
- Real Academia Española. (2021). *Eslora*. Obtenido de <https://dle.rae.es/eslora>
- Superintendencia de puertos y transporte. (2018). *Situación de la infraestructura y el transporte fluvial en Colombia*. Bogotá: Proyecto de investigación infraestructura fluvial.
- The Overseas coastal area development institute of Japan. (2009). *Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan*. Port and airport research institute.
- Zhou, Y., Daamen, W., Vellinga, T., & Hoogendoorn, S. (2020). Impacts of wind and current on ship behavior in ports and waterways: A quantitative analysis based on AIS data. *Ocean Engineering Vol. 213*.

## ANEXOS

Tabla 1. Ancho básico de maniobra.

Maniobrabilidad del buque	Buena	Regular	Pobre
Solera básica de maniobra WBM	1,3 B	1,5 B	1,8 B

Nota: Información tomada y traducida de nCom WG Reporte n° 141: design guideline for inland waterway dimensions.

Tabla 2. Ancho adicional para secciones del canal.

ANCHO Wi	CANAL EXTERIOR EXPUESTO AGUAS ABIERTAS	CANAL INTERIOR AGUAS PROTEGIDAS	
( a ) Velocidad del buque ( millas)			
- veloz > 12	0,1 B	0,1 B	
- moderada > 8,12	0,0	0,0	
- lenta 5-8	0,0	0,0	
ANCHO Wi	Velocidad del buque	Canal interior Expuesto a Aguas abiertas	Canal exterior Aguas protegidas
(b) Vientos de través prevalecientes (Nudos)			
- moderados $\leq 15$ ( $\leq$ Beaufort 4)	Cualquiera	0,0	0,0
- regulares > 15 - 33 (Beaufort 4 - 7)	Alta	0,3 B	--
	Moderada	0,4 B	0,4 B
	Lenta	0,5 B	0,5 B
- fuertes > 33 - 45 (Beaufort 7 - 9)	Alta	0,6 B	--
	Moderada	0,8 B	0,8 B
	Lenta	1,0 B	1,0 B
(c) Corrientes de través prevalecientes (Nudos)			
- despreciable < 0,2	Cualquiera	0,0	0,0
- baja 0,2 - 0,5	Alta	0,1 B	--
	Moderada	0,2 B	0,1 B
	Lenta	0,3 B	0,2 B
- regular 0,5 - 1,5	Alta	0,5 B	--
	Moderada	0,7 B	0,5B
	Lenta	1,0 B	0,8 B
- fuerte 1,5 - 2,0	Alta	0,7 B	--
	Moderada	1,0 B	--
	Lenta	1,3 B	--
(d) Corrientes longitudinales prevalecientes (Nudos)			
- baja $\leq 1,5$	Cualquiera	0,0	0,0
	Alta	0,0	--

	Moderada	0,1 B	0,1 B
- moderada > 1,5 – 3	Lenta	0,2 B	0,2 B
	Alta	0,1 B	--
- fuerte > 3	Moderada	0,2 B	0,2 B
	Lenta	0,4 B	0,4 B
ANCHO $W_i$	Canal exterior expuesto a aguas abiertas	Canal Interior Aguas protegidas	
(f) Ayudas a la navegación			
- excelentes con control de tráfico entierra	0,0	0,0	
- buena	0,1 B	0,1 B	
- mediano, visual y elementos a bordomala visibilidad poco frecuente	0,2 B	0,2 B	
- mediana, visual y elementos a bordomala visibilidad frecuente	$\geq 0,5 B$	$\geq 0,5 B$	
(g) Superficie del fondo			
- Si la profundidad $\geq 1,5 T$	0,0	0,0	
- Si la profundidad $< 1,5 T$ entonces:			
- parejo y blando	0,1 B	0,1 B	
- parejo o inclinado y duro	0,1 B	0,1 B	
- desperejo y duro	0,2 B	0,2 B	
(b) Profundidad del canal			
- $\geq 1,5 T$	0,0	$\geq 1,5 T$	0,0
- $\geq 1,5 T - 1,25 T$	0,1 B	$< 1,5 T - 1,15 T$	0,2 B
- $< 1,25 T$	0,2 B	$< 1,15 T$	0,4 B
(l) Nivel de riesgo de la carga			
- Bajo	0,0	0,0	
- Medio	$\geq 0,5 B$	$\geq 0,4 B$	
- Alto	$\geq 1,0 B$	$\geq 0,8 B$	

*Nota:* Información tomada y traducida de nCom WG Reporte n° 141: design guideline for inland waterway dimensions.

**Tabla 3. Ancho adicional para canales de dos vías.**

DISTANCIA DE CRUCE $W_p$	Canal Exterior expuesto a aguas abiertas	Canal Interior aguas protegidas
Velocidad del buque (Nudos)		
- Veloz > 12	2,0 B	--
- Moderado > 8 -12	1,6 B	1,4 B
- Lento 5 - 8	1,2 B	1,0 B
Densidad de tránsito de vuelta encontrada		
- Baja	0,0	0,0
- Media	0,2 B	0,2 B
- Alta	0,5 B	0,4 B

*Nota:* Información tomada y traducida de nCom WG Reporte n° 141: design guideline for inland waterway dimensions.

**Tabla 4. Ancho adicional para separación del veril.**

Ancho para separación del veril (WBr o WBg)	Velocidad del buque	Canal exterior expuesto a aguas abiertas	Canal interior Aguas protegidas
Veriles inclinados y bajo-fondos:	Alta	0,7 B	--
	Moderada	0,5 B	0,5 B
	Lenta	0,3 B	0,3 B
Escalones y embaucamientos duros, estructuras	Alta	1,3 B	--
	Moderada	1,0 B	1,0 B
	Lenta	0,5 B	0,5 B

*Nota:* Información tomada y traducida de nCom WG Reporte n° 141: design guideline for inland waterway dimensions.