



SEMINARIO DE HIDRÁULICA DE PUENTES

Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica

14 de Octubre – Clase 2A : Hidráulica de Puentes



Ing. Adolfo Guitelman
Ing. Agustín Rigou



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

DUÉLETE DE ESA PUENTE, MANZANARES...



Duélete de esa puente, Manzanares;
mira que dice por ahí la gente
que no eres río para media puente,
y que ella es puente para muchos mares.

Hoy, arrogante, te ha brotado a pares
húmedas crestas de tu soberbia frente,
y ayer me dijo humilde tu corriente
que eran en marzo los caniculares.

Por el alma de aquel que ha pretendido
con cuatro onzas de agua de chicoria
purgar la villa y darte lo purgado,

me di ¿cómo has menguado y has crecido?
¿cómo ayer te vi en pena y hoy en gloria?
-Bebióme un asno ayer, y hoy me ha meado.

LUIS DE GONGORA (1560-1627)

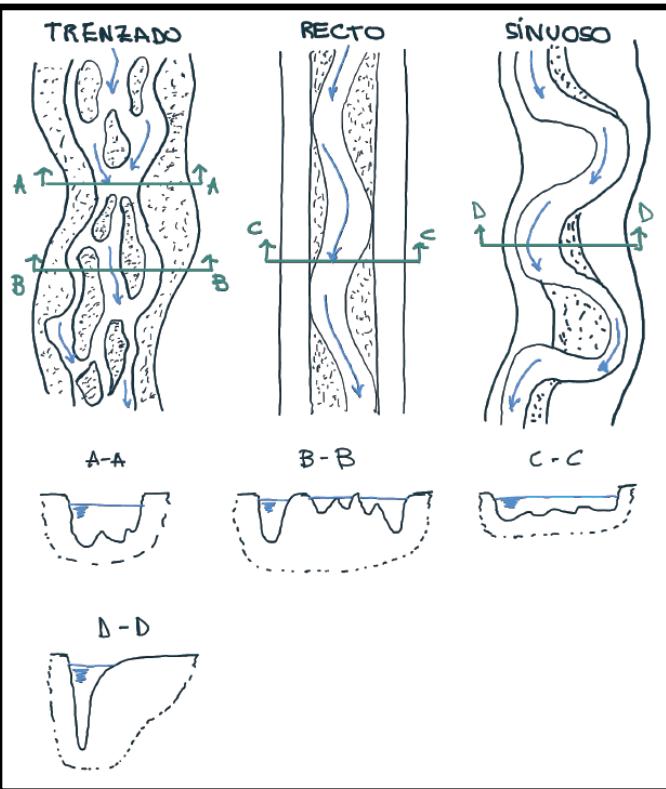


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

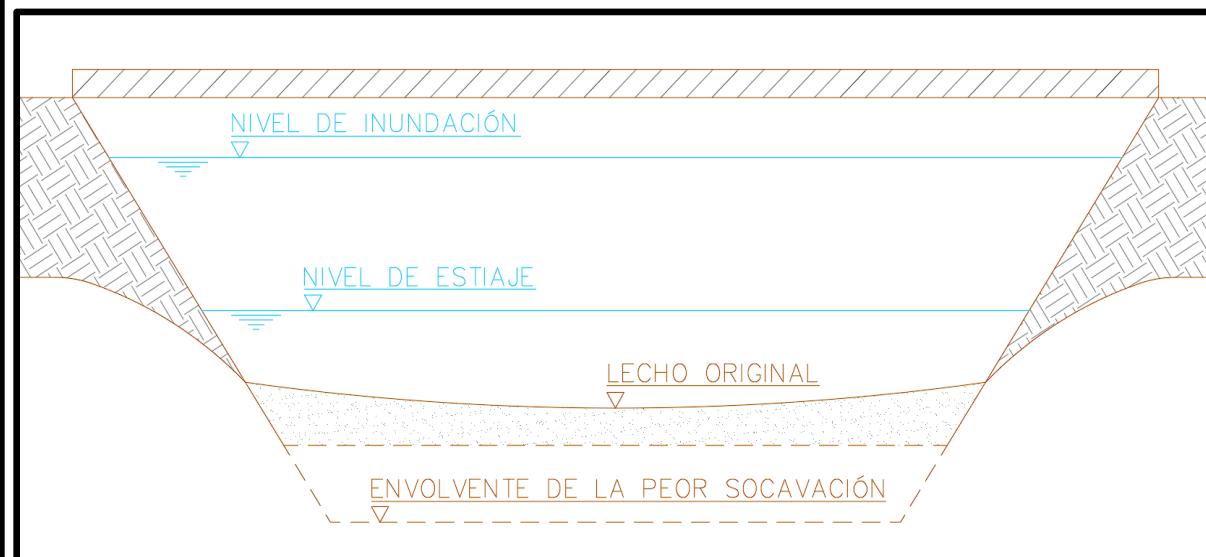
SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

TIPOS DE RÍO:



SECCIÓN TRANSVERAL TIPO DE UN RÍO:



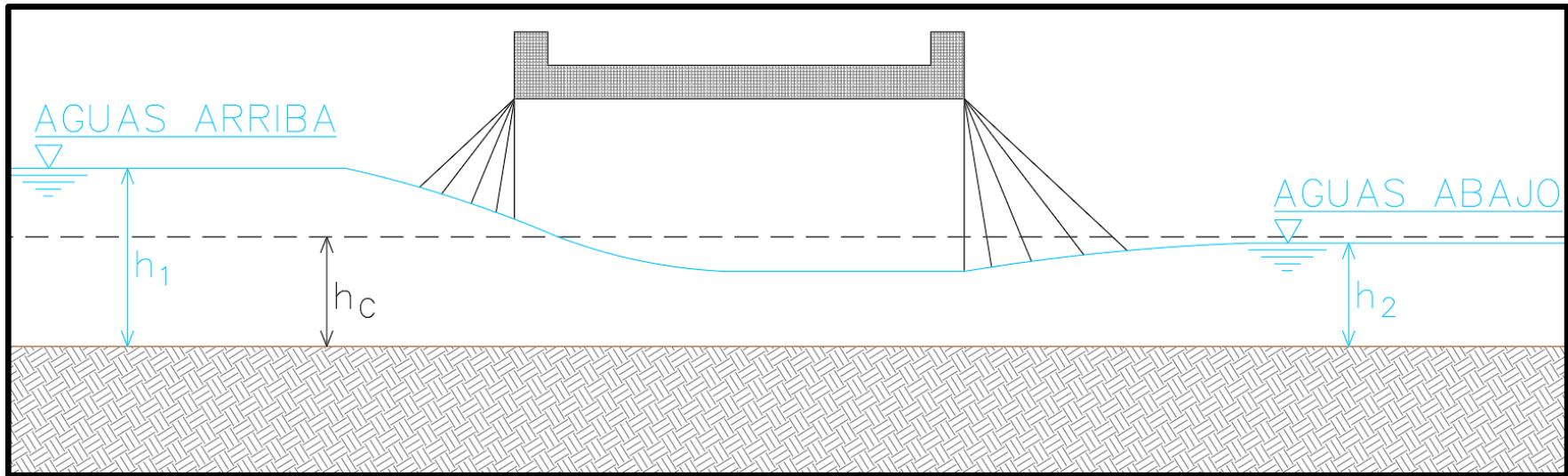


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

REMANSO TIPO:



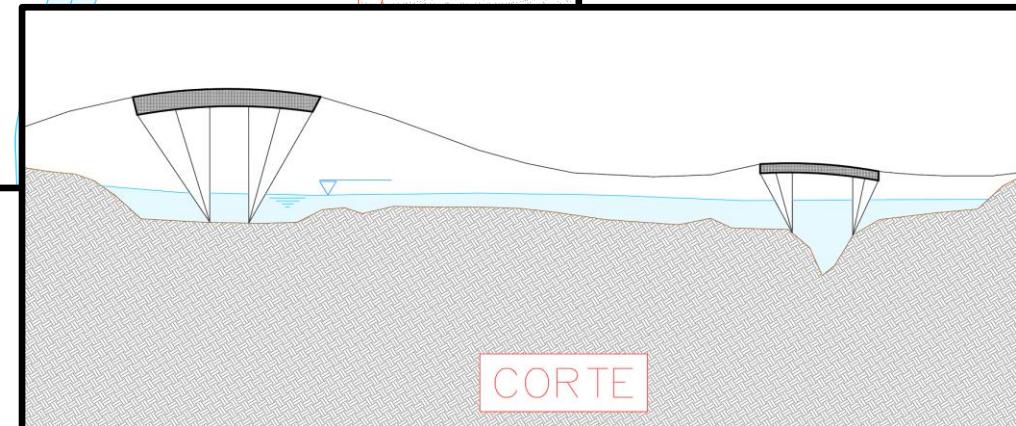
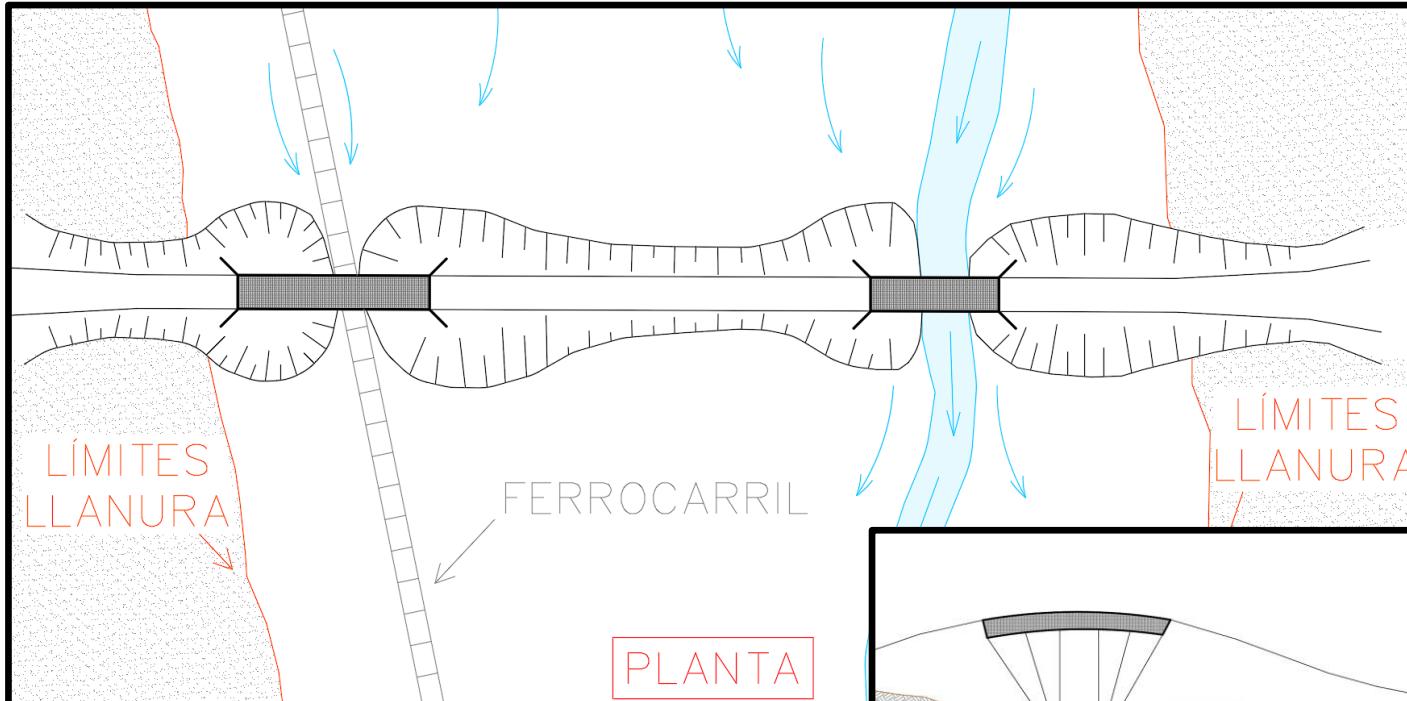


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

TIPOS DE CRUCES VIALES: PERPENDICULAR AL CURSO DE AGUA



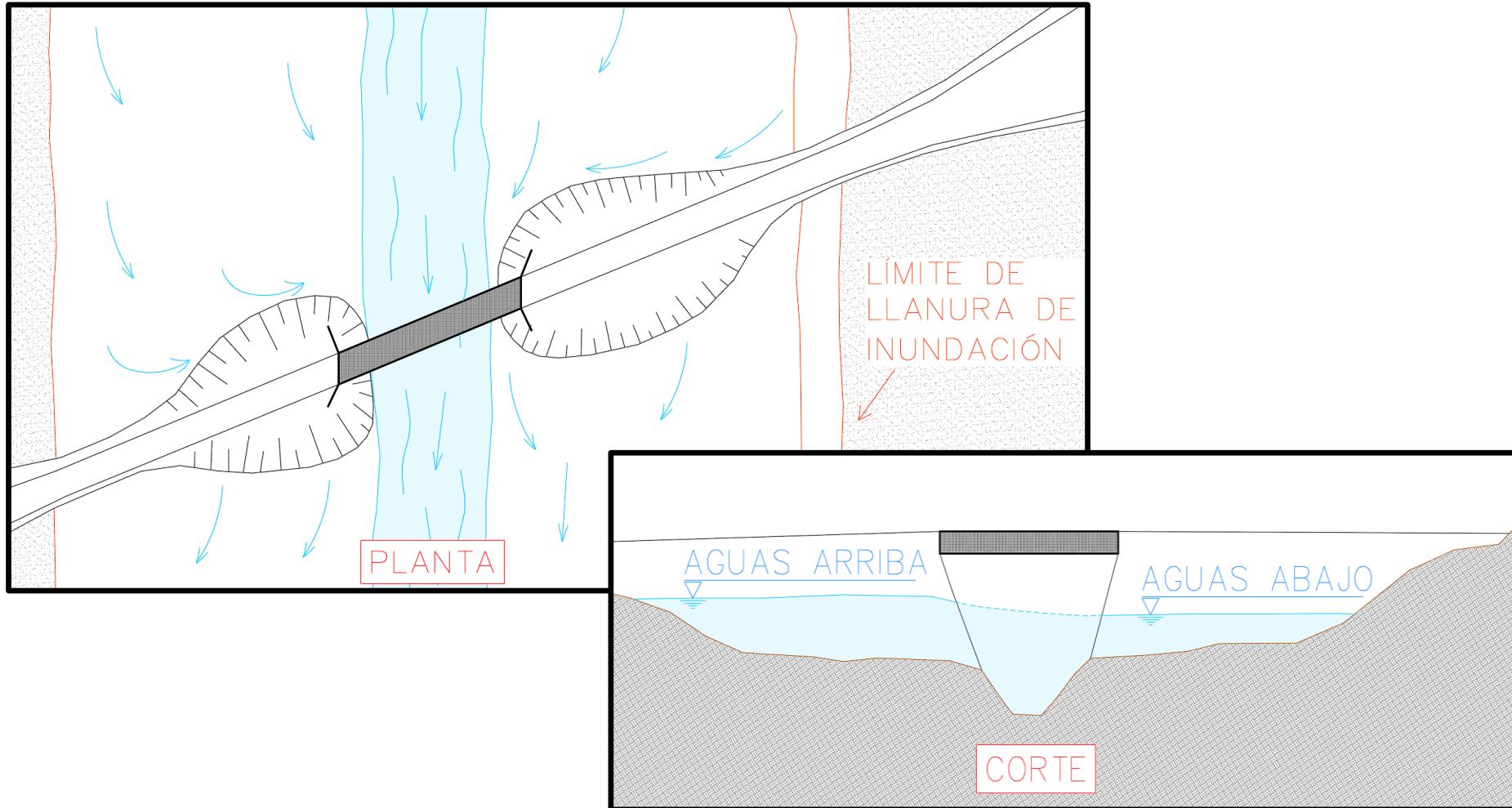


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

TIPOS DE CRUCES VIALES: OBLÍCUO AL CURSO DE AGUA



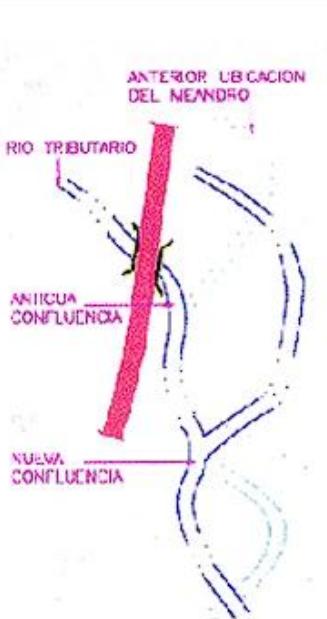


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

INTEREACCIÓN DE UN CURSO DE AGUA CON LA OBRA VIAL:

| INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS EN LA UBICACIÓN DE LA CONFLUENCIA | | CARACTERÍSTICAS FEOMÉTRICAS DE LAS INTRUSIONES | |
|---|---|--|---|
|  <p>ANTERIOR UBICACIÓN DEL NEANDRO RÍO TRIBUTARIO ANTIGUA CONFLUENCIA NUEVA CONFLUENCIA</p> |  <p>ANTERIOR UBICACIÓN DEL NEANDRO RÍO TRIBUTARIO NUEVA CONFLUENCIA ANTIGUA CONFLUENCIA</p> |  <p>LÍMITES DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN</p> |  <p>LÍMITES DE LA LLANURA DE INUNDACIÓN</p> |
| AGRANDACIÓN POTENCIAL | DEGRADACIÓN POTENCIAL | C | D |



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

RESPUESTAS DEL RÍO A LAS INTRUSIONES VIALES Y AL DESARROLLO DEL RÍO

| UBICACIÓN DEL CAMINO | EFECTOS | | |
|--|--|--|---|
| | LOCALES | AGUAS ARRIBA | AGUAS ABAJO |
| 1 CRUCE AGUAS ABAJO DE UN ABANICO ALUVIAL | 1. EL ABANICO ALUVIAL REDUCE EL CAUCE. 2. LA DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE EN EL PUENTE ES VARIABLE 3. LA UBICACIÓN DEL CANAL ES VARIABLE | 1. EROSIÓN DE LAS ORILLAS. 2. CANAL INESTABLE. 3. IMPORTANTE CANTIDAD DE TRANSPORTE | 1. AGRANDACIÓN 2. INUNDACIÓN 3. DESARROLLO DE BANCOS TRIBUTARIOS EN EL CAUCE PRINCIPAL |
| 2 DESCENSO DEL NIVEL BASE DEL CANAL | 1. EROSIÓN DE RETROCESO. 2. SOCAVACIÓN GENERAL 3. SOCAVACIÓN LOCAL. 4. INESTABILIDAD DE LA ORILLA 5. ALTAS VELOCIDADES | 1. VELOCIDAD AUMENTADA 2. TRANSPORTE DE MATERIAL DEL LECHO AUMENTADO 3. VELOCIDAD AUMENTADA. 4. CANAL INESTABLE 5. POSIBLE CAMBIO DE FORMA DEL RÍO | 1. TRANSPORTE AUMENTADO HACIA EL CAUCE PRINCIPAL 2. AGRADACIÓN 3. ALTURA DE INUNDACIÓN AUMENTADA. |
| 3 CANAL CARACTERIZADO POR LOS PROLONGADOS FLUJOS BAJOS | 1. EN FLUJO NORMAL SE DESARROLLA UN CAUCE DE ESTIAJE EN EL LECHO DEL RÍO. 2. MAYOR PELIGRO PARA LAS PILAS DEBIDO A LA CANALIZACIÓN Y SOCAVACION LOCAL 3. CAVAMIENTO DE LA ORILLA | | |

Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

RESPUESTAS DEL RÍO A LAS INTRUSIONES VIALES Y AL DESARROLLO DEL RÍO

| UBICACIÓN DEL CAMINO | EFECTOS | | |
|--|---|---|---|
| | LOCALES | AGUAS ARRIBA | AGUAS ABAJO |
| <p>4</p> <p>RECTIFICACION AGUAS ABAJO DEL CANAL</p> | <ul style="list-style-type: none"> 1. PENDIENTE MAS EMPINADA. 2. MAYOR VELOCIDAD. 3. MAYOR TRANSPORTE 4. DEGRADACIÓN Y POSIBLE EROSIÓN DE RETROCESO. 5. ORILLAS INESTABLES. 6. EL RIO PUEDE TRENZARSE 7. PELIGRO DE DEGRADACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DE LA FUNDACIÓN DEL PUENTE. | <p>1. VER EFECTOS LOCALES</p> | <ul style="list-style-type: none"> 1. DEPOSICIÓN AGUAS ABAJO DEL CANAL RECTIFICADO. 2. AUMENTO EN LA ALTURA DE INUNDACIÓN. 3. PÉRDIDA DE CAPACIDAD DEL CANAL. 4. DEGRADACIÓN EN EL TRIBUTARIO. |
| <p>5</p> <p>RIO PRINCIPAL</p> <p>TRIBUTARIO</p> <p>CERRADO</p> <p>PUNTA DE BANCO</p> <p>EXCESO DE SEDIMENTO DEBIDO AL TRIBUTARIO</p> | <ul style="list-style-type: none"> 1. CONTRACCIÓN DEL RÍO. 2. VELOCIDAD AUMENTADA. 3. SOCAVACIÓN GENERAL Y LOCAL. 4. INESTABILIDAD DE LA ORILLA. | <ul style="list-style-type: none"> 1. AGRADACIÓN 2. REMANSO EN LA ALTURA DE INUNDACIÓN. 3. CAMBIADA RESPUESTA DEL TRIBUTARIO | <ul style="list-style-type: none"> 1. DEPOSICIÓN DEL EXCESO DE SEDIMENTO EROSIONADO EN Y AGUAS ABAJO DEL PUENTE. 2. ATAQUE MAS SEVERO EN LA PRIMERA CURVA AGUAS ABAJO. 3. POSIBLE DESARROLLO DE UN RAPIDO A TRAVES DEL SEGUNDO BANCO DE PUNTA AGUAS ABAJO DEL PUENTE |
| <p>6</p> <p>REUBICACION DEL CAUCE</p> | <ul style="list-style-type: none"> 1. NINGUNO SI LA SECCIÓN RECTA ESTA PROYECTADA PARA TRANSPORTAR LA CARGA DE SEDIMENTOS DEL RÍO Y SI ESTA PROYECTADA PARA SER ESTABLE CUANDO ESTE SUJETA A LA INUNDACIÓN PREVISTA DE OTRO MODO, IGUAL QUE EN EL CASO 4 | <p>1. SIMILAR A LOS EFECTOS LOCALES</p> | <p>1. SIMILAR A LOS EFECTOS LOCALES</p> |



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

RESPUESTAS DEL RÍO A LAS INTRUSIONES VIALES Y AL DESARROLLO DEL RÍO

| UBICACIÓN DEL CAMINO | EFFECTOS | | |
|----------------------|--|--|--|
| | LOCALES | AGUAS ARRIBA | AGUAS ABAJO |
| | <ul style="list-style-type: none">1. AGRADACIÓN DEL LECHO2. PÉRDIDA DE CAUCE3. CAMBIO EN LA GEOMETRÍA DEL RÍO4. ALTURA DE INUNDACIÓN AUMENTADA | <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS LOCALES2. CAMBIO EN EL NIVEL BASE DE LOS TRIBUTARIOS3. DEPOSICIÓN EN LOS TRIBUTARIOS CERCA DE LAS CONFLUENCIAS4. AGRADACIÓN QUE CAUSA UN CAUCE INDUCIDO PARA DESARROLLAR O CANALIZAR EL ALINEAMIENTO DEL CAUCE PRINCIPAL | <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS AGUAS ARRIBA |
| | <ul style="list-style-type: none">1. DEGRADACIÓN DEL CANAL2. POSIBLE CAMBIO EN LA FORMA DEL RÍO3. SOCAVACIÓN LOCAL.4. POSIBLE INESTABILIDAD DE LA ORILLA5. POSIBLE DESTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEBIDO A LA FALLA DE LA PRESA | <ul style="list-style-type: none">1. VELOCIDAD AUMENTADA2. TRANSPORTE DE MATERIAL DEL LECHO AUMENTADO3. VELOCIDAD AUMENTADA.4. CANAL INESTABLE5. POSIBLE CAMBIO DE FORMA DEL RÍO | <ul style="list-style-type: none">1. DEGRADACIÓN2. MAYOR VELOCIDAD Y TRANSPORTE EN LOS TRIBUTARIOS |
| | <ul style="list-style-type: none">1. EL PUENTE "A" PUEDE SER OBJETO DE AGRADACIÓN DEBIDO AL EXCESO DE SEDIMENTO DEJADO EN EL CAUCE2. EL PUENTE "B" PUEDE SER OBJETO DE DEGRADACIÓN DEBIDO A LA AUMENTADA DESCARGA EN EL CANAL3. SI EN "C" SE CONSTRUYERA UN RESEVORIO DE ALMACENAMIENTO PODRÍA INTRODUCIRSE LA AGRADACIÓN EN LOS 2 TRIBUTARIOS PRINCIPALES | <ul style="list-style-type: none">1. AGUAS ARRIBA DEL PUENTE "A": AGRADACIÓN Y POSIBLE CAMBIO DE FORMA DEL RÍO2. AGUAS ARRIBA DEL PUENTE "B": DEGRADACIÓN Y CAMBIO DE LA FORMA DEL RÍO3. INESTABILIDAD DEL CANAL4. EFECTOS SIGNIFICATIVOS SOBRE LA ALTURA DE INUNDACIÓN | <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS AGUAS ARRIBA2. LA CONSTRUCCIÓN DEL RESERVOARIO "C", PODRÁ INDUCIR LA AGRADACIÓN EN EL CAUCE PRINCIPAL Y EN LOS TRIBUTARIOS. EFECTOS SIMILARES A LOS DEL CASO (7) |



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

RESPUESTAS DEL RÍO A LAS INTRUSIONES VIALES Y AL DESARROLLO DEL RÍO

| UBICACIÓN DEL CAMINO | EFFECTOS | | |
|--|---|--|--|
| | LOCALES | AGUAS ARRIBA | AGUAS ABAJO |
| 10 <p>A DESCARGA DE AGUA LIMPIA CAMBIO EN EL CAUDAL : NINGUN CAMBIO EN LA CARGA DE SEDIMENTO</p> | <ol style="list-style-type: none">1. LA PRESA "A", CAUSA DEGRADACIÓN2. LA PRESA "B", CAUSA AGRADACIÓN3. LA CONDUCCIÓN FINAL EN EL LUGAR DEL PUENTE ES EL EFECTO COMBINADO DE (1) Y (2). LA SITUACIÓN ES COMPLEJA Y LA INTERACCIÓN COMBINADA DE LAS PRESAS, CAUCE PRINCIPAL Y TRIBUTARIOS PUEDE ANALIZARSE USANDO LAS TÉCNICAS DE TRAZADO DE AGUA Y SEDIMENTOS Y LOS FACTORES GEOMÓRFICOS | <ol style="list-style-type: none">1. EL CANAL PODRÍA AGRADARSE O DEGRADARSE CON EFECTOS SIMILARES A LOS CASOS (7) Y (8) | <ol style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS AGUAS ARRIBA |
| 11 <p>POSICION ALTERNATIVA COURRIENT NATURAL DEL CAUCE DEL RÍO</p> | <ol style="list-style-type: none">1. LOS RÍOS SON DINAMICOS (SIEMPRE CAMBIANDO) Y DEBERÍA EVALUARSE LA TASA DE CAMBIO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO COMO UNA PARTE DEL ANÁLISIS GEOMÓRFICO E HIDRÁULICO2. EL ALINEAMIENTO DEL CAUCE PRINCIPAL CAMBIA CONTINUAMENTE AFECTANDO EL ALINEAMIENTO DE LA CORRIENTE CON RESPECTO AL PUENTE "B"3. SI EL CAUCE PRINCIPAL CAMBIA DE LUGAR HACIA LA POSICIÓN ALTERNA, LA CONFLUENCIA CAMBIA Y EL GRADIENTE DEL TRIBUTARIO AUMENTA SIGNIFICATIVAMENTE, CAUSANDO DEGRADACIÓN DEL TRIBUTARIO. LOS EFECTOS LOCALES SOBRE EL PUENTE "B" SON SIMILARES A (1), (2) Y (3)4. EXCESO DE SEDIMENTO DESDE EL TRIBUTARIO. SUPONIENDO QUE (3) CAUSA AGRADACIÓN EN EL CAUCE PRINCIPAL Y POSIBLES CAMBIOS SIGNIFICATIVOS EN EL ALINEAMIENTO DEL CANAL | <ol style="list-style-type: none">1. EL RÍO PODRÍA ABANDONAR SU ACTUAL CAUCE. EL CAMBIO DE POSICIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL PUEDE REQUERIR TRABAJOS DE CONTROL PARA REALINEAR EL CAUCE | <ol style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS AGUAS ARRIBA2. LOS CAMBIOS EN LA POSICIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL CON RELACIÓN A LA POSICIÓN DE LA CONFLUENCIA CON EL TRIBUTARIO ALTERNATIVAMENTE EMPINA O SUAVIZA EL GRADIENTE DEL TRIBUTARIO CAUSANDO LA CORRESPONDIENTE DEGRADACIÓN O AGRADACIÓN3. LOS CAMBIOS EN LA POSICIÓN DEL CANAL PRINCIPAL CAUSAN AGRADACION, DEGRADACIÓN EN INESTABILIDADES, DEPENDIENDO DE LA DIRECCIÓN Y MAGNITUD DE CAMBIO DEL CANAL. |



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

RESPUESTAS DEL RÍO A LAS INTRUSIONES VIALES Y AL DESARROLLO DEL RÍO

| UBICACIÓN DEL CAMINO | EFFECTOS | | |
|---|--|---|--|
| | LOCALES | AGUAS ARRIBA | AGUAS ABAJO |
| 12 REDUCCIÓN DE LA LONGITUD DEL CAUCE DEL RÍO | <ul style="list-style-type: none">1. EL PUENTE "A" ESTÁ PRIMERO SUJETO A DEGRADACIÓN Y LUEGO A AGRADACIÓN. LA ACCIÓN PUEDE SER MUY SEVERA2. EL PUENTE "B" ESTÁ PRIMARIAMENTE SUJETO A DEGRADACIÓN. LA MAGNITUD PUEDE SER MUY GRANDE.3. TODO EL SISTEMA ESTÁ SUJETO AL PASAJE DE OLAS Y/O SEDIMENTOS4. LA FORMA DEL RÍO PODRÍA CAMBIAR EL TRENZADO5. LOS NIVELES DE INUNDACIÓN SON REDUCIDOS EN "B" Y AUMENTADOS EN "A"6. LA SOCAVACIÓN LOCAL Y GENERAL ESTÁN SIGNIFICATIVAMENTE AFECTADAS. | <ul style="list-style-type: none">1. ES POSIBLE UN CAMBIO EN LA FORMA DEL RÍO DE SINUOSO A TRENZADO2. ALIMENTA LA TASA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO3. LA EROSIÓN DE RETROCESO ESTÁ INDUCIDA EN EL SISTEMA GENERAL AGUAS ARRIBA DE "B"4. SE REDUCE LA ALTURA DE INUNDACIÓN5. AUMENTA LA VELOCIDAD6. LOS TRIBUTARIOS RESPONDEN A LOS CAMBIOS DEL CANAL PRINCIPAL | <ul style="list-style-type: none">1. PARA EL PUENTE "B", VER LOS EFECTOS AGUAS ARRIBA2. PARA EL PUENTE "A". EL CANAL PRIMERO SE DEGRADE Y LUEGO SE AGRADA SIGNIFICATIVAMENTE3. GRANDES CANTIDADES DEL MATERIAL DEL LECHO Y ARRASTRE DE SUPERFICIE SON LLEVADAS HASTA EL RESERVORIO4. SE FORMAN DELTAS EN EL RESERVORIO5. EL SEDIMENTO DE SUPERFICIE PUEDE AFECTAR LA CALIDAD DEL AGUA EN TODO EL RESERVORIO6. LOS TRIBUTARIOS RESPONDEN A LOS CAMBIOS DEL CANAL PRINCIPAL |
| 13 A) MARCAS , ONDAS , MAREMOTOS , ETC. B) VIENTOS , HURACANES , TORNADOS C) TERREMOTOS (VER MAPA DE FRECUENCIA SISMICA) CAUSAS TECTONICAS Y OTRAS NATURALES | <ul style="list-style-type: none">1. SOCAVACIÓN O AGRADACIÓN2. EROSIÓN DE ORILLA3. AUMENTO EN LA VELOCIDAD4. CAMBIO EN LA FORMA DEL LECHO <ul style="list-style-type: none">1. EROSIÓN DE ORILLA2. CAMINO INUNDADO3. AUMENTO EN LA VELOCIDAD4. ACCIÓN DE LAS OLAS <ul style="list-style-type: none">1. CAMBIOS EN EL CANAL2. SOCAVACIÓN O DEPOSICIÓN3. DISMINUCIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LA ORILLA4. DESLIZAMIENTOS DE TIERRA Y DE ROCA. CORRIENTES DE BARRO | <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS LOCALES2. EROSIÓN DEL CANAL3. CAMBIOS EN LA PENDIENTE DEL CANAL <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS LOCALES <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS LOCALES | <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS LOCALES2. EROSIÓN DE LA PLAYA <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS LOCALES <ul style="list-style-type: none">1. VER EFECTOS LOCALES |



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

RESPUESTAS DEL RÍO A LAS INTRUSIONES VIALES Y AL DESARROLLO DEL RÍO

| UBICACIÓN DEL CAMINO | EFECTOS | | |
|---|--|---|--|
| | LOCALES | AGUAS ARRIBA | AGUAS ABAJO |
| 14 A) CAUCE SINUOSO | <ol style="list-style-type: none">1. MAYOR GRADIENTE DE ENERGÍA Y SOCAVACIÓN POTENCIAL DE ORILLA Y LECHO2. EL TERRAPLÉN DEL CAMINO ESTÁ SUJETO A SOCAVACIÓN EN TANTO EL CANAL TIENDE A CAMBIAR HACIA EL VIEJO ALINEAMIENTO3. EL TRAMO ESTÁ SUJETO A DEGRADACIÓN DEL LECHO EN TANTO SE DESARROLLA EROSIÓN DE RETROCESO EN EL EXTREMO AGUAS ABAJO Y AVANZA AGUAS ARRIBA4. EL DRENAJE LATERAL DENTRO DEL RÍO ESTÁ INTERRUMPIDO Y PUEDE CAUSAR INUNDACIÓN Y EROSIÓN | <ol style="list-style-type: none">1. EL GRADIENTE DE ENERGÍA TAMBIÉN AUMENTA EN EL TRAMO AGUAS ARRIBA Y PUEDE CAUSAR EL CAMBIO DE LA FORMA DEL RÍO DESDE SINUOSO A TRENZADO2. AUMENTA LA TASA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO, EN TANTO LA EROSIÓN DE RETROCESO AVANZA AGUAS ARRIBA ES POSIBLE UNA SEVERA EROSIÓN DE LA ORILLA Y DEL LECHO3. SI EXISTEN TRIBUTARIOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA, ELLOS RESPONDEN BAJANDO EL NIVEL DE BASE | <ol style="list-style-type: none">1. EL CANAL SE AGRANDARA EN TANTO SE RECIBA LA CARGA DE SEDIMENTO PROVENIENTE DE LA EROSIÓN DEL LECHO Y DE LA ORILLA2. EL CANAL PUEDE EMPEORAR DESDE SINUOSO A TRENZADO |
| B) CAUCE INCIDIÓ | <ol style="list-style-type: none">1. EL CAUCE REDUCIDO CAUSA UNA OBSTRUCCIÓN A LA CORRIENTE Y MAYORES VELOCIDADES2. IMPORTANTE EROSIÓN DEL TERRAPLÉN Y DEGRADACIÓN INDUCIDA DEL LECHO3. EL DRENAJE LATERAL DENTRO DEL RÍO ESTÁ INTERRUMPIDO Y PUEDE CAUSAR INUNDACIÓN Y EROSIÓN | <ol style="list-style-type: none">1. EL REMANSO GENERADO POR LA OBSTRUCCIÓN AUMENTA LA ALTURA2. DEPOSICIÓN INDUCIDA POR EL REMANSO | <ol style="list-style-type: none">1. LA GRAN CARGA DE SEDIMENTO PUEDE CAUSAR AGRADACIÓN2. SOCAVACIÓN LOCAL EN EL EXTREMO DE LA SECCIÓN CONTRAÍDA |
| C) INTRUSIÓN D.S. LA LLANURA DE INUNDACIÓN | <ol style="list-style-type: none">1. POSIBLE EROSIÓN Y SUMERCIÓN DEL TERRAPLÉN DURANTE LAS INUNDACIONES2. LA INTRUSIÓN AFECTA EL DERRAME SOBRE LA ORILLA Y EN CAUCES DIVAGANTES PUEDE CAUSAR EL CAMBIO DE CURSO DEL RÍO3. EL DRENAJE LATERAL DENTRO DEL RÍO ESTÁ INTERRUMPIDO Y PUEDE CAUSAR INUNDACIÓN Y EROSIÓN | <ol style="list-style-type: none">1. SI LA INTRUSIÓN SOBRE LA LLANURA DE INUNDACIÓN ES SIGNIFICATIVA PUEDE INDUCIRSE REMANSO. | <ol style="list-style-type: none">1. SI EL CAUCE DEL RÍO ES MUY CAMBIANTE PUEDE CAMBIAR SU ALINEAMIENTO2. SI AGUAS ARRIBA OCURRE IMPORTANTE EROSIÓN, HABRÁ AGRADACIÓN |



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

CONCEPTOS HIDRÁULICOS BÁSICOS: Escurrimiento Permanente a Superficie Libre

Fórmula de Chezy

$$U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

Siendo: U: Velocidad media en el canal

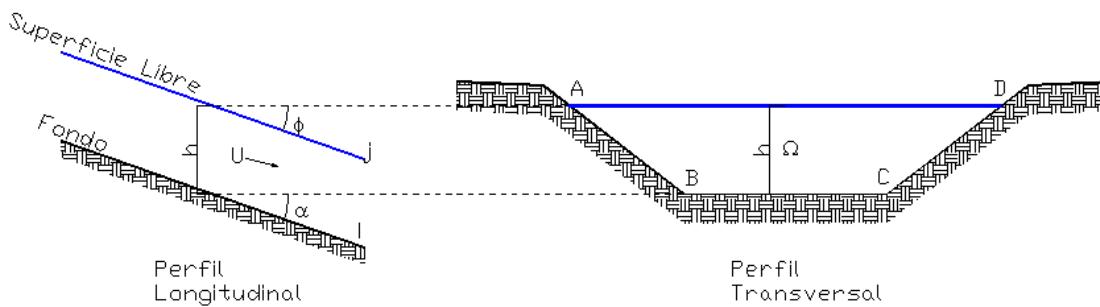
Ω : Área de flujo

C: Factor de resistencia de Chezy

χ : Perímetro mojado

R: Radio hidráulico

$$\textcolor{red}{R} := \frac{\Omega}{\chi}$$



En régimen uniforme la pendiente de la línea de energía es igual a la pendiente de la superficie del agua e igual a la pendiente del fondo del canal.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

CONCEPTOS HIDRÁULICOS BÁSICOS: Escurrimiento Permanente a Superficie Libre

Factor de resistencia de Chezy

❖ Fórmula de Manning:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

❖ Ecuación de Chezy :

$$U = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

❖ CAUDAL:

$$Q = \frac{\Omega}{n} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

R → Radio hidráulico

n → Coeficiente de rugosidad de Manning

i → Pendiente del fondo del canal

Ω → Área de la sección mojada



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

VELOCIDADES LÍMITES:

La velocidad máxima de un escurrimiento a superficie libre viene dado por la naturaleza de las paredes, podemos decir que:

- | | | |
|------------|------------------------|--------------------------------------|
| ➤ Tierra | Ulim = 0.60 a 0.70 m/s | ➤ (veremos mas adelante informacion |
| ➤ Hormigón | Ulim = 5 m/s. | ➤ mas detallada) |

La velocidad mínima, sería la necesaria para evitar embanques y formación de plantas acuáticas, según Kennedy:

$$U_{\min} = \beta \cdot h^s$$

En general $\beta = 0.55$ y $s = 0.64$

β es función del material en suspensión



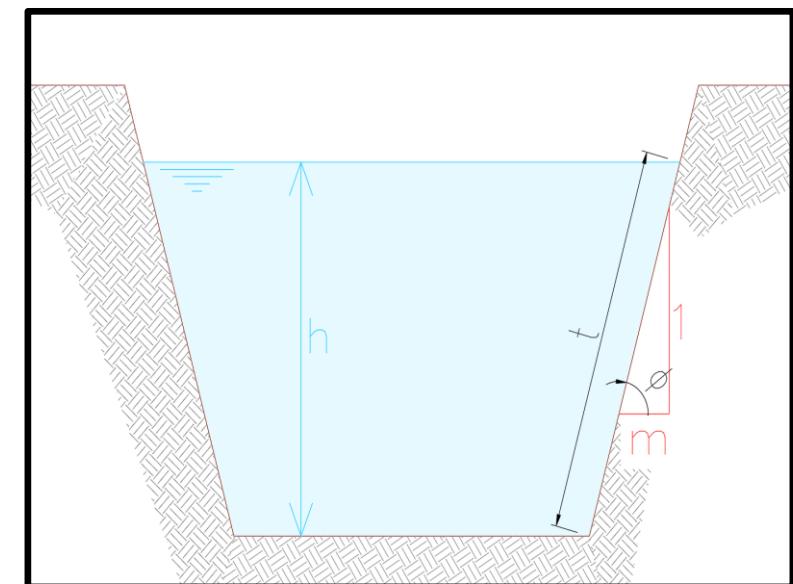
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

MÁXIMA INCLINACIÓN ADMISIBLE PARA LOS TALÚDES:

| NATURALEZA DEL TERRENO | $m = \tan \phi$ | Longitud del talud $t = (1+m^2)^{0.5} \cdot h$ |
|--|-----------------|---|
| Roca firme (pequeños canales) | 0 | 1.000000 h |
| Roca firme | 0.25 | 1.030776 h |
| Roca compacta | 0.5 | 1.118034 h |
| Rocas sedimentarias | 0.75 | 1.250000 h |
| Tierra vegetal compacta | 1 | 1.414214 h |
| Tierra vegetal y suelos arcillo-arenosos | 1.5 | 1.802776 h |
| Suelos Arenosos | 2 | 2.236068 h |
| Arena fina suelta (Médanos) | 3 | 3.162278 h |



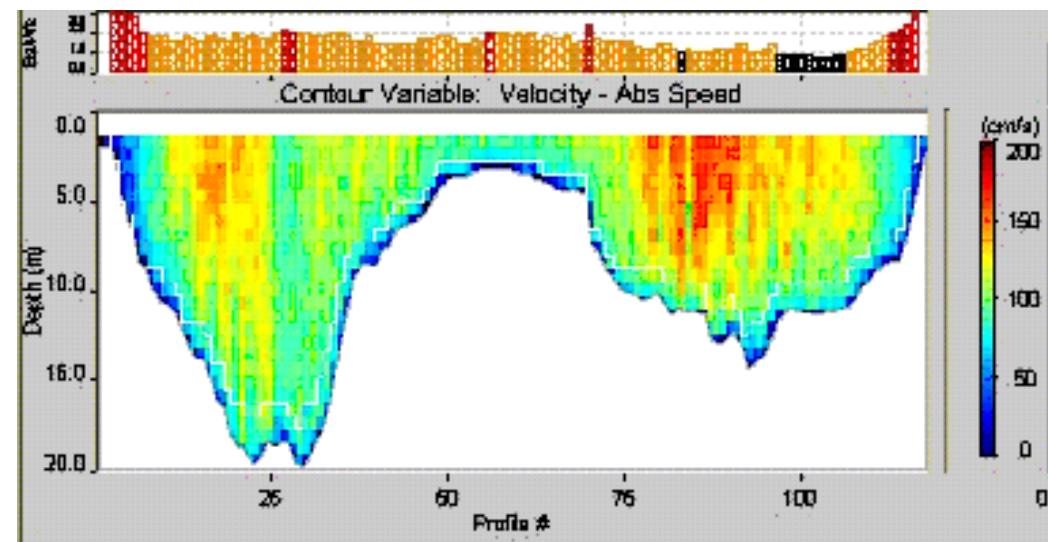
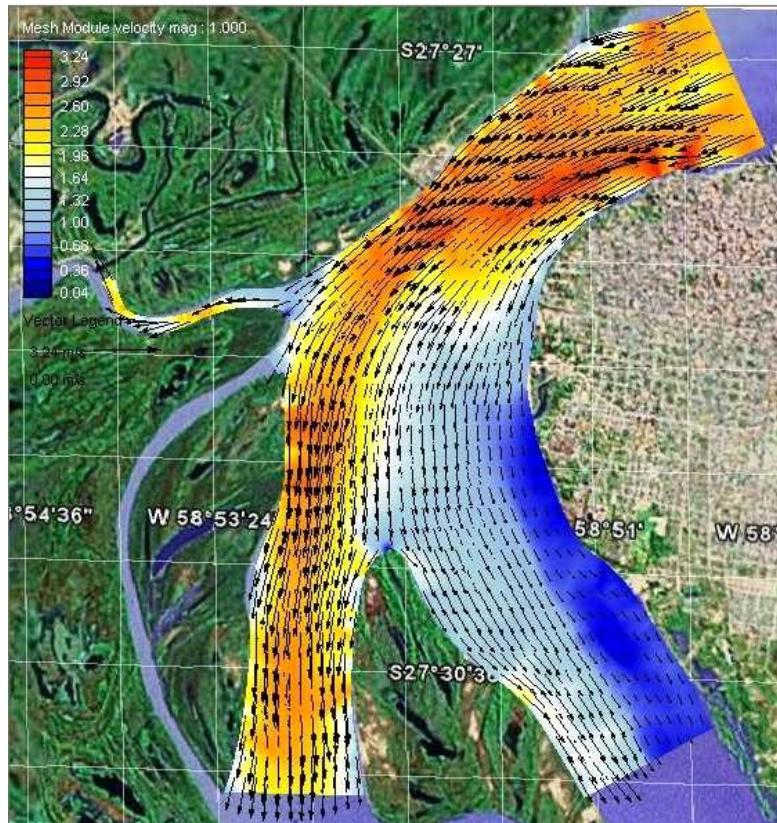


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN SECCIÓN TIPO:



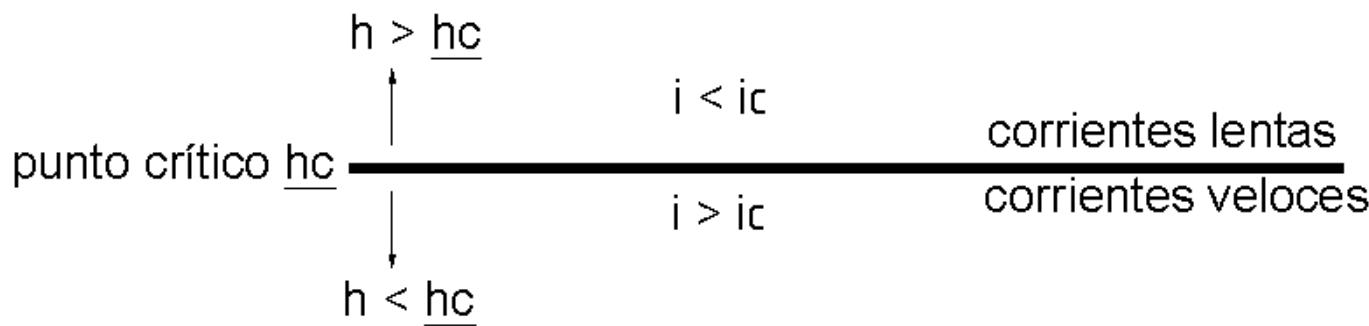


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES

TIRANTE CRÍTICO y CLASIFICACIÓN DE CORRIENTES:

NÚMERO DE FROUDE = 1

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} = 1 \xrightarrow{\text{Secciones rectangulares}} h_c = 3 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot B^2}}$$



OBS.: Para canales trapeziales, el tirante critico es diferente.

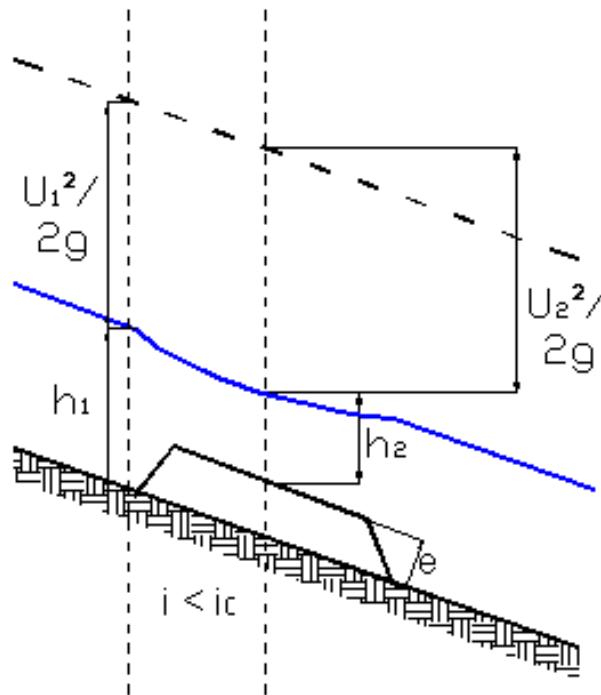


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

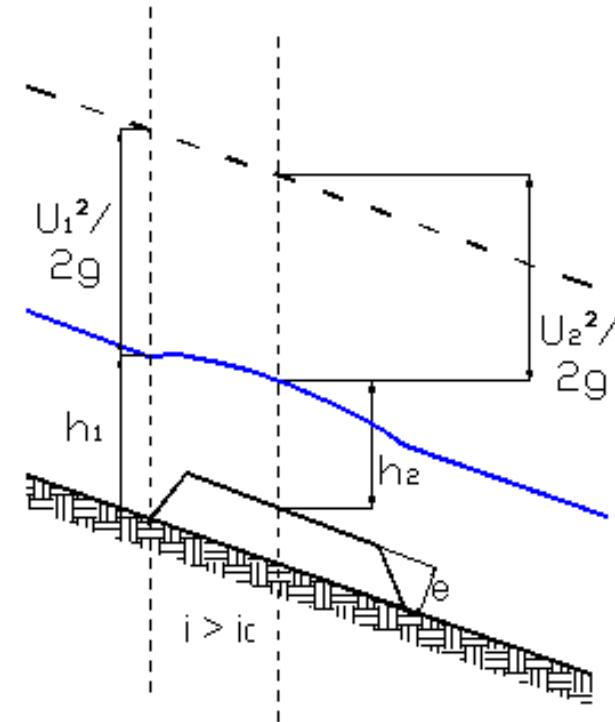
SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

EXPERIENCIA DE BAKEMETEFF:



RÉGIMEN LENTO



RÉGIMEN VELOZ

ECUACIÓN DE ENERGÍA:

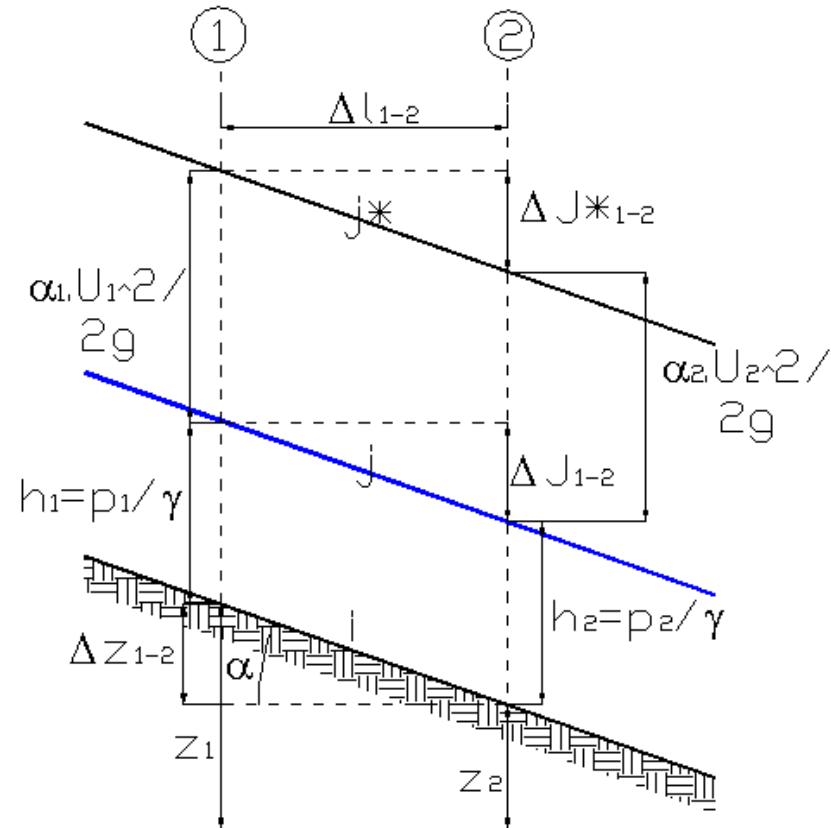
Para nuestro caso en que estamos tratando un movimiento permanente y unidimensional, las ecuaciones básicas serían:

- ❖ Ecuación de continuidad:

$$Q = U_1 \cdot \Omega_1 = U_2 \cdot \Omega_2 = cte$$

- ❖ Ecuación de energía:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2 \cdot g} + \Delta J_{1-2}$$





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

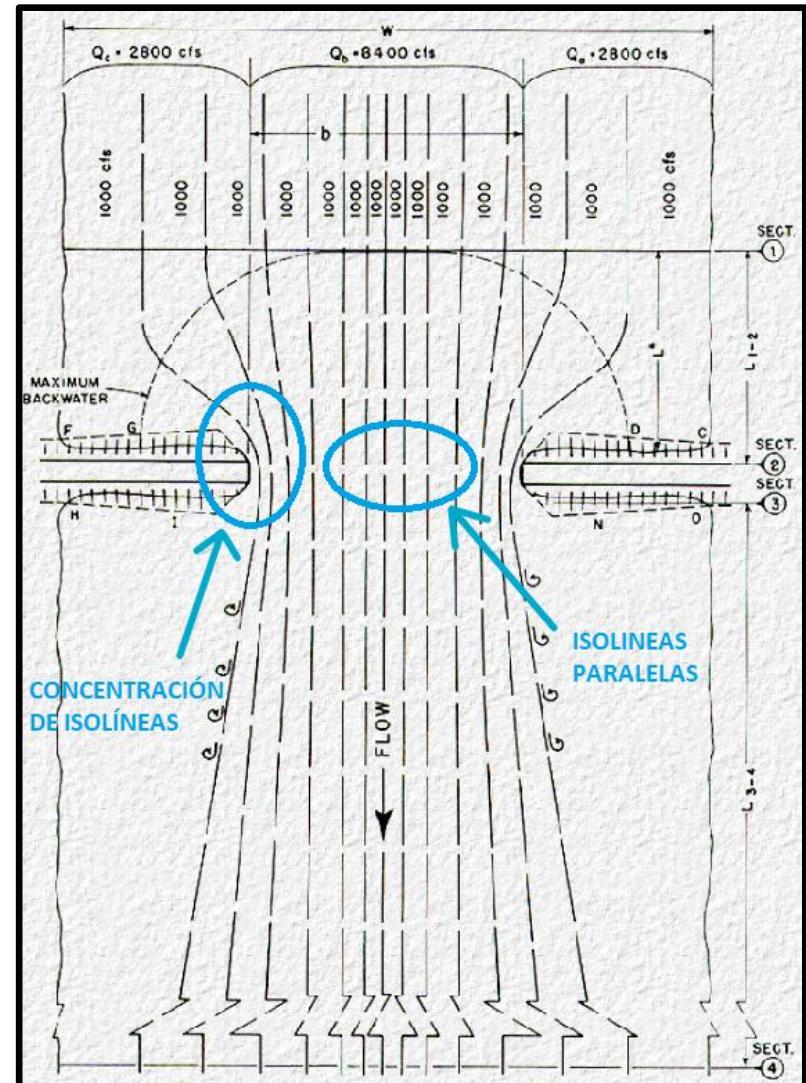
SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE UN PUENTE:

❖ EFFECTOS DE LA CONTRACCIÓN: REMANSO

Inicialmente analizaremos el tema a fondo fijo Basandonos , en el **balance de energía** (al final , comentaremos otros metodos para hacerlo) .





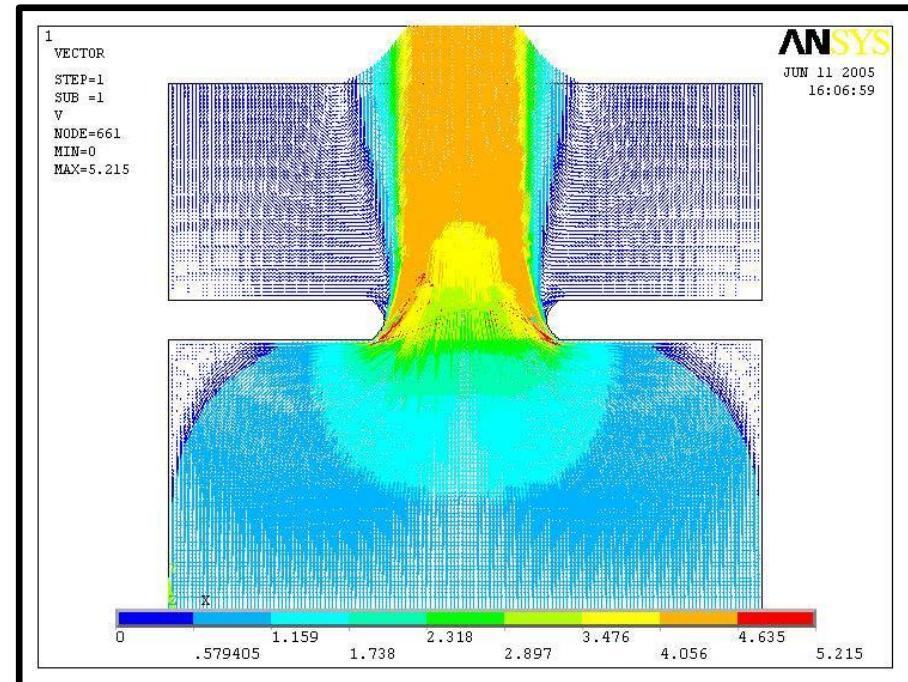
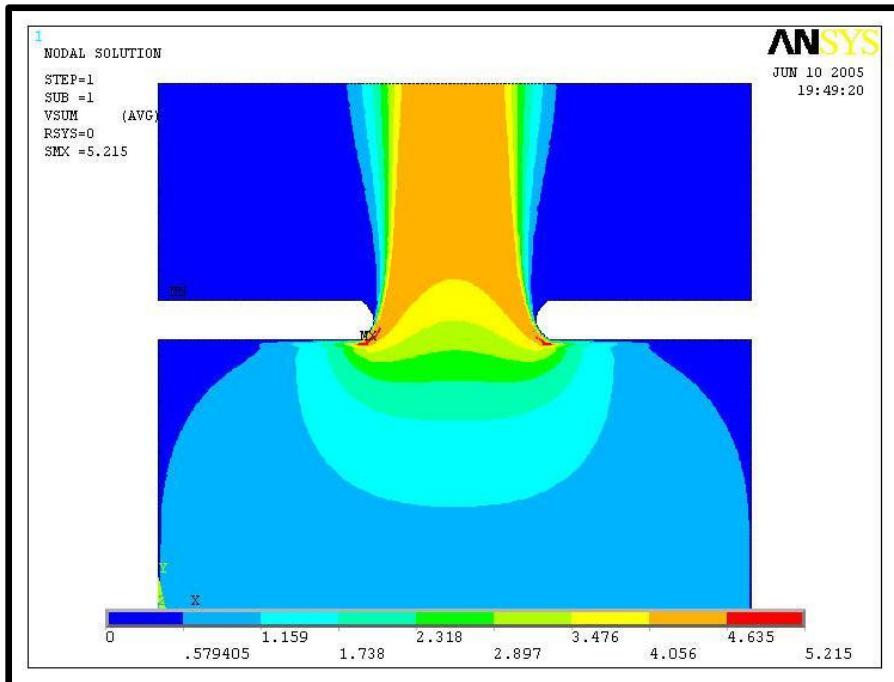
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

EFFECTO DE CONTRACCIÓN DE UN FLUJO EN CRUCE DE UN PUENTE: MODELO 2D

La contracción del flujo causa una pérdida de energía, la mayor parte ocurre en la re-expansión de aguas abajo:



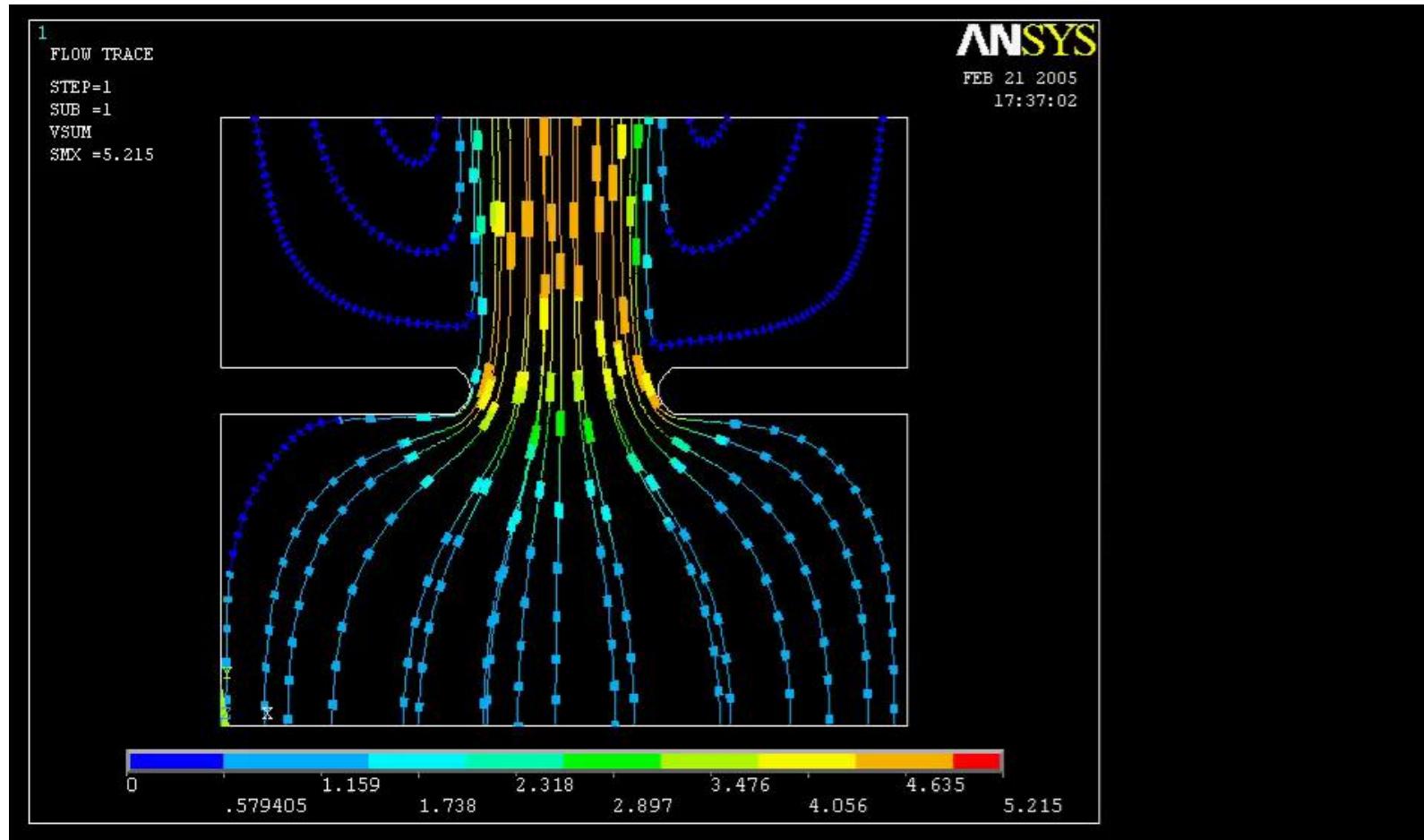


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

EFFECTO DE CONTRACCIÓN DE UN FLUJO EN CRUCE DE UN PUENTE: MODELO 2D





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

DETERMINACIÓN DEL CAUDAL:

Por ecuación de Chezy-Manning:

$$q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S_0^{1/2}$$

R → Radio hidráulico

n → Coeficiente de rugosidad de Manning

S₀ → Pendiente del fondo del canal

A → Área de la sección mojada

RELACIÓN DE APERTURA DEL PUENTE → Utilizada para gráficos y tablas

La sección irregular en cursos naturales y la variación de la rugosidad, resulta en una variación en la velocidad en la sección transversal del río:

- Expresada en función de caudales:
$$M = \frac{Q_b}{Q_a + Q_b + Q_c} = \frac{Q_b}{Q}$$

Siendo M, un coeficiente que pondera: Qlibre vs Qb ; Qobstruido = (Qa + Qc)



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

COEFICIENTE DE ENERGÍA CINÉTICA:

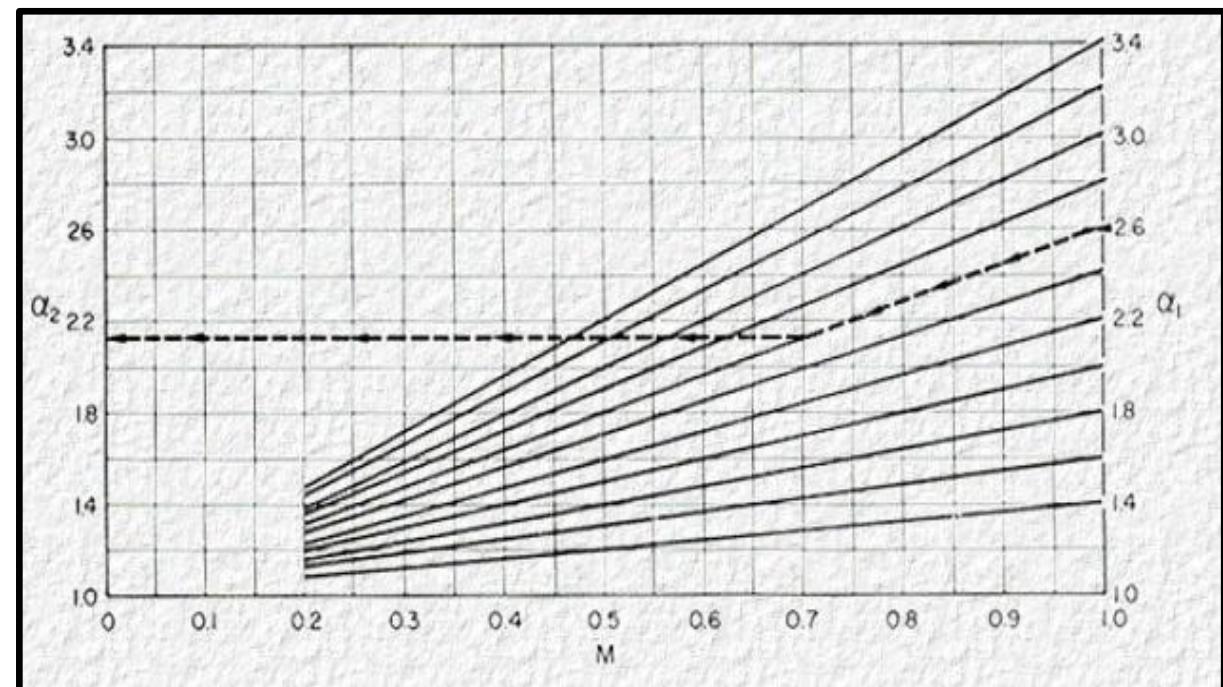
$$\alpha_1 = \frac{\sum(q \cdot V^2)}{Q \cdot V_1^2}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g}$$

En la sección de la contracción, el coeficiente de energía cinética α_2 , se obtiene del siguiente ábaco:

$$\alpha_2 = \frac{\sum(q \cdot V^2)}{Q \cdot V_2^2}$$

Notar que cada una de las rectas corresponde a α_1 .



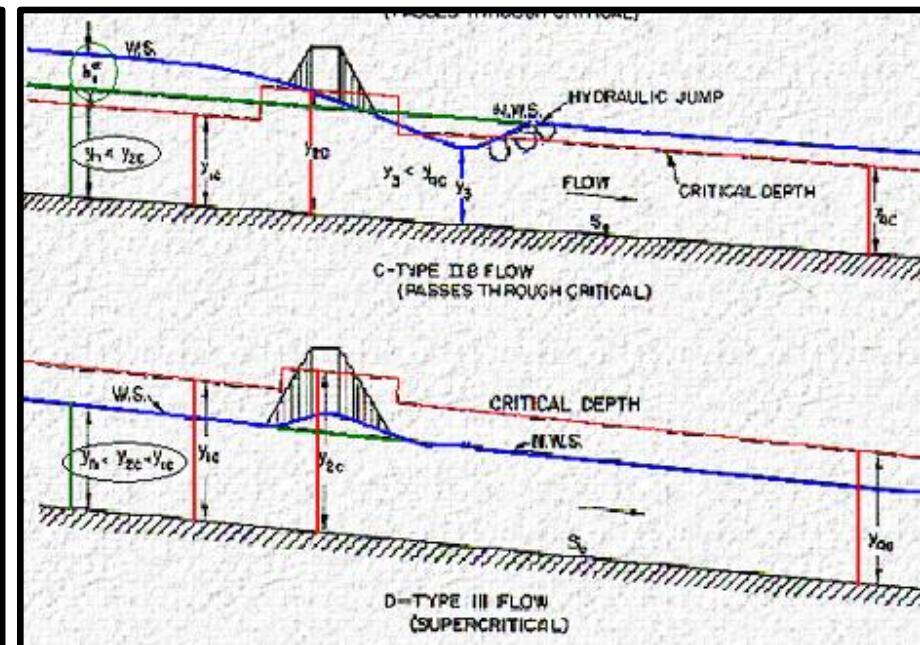
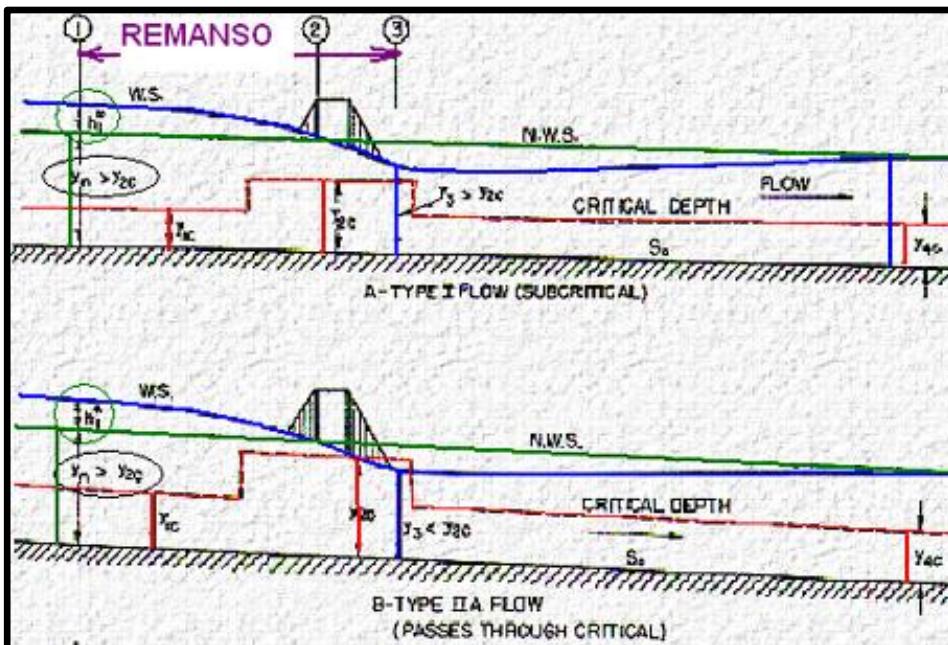


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

TIPOS DE FLUJO:



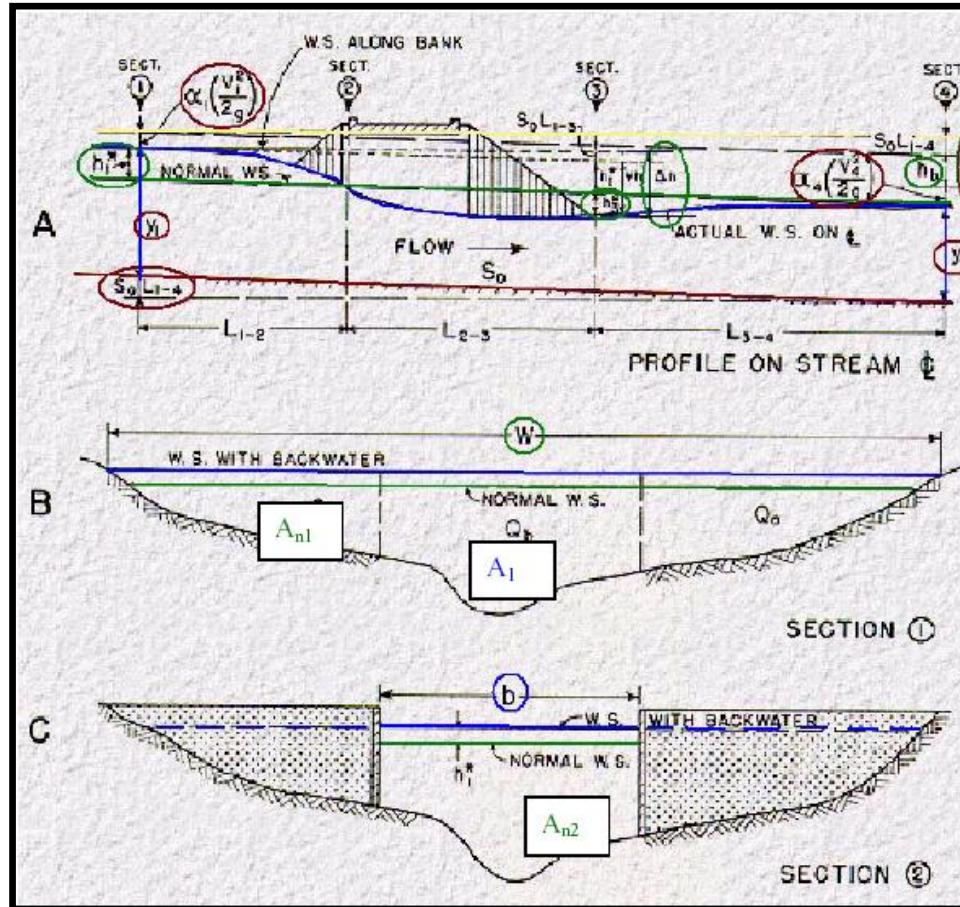


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

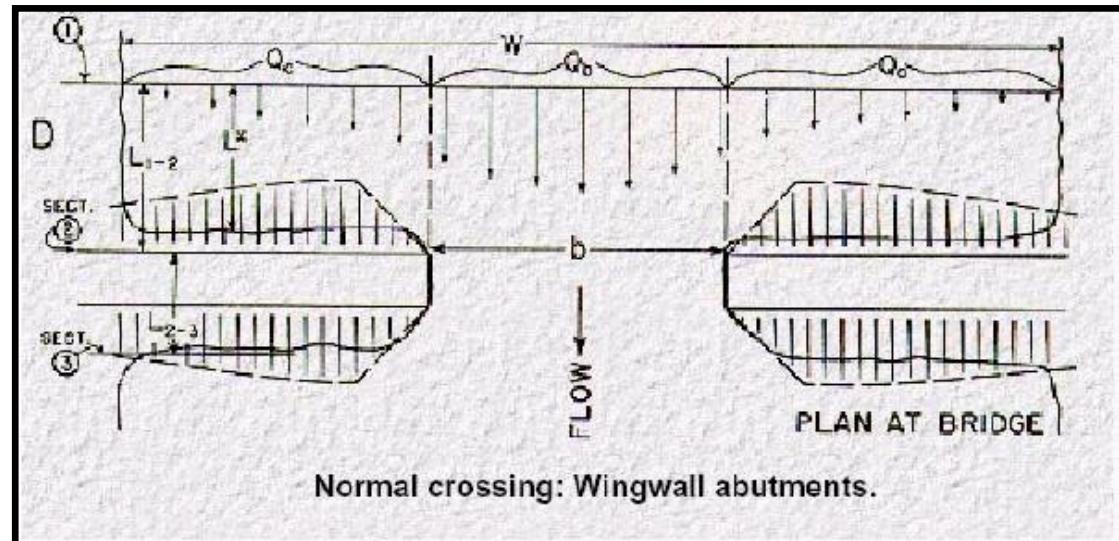
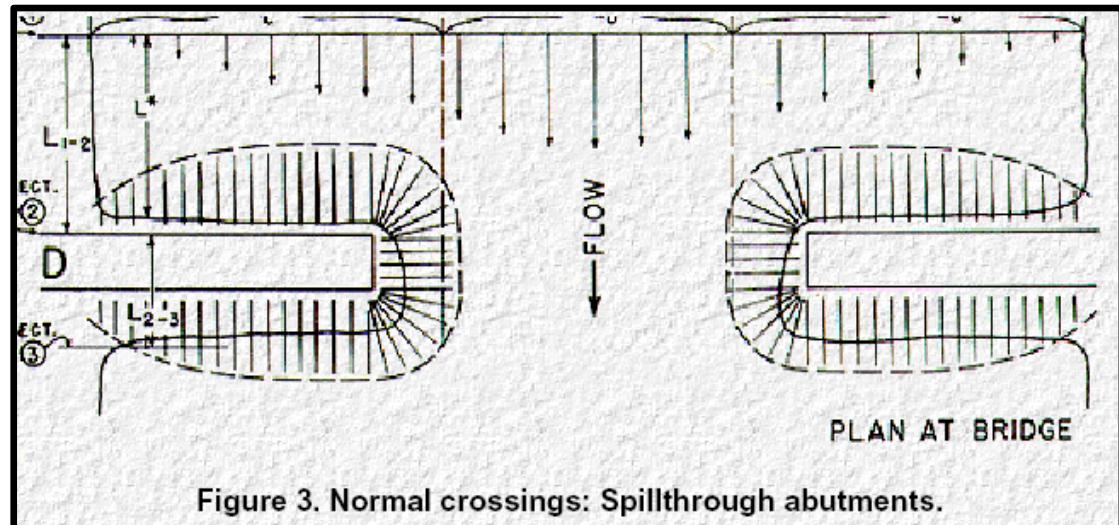
HIDRAULICA DE PUENTES

ECUACIÓN DE ENERGÍA Y DETERMINACIÓN DEL REMANSO (h_1^*)



HIPÓTESIS DE CÁLCULO:

- Canal recto
- Área transversal uniforme
- Pendiente de fondo constante entre secciones 1 y 4
- Flujo libre de contracciones y expansiones
- No hay erosión apreciable en el lecho de la contracción
- Flujo Sub-crítico (TIPO I)





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Igualando energías entre las secciones 1 y 4:

$$S_0 \cdot L_{1-4} + y_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = y_4 + \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} + h_T$$

Siendo h_T la pérdida total de energía entre las secciones 1 y 4

$$y_1 - y_4 = \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_T - S_0 \cdot L_{1-4}$$

reemplazando:
$$h_1^* = \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_b$$

Las pérdidas pueden expresarse como producto de un coeficiente de pérdida, K^* y la altura de velocidad en la sección 2:

$$h_b = K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Siendo V_{n2} la velocidad media en la sección contraída, para el nivel de agua normal, antes de construido el puente.

Reemplazando:

$$h_1^* = \left[\frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right] + K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

Asumiendo que las secciones transversales en 1 y 4 son iguales, resulta entonces que: $\alpha_4 = \alpha_1$
Por condición de continuidad:

$$A_1 \cdot V_1 = A_4 \cdot V_4 = A_{n2} \cdot V_{n2}$$

Las velocidades son proporcionales a las áreas, luego puede expresarse:

$$h_1^* = \left[\left(\frac{A_{n2}}{A_4} \right)^2 - \left(\frac{A_{n2}}{A_1} \right)^2 \right] \cdot \alpha_1 \frac{V_{n2}^2}{2g} + K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

Representa la diferencia de energía cinética entre la sección 1 y 4



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Entonces resulta:

$$h_1^* = \left[\left(\frac{A_{n2}}{A_4} \right)^2 - \left(\frac{A_{n2}}{A_1} \right)^2 \right] \cdot \alpha_1 \frac{V_{n2}^2}{2g} + K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

Siendo las variables que intervienen:

- h_1^* : Remanso total
- K^* : Coeficiente de pérdidas totales en el remanso
- α_1 : Coeficiente de corrección de altura de velocidad en las secciones 1 y 4
- α_2 : Coeficiente de corrección de altura de velocidad en la contracción
- A_{n2} : Área mojada en la contracción con el nivel de agua normal
- V_{n2} : Velocidad media en la contracción con tirante normal
- A_4 : Área mojada en la sección 4 (luego de restablecido el régimen normal)
- A_1 : Área mojada en la sección 1 (en la contracción)



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Entonces hallar h_1^* resulta un PROCESO ITERATIVO:

1) Se estima h_1^* como:
$$h_1^* \cong K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

2) Se determina el área como: $A_1 = f(h_1^*)$

3) Se calcula h_1^* a partir de la expresión desarrollada anteriormente:

$$h_1^* = \left[\left(\frac{A_{n2}}{A_4} \right)^2 - \left(\frac{A_{n2}}{A_1} \right)^2 \right] \cdot \alpha_1 \frac{V_{n2}^2}{2g} + K^* \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2g}$$

4) Se comparan ambos valores: El h_1^* calculado en (3) con el estimado en (1).



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Determinación del coeficiente de pérdidas totales del remanso K^* :

$$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e + \Delta K_s$$

Dicho coeficiente también se ve afectado por:

- Número, tamaño, forma y orientación de pilas en la contracción.
- Excentricidad o posición asimétrica del puente con respecto a la sección transversal.
- Inclinación o ángulo entre el eje del camino y el eje del canal.

Donde cada coeficiente es:

K_b → **ESTRIBOS**

ΔK_p → **PILAS**

ΔK_e → **EXCENTRICIDAD**

ΔK_s → **INCLINACIÓN**

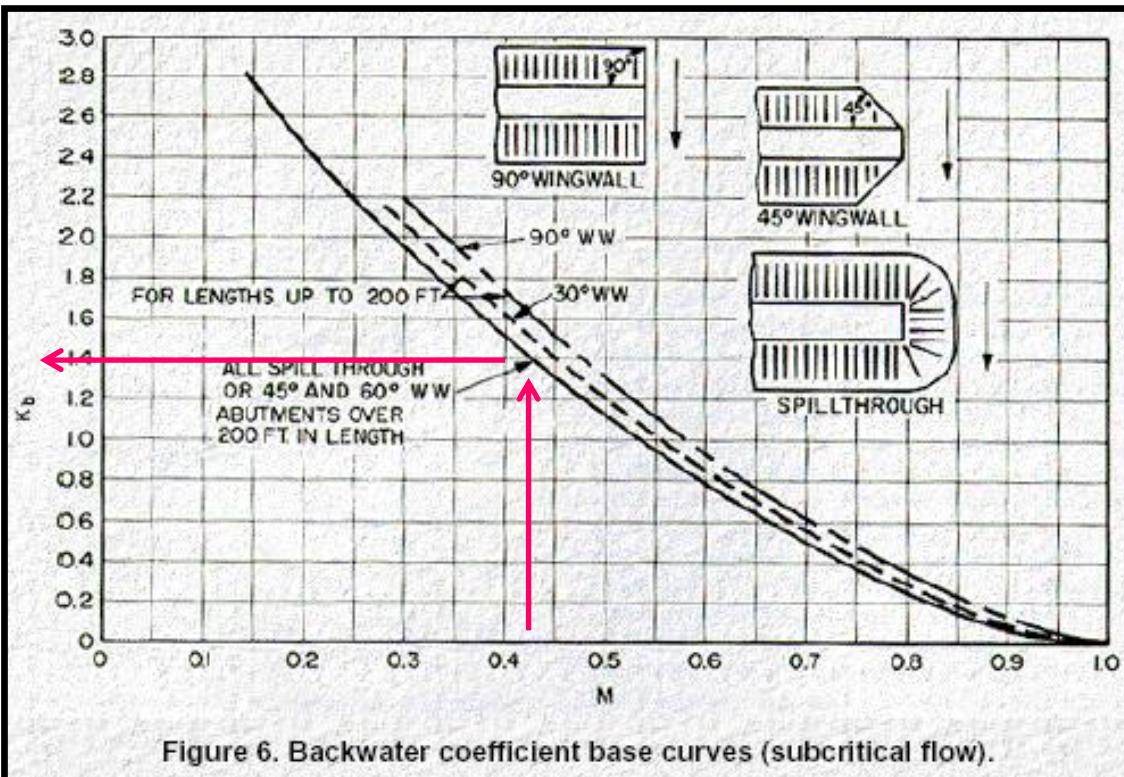
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

$$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e + \Delta K_s$$

K_b: Tiene en cuenta la LOS ESTRIBOS (Curvas base):



El valor de K_b aumenta al disminuir M (aumenta la contracción)

Para puentes de longitud mayor a 60 m, independientemente de la forma del estribo, se utiliza la curva más baja, porque la geometría del estribo tiene menos importancia cuando la luz del puente aumenta.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

$$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e + \Delta K_s$$

ΔK_p : Tiene en cuenta el EFECTO DE PILAS:

Depende de:

- La relación entre el área de las pilas y el área de apertura del puente:

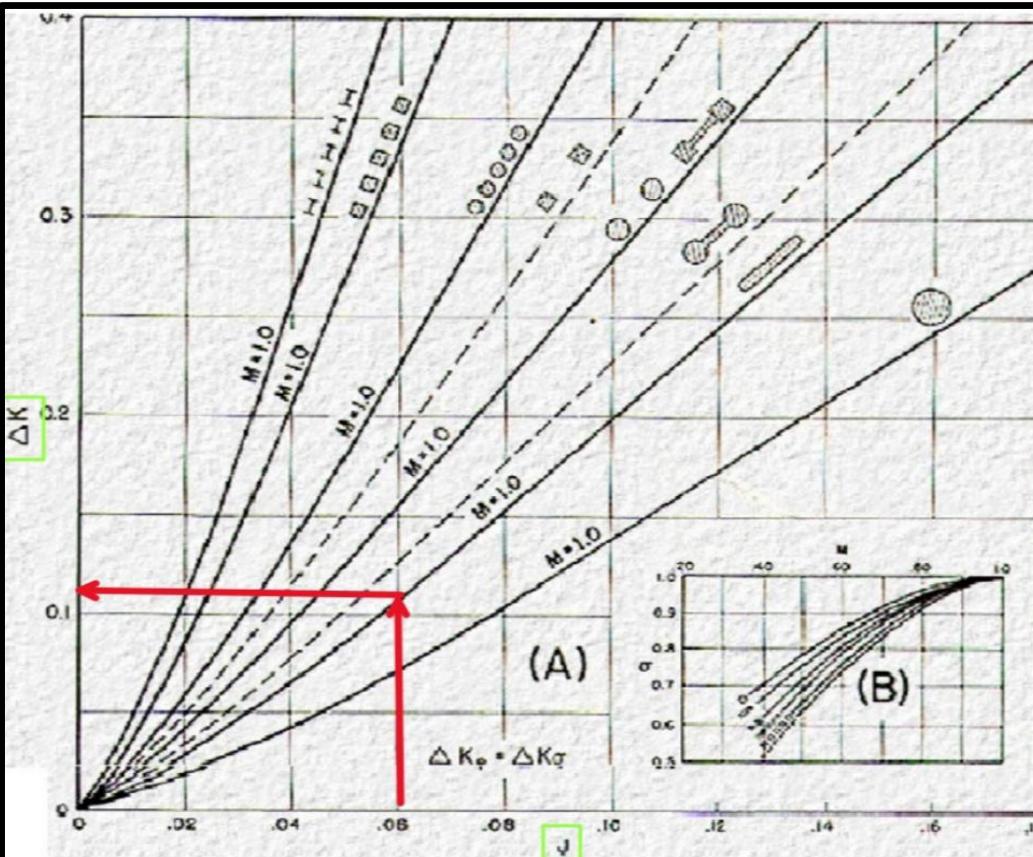
$$J = \frac{A_p}{A_{n2}}$$

- El tipo de pilas

- El valor de la relación de apertura: M

- La angularidad de las pilas con la dirección del flujo.

$$\Delta K_p = \sigma \cdot \Delta K$$



Para cruces inclinados, se utilizan los mismos gráficos pero variando el cálculo de J, An2 y M.



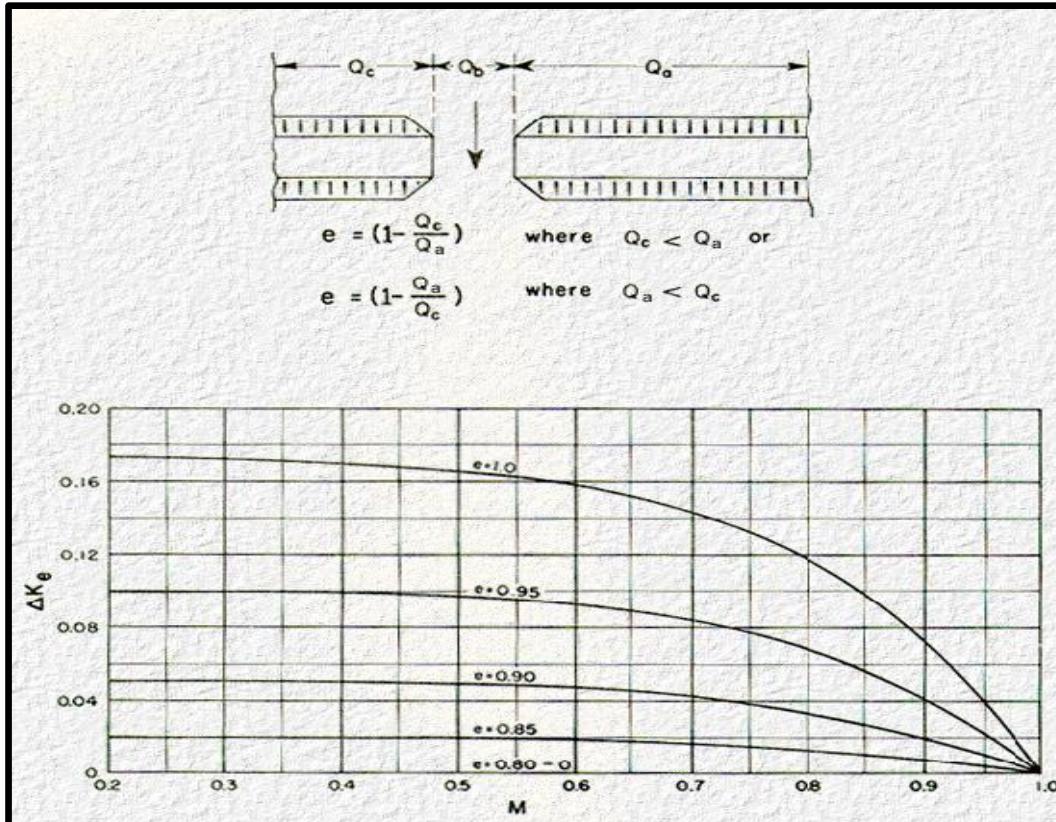
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

$$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e + \Delta K_s$$

ΔK_e : Tiene en cuenta el EFECTO DE EXCENTRICIDAD:



$$e = \left(1 - \frac{Q_c}{Q_a}\right) \quad \text{donde } Q_c < Q_a$$

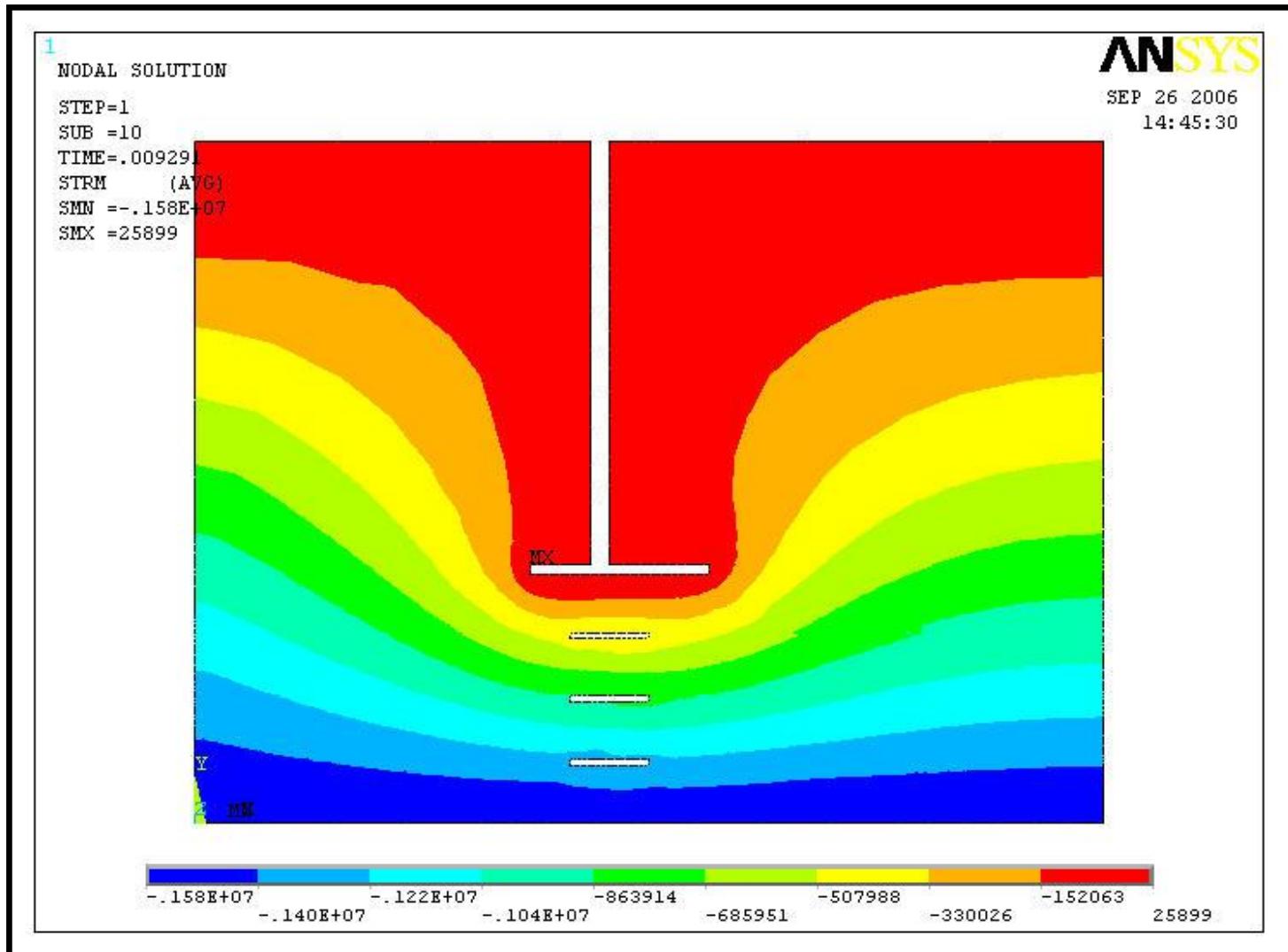
$$e = \left(1 - \frac{Q_a}{Q_c}\right) \quad \text{donde } Q_a < Q_c$$



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

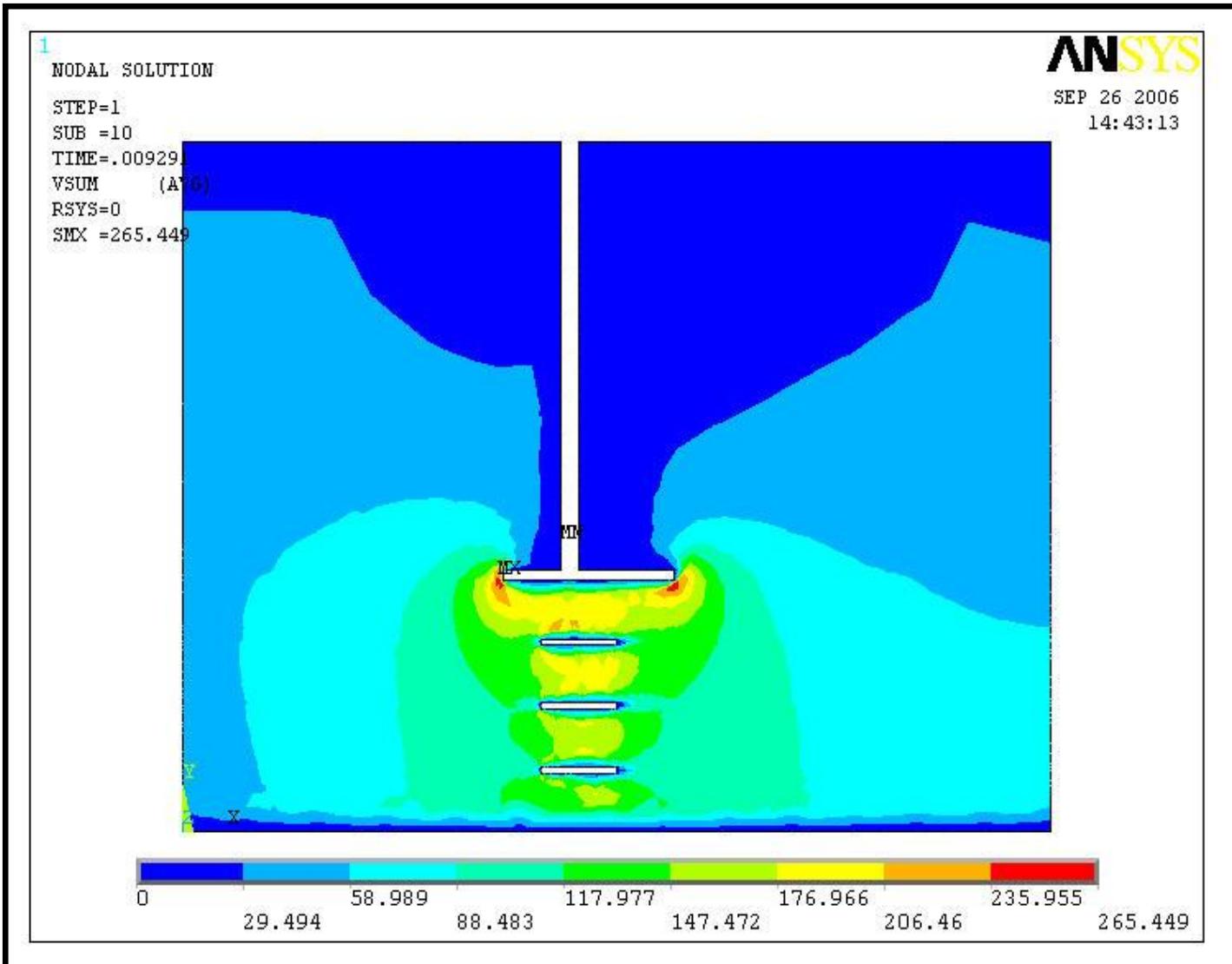




Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

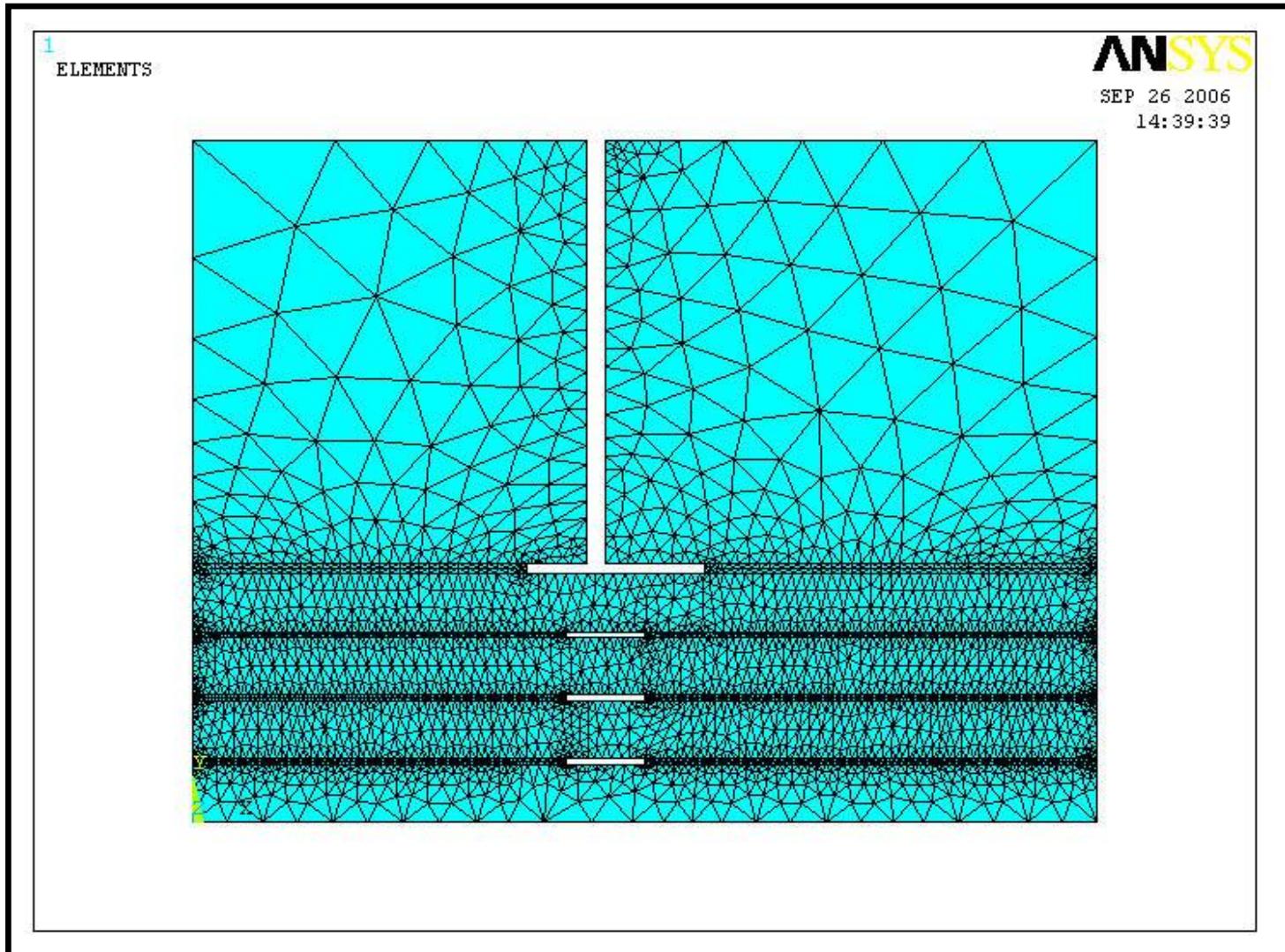




Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES





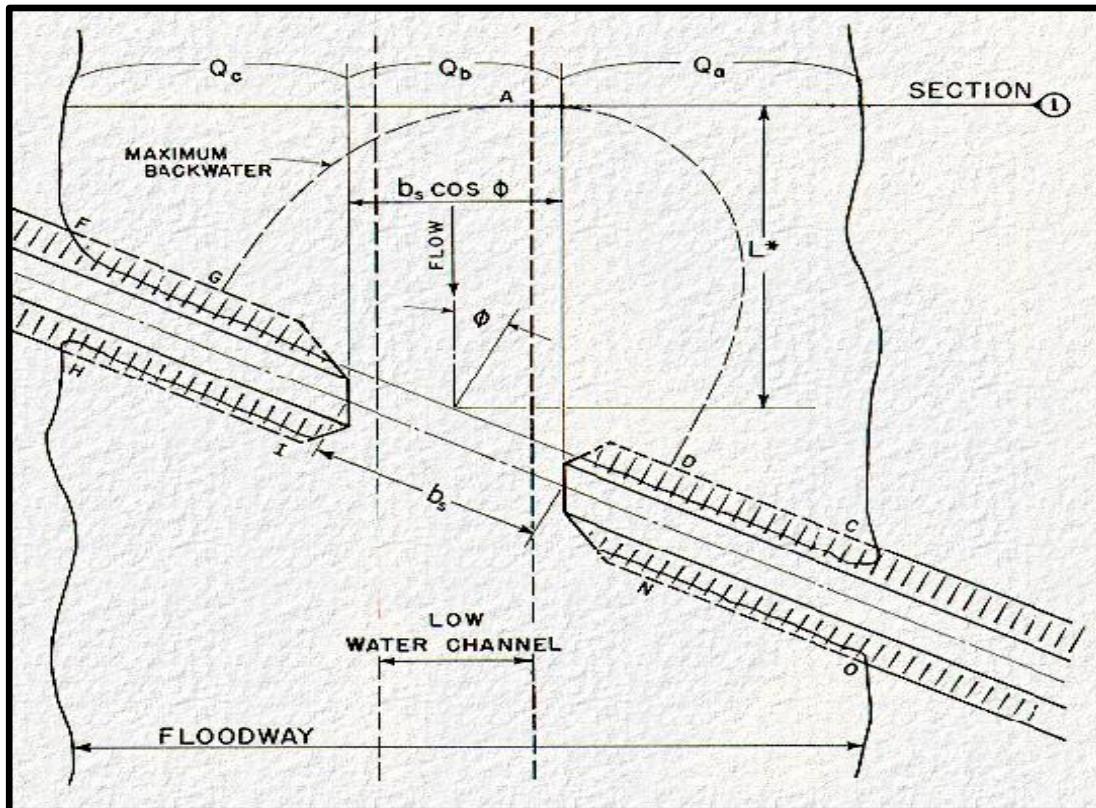
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

$$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e + \Delta K_s$$

ΔK_s : Tiene en cuenta EFECTO DE INCLINACIÓN



ΔK_s puede ser positivo o negativo

Respecto del cruce normal, se modifican los valores de:

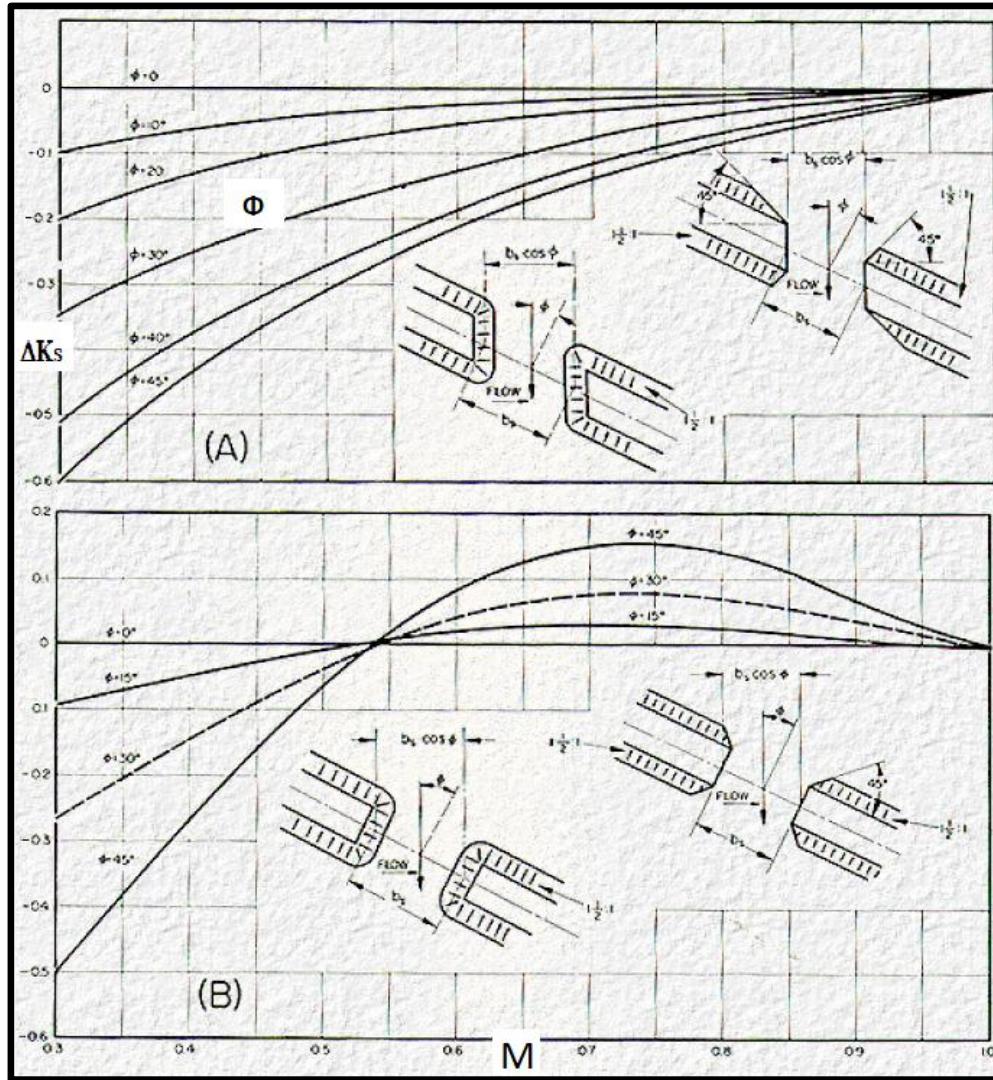
- M
- A_{n2}
- $V_{n2} = f(A_{n2})$



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES



El cruce inclinado con ángulos hasta 20° produce resultados objetables para cualquier tipo de estribos para ángulos mayores, la concentración del flujo en los estribos produce remolinos, reduciendo la eficiencia del canal e incrementando las posibilidades de erosión. La longitud H-I y N-O puede definirse arbitrariamente o un valor no mayor a 2 luces del puente.



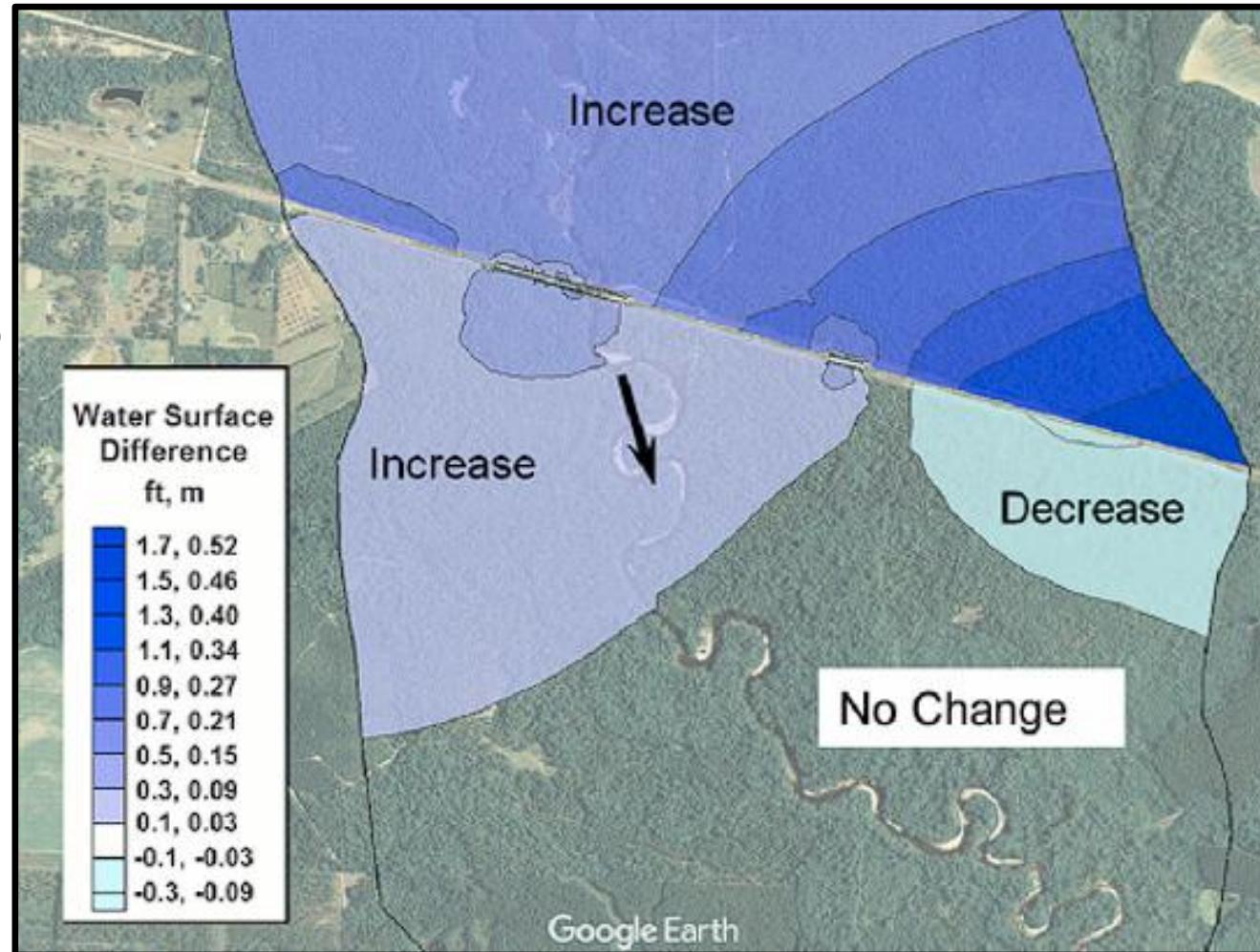
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

REMANSO EN UN CRUCE ESCONSO :

Observar la diferencia de niveles (colores)

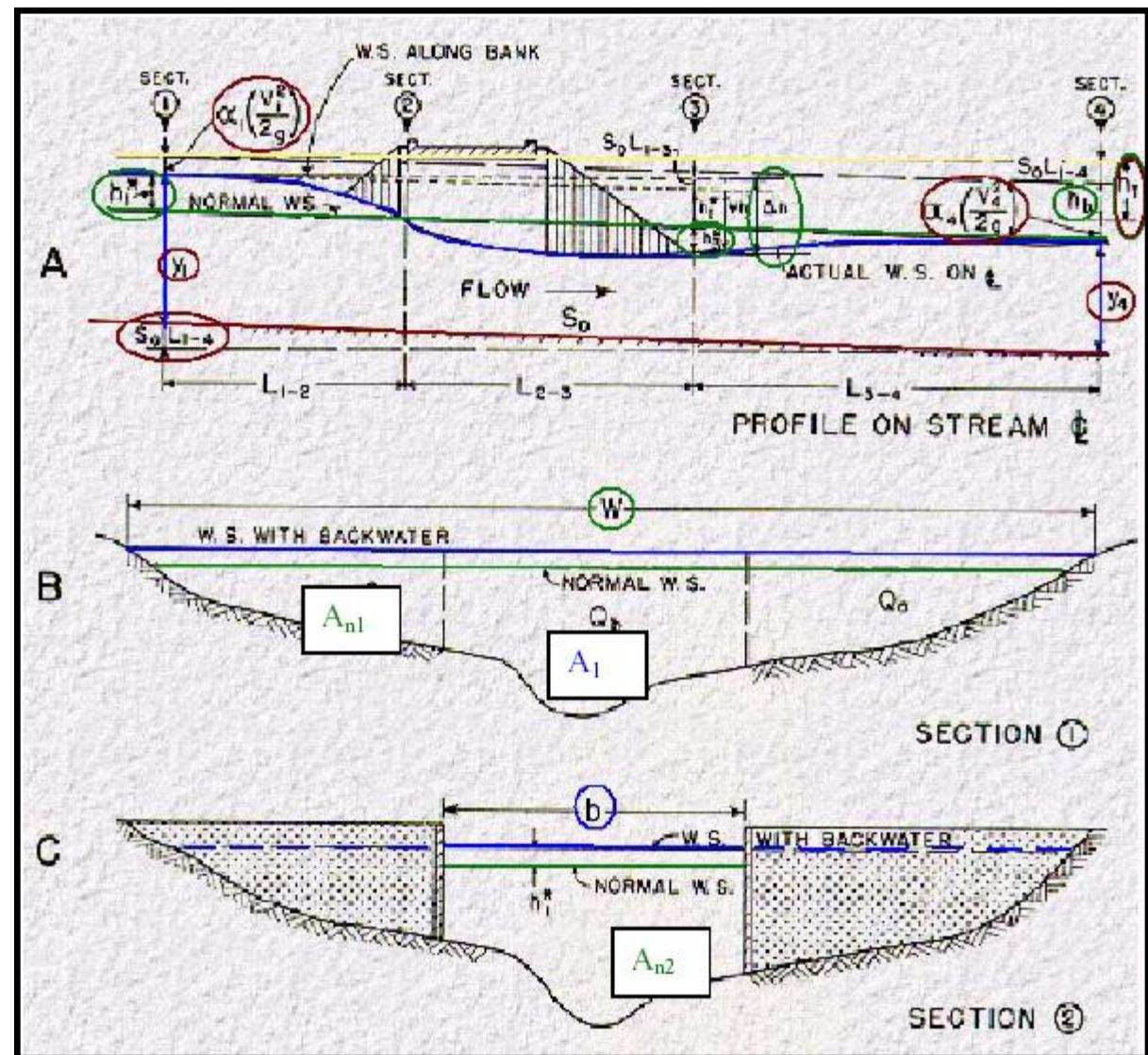


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

ECUACIÓN DE ENERGÍA Y DETERMINACIÓN DE h_3^* :





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

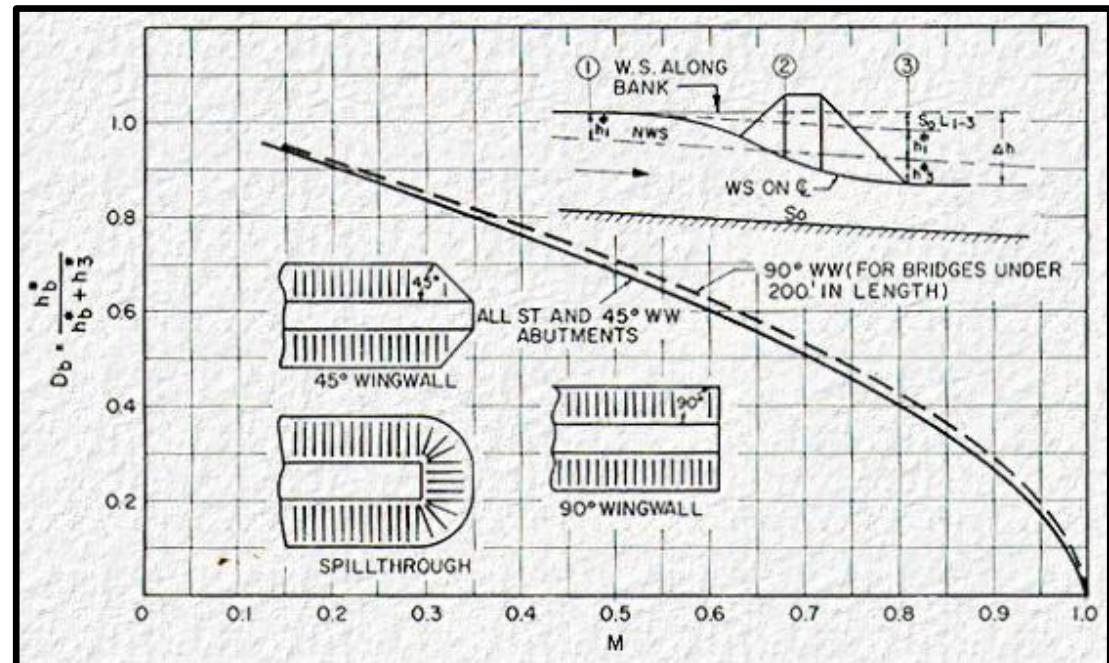
DETERMINACIÓN DE h_3^* :

Partiendo de un dato fácilmente mesurable Δh , se puede trazar la curva de remanso: La diferencia en la elevación de la superficie del agua entre aguas arriba y aguas abajo del puente en la proximidad de los estribos Dh , no es el remanso provocado por el puente. Puede definirse el nuevo nivel de agua, conociendo h_3^* . La estimación es válida siempre que el perfil no ascienda por estancamiento desde aguas abajo o por planicies de inundación restringido.

$$h_3^* = h_b^* \cdot \left(\frac{1}{D_b} - 1 \right)$$

$$h_b^* = K_b \cdot \frac{\alpha_2 \cdot V_{n2}^2}{2 \cdot g}$$

Existen correcciones por efecto de pila y de excentricidad. (De tablas en forma similar a lo explicado).





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

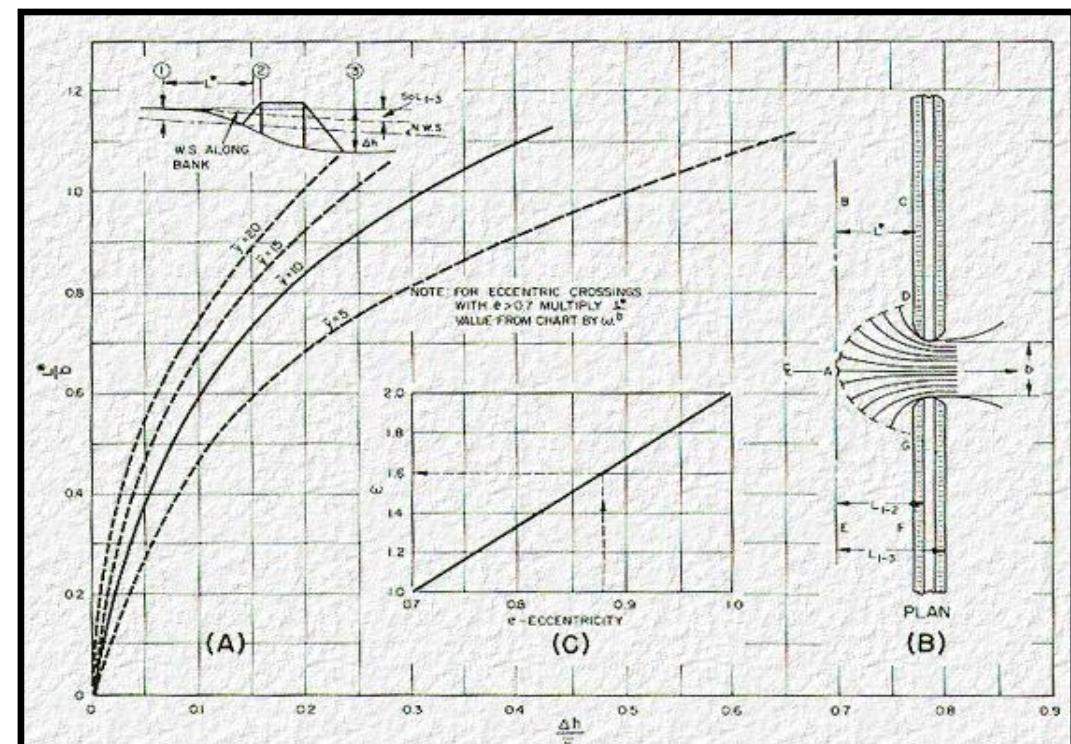
DIFERENCIA DE NIVEL EN LA SUPERFICIE DEL AGUA A TRAVÉS DEL PUENTE :

Conocidos h_3^* y h_1^* , se puede calcular $\Delta h = h_3^* + h_1^* + S_o \cdot L_{1-3}$

Distancia al punto de máximo remanso:

L^* desde el punto de encuentro del nivel del agua con el terraplén de aguas arriba.

Primero se debe determinar: L_{1-3}





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Entonces hallar Δh resulta un PROCESO ITERATIVO:

1) Se estima Δh como:
$$\frac{\Delta h}{\bar{y}} \cong h_1^* + h_3^*$$

2) De tablas, y en función de L^* y b , se obtiene L :
$$\frac{L^*}{b} \rightarrow L$$

3) Se calcula Δh nuevamente como:
$$\frac{\Delta h}{\bar{y}}$$

4) Se comparan ambos valores: El Δh calculado en (3) con el estimado en (1).

Luego se determina “ L_{1-3} ” con el grafico de la anterior diapositiva.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

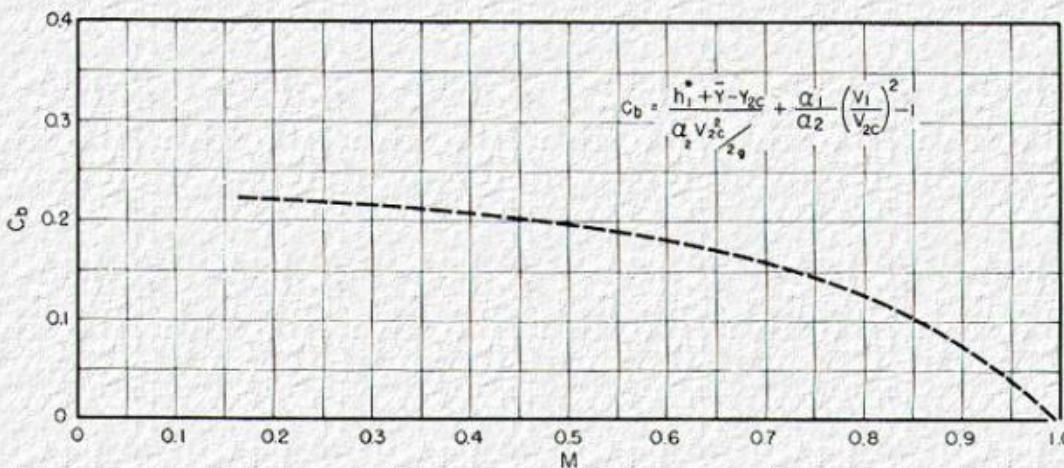
SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

En el caso de tener un Flujo Tipo II, se procede de forma similar, calculando todos los coeficientes y posteriormente aplicando una corrección a partir de las siguientes expresiones:

$$C_b = \frac{h_1^* + \bar{Y} - Y_{2c}}{\alpha_2 V_{2c}^2 / 2g} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \left(\frac{V_1}{V_{2c}} \right)^2 - 1$$

$$h_1^* = \alpha_2 \frac{V_{2c}^2}{2g} (C_b + 1) - \alpha_1 \frac{V_{2c}^2}{2g} + Y_{2c} - \bar{Y} \quad (26)$$



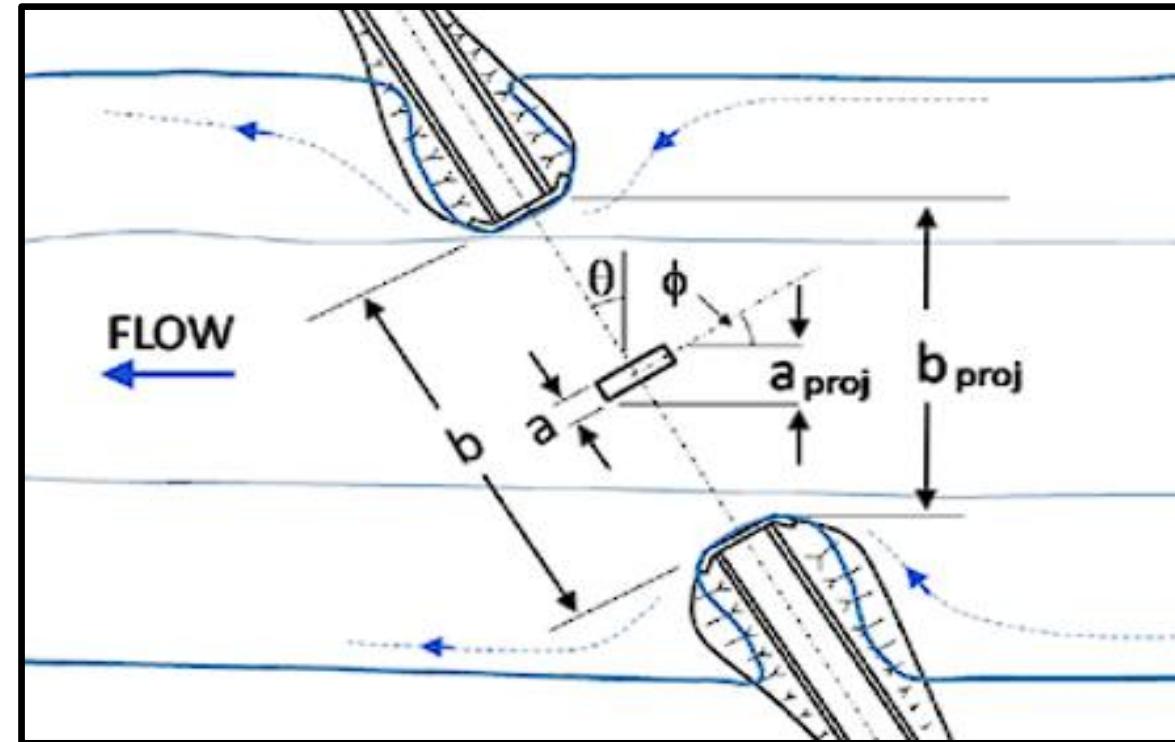
Siendo:

- Y_{2c} = tirante crítico en la sección 2
- \bar{Y} = tirante medio bajo en puente en condiciones normales (sin puente)

EFFECTO DE PILA MAL ALINEADA CON FLUJO PRINCIPAL

El flujo de agua lee “ a_{proj} ” y “ b_{proj} ”, NO las dimensiones a 90° del puente

Tener en cuenta la orientación incorrecta (a y b), puede incrementar notablemente el **socavamiento** en ciertas pilas





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

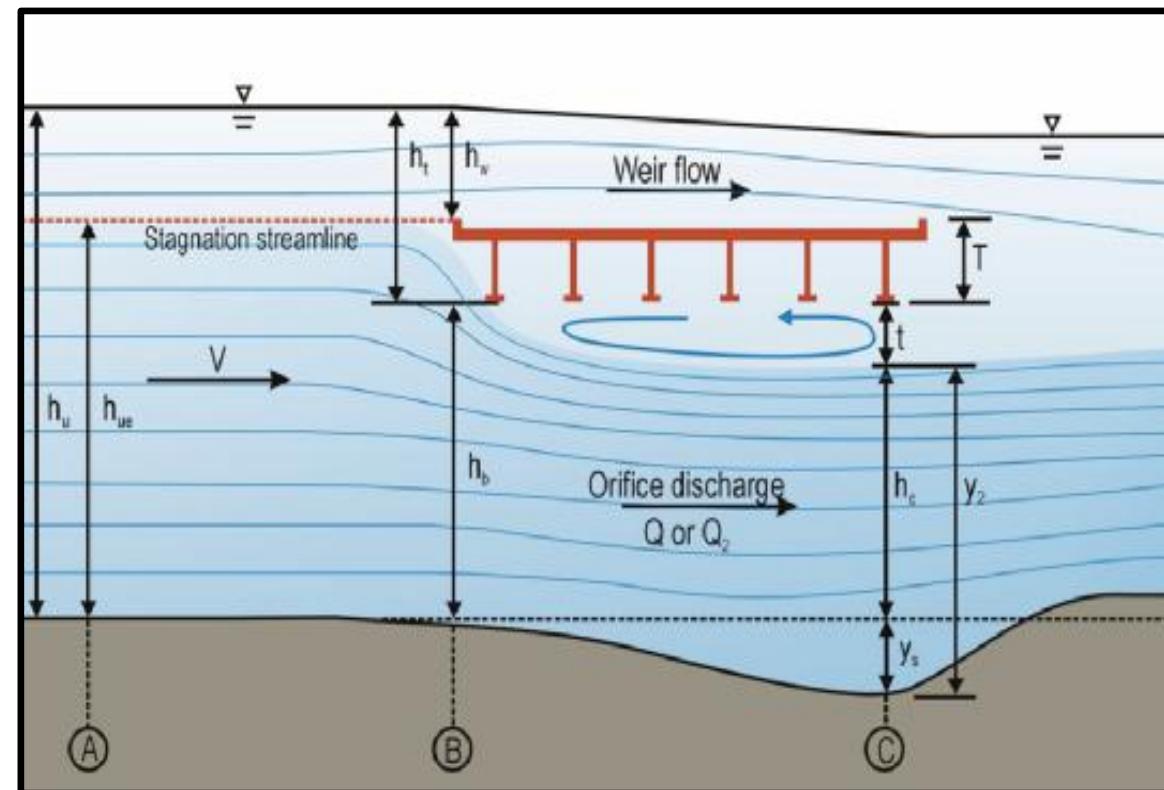
SOBREPASO DEL PUENTE DURANTE CRECIDAS MÁXIMAS:

SOBRE la calzada → Vertedero

DEBAJO del tablero → Orificio

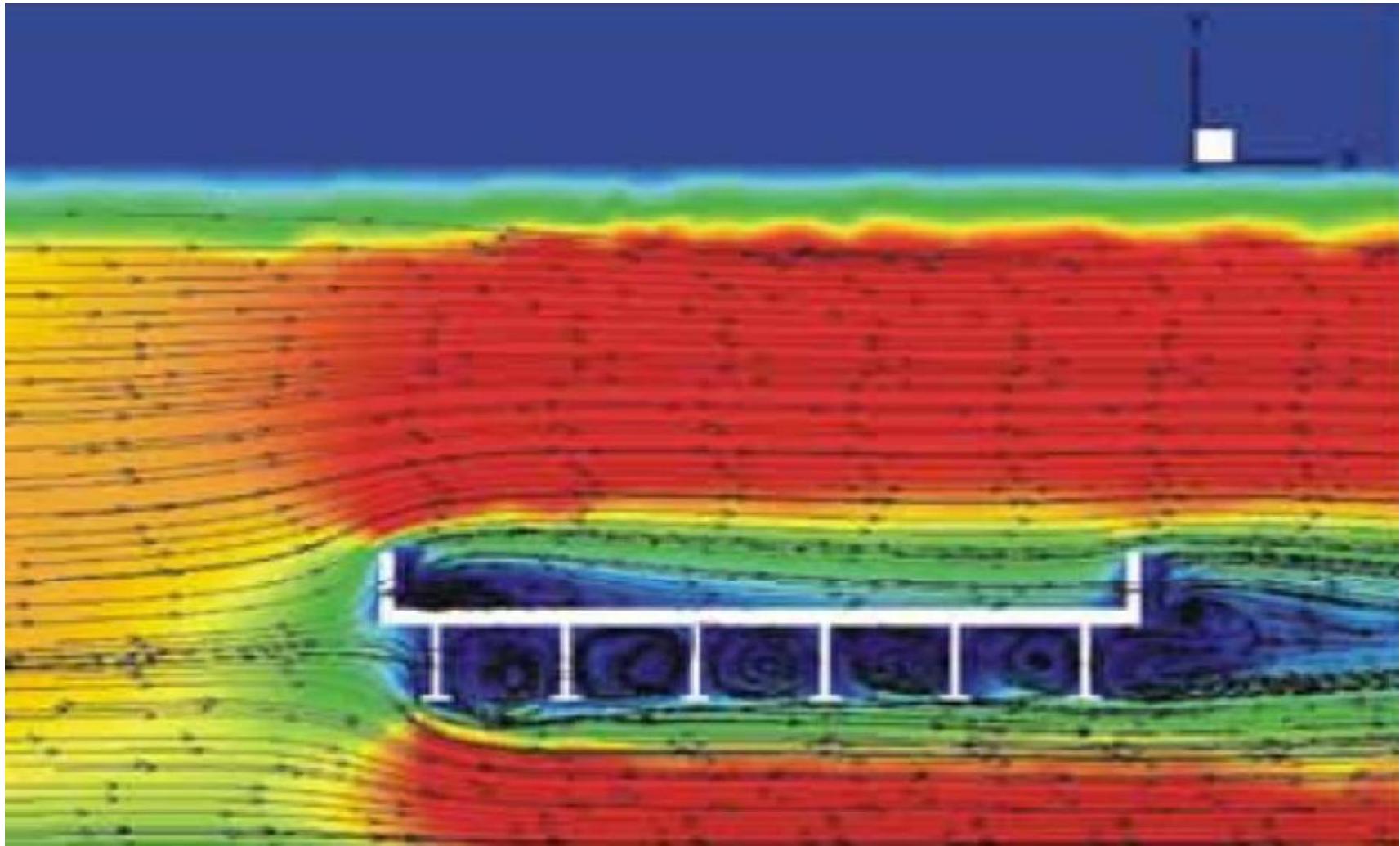
Se producen altas velocidades bajo el puente, lo que puede generar **SOCAVACIÓN LOCAL** por contracción vertical .

Ademas , tomar en cuenta que el Puente puede ser desplazado hacia aguas abajo





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica
SEMINARIO 2025
HIDRAULICA DE PUENTES



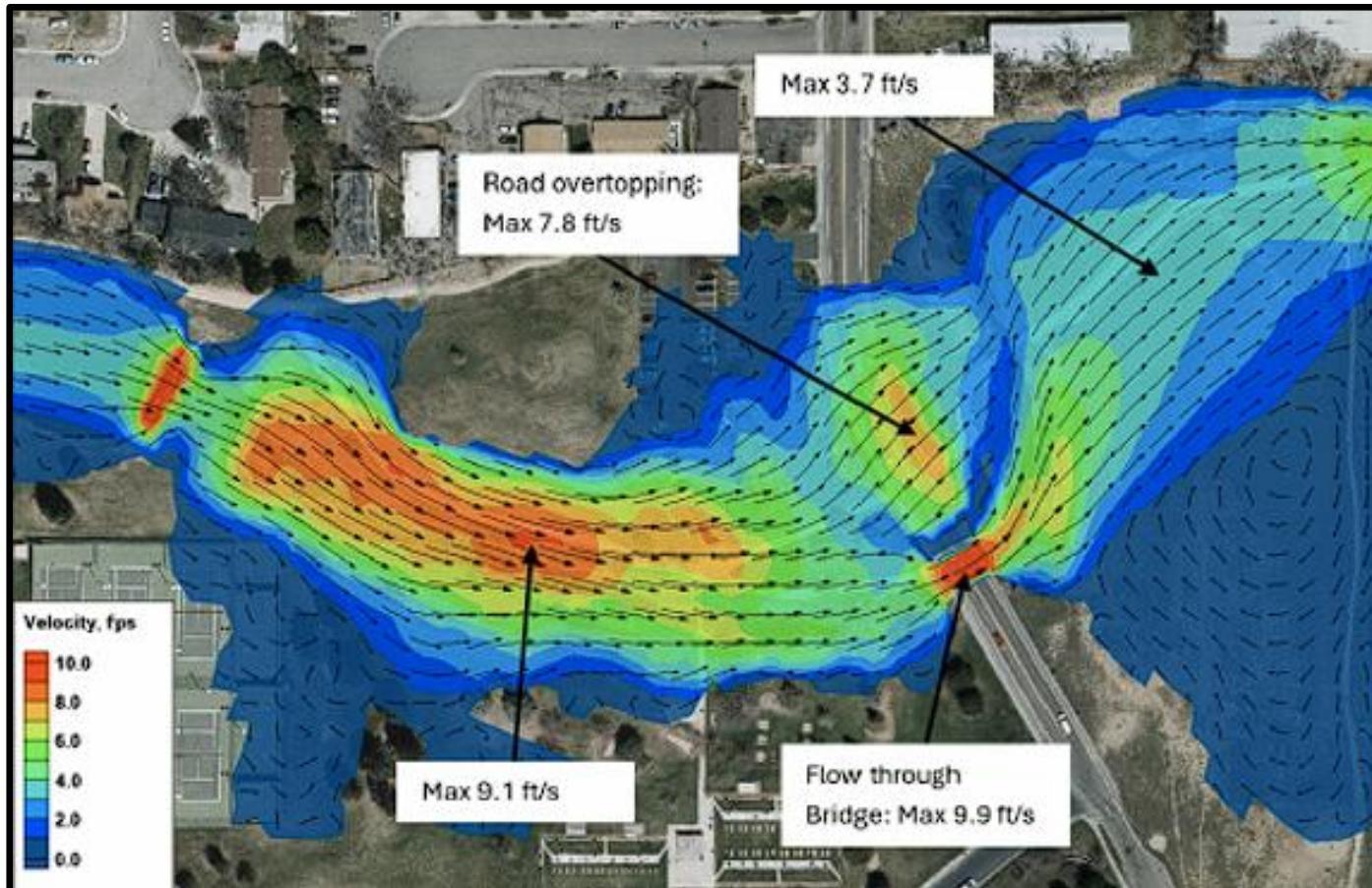


Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

MODELO 2D: VELOCIDADES EN EL CRUCE DE UN PUENTE CON DESBORDAMIENTO DE LA CALZADA





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Método de la Energía

El método que hemos aplicado para encontrar la superficie libre , esta basado en la ecuación de la energía.

Hemos descripto su aplicación general para los cálculos del perfil de la superficie del agua en una dimensión (1D). En los puentes, el método de la energía resta los terraplenes de la carretera, los estribos, el tablero del puente y los pilares del área de flujo efectiva. El método aumenta el perímetro mojado para tener en cuenta los lados de los pilares, los estribos y la cuerda inferior del puente si está en contacto con el flujo. La cuerda inferior y los lados de los pilares pueden afectar significativamente el perímetro mojado. La disminución del área y el aumento del perímetro mojado reducen la conductancia. El grado de reducción depende de la obstrucción impuesta por el puente y los terraplenes de la carretera. La reducción de la conductancia aumenta la pendiente de fricción, lo que incrementa la pérdida por fricción a través del cauce del puente.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Método del balance de Momento

El método del balance de momento se basa en el principio de que la suma de las fuerzas que actúan en una dirección determinada sobre un volumen de control es igual a la masa de agua en el volumen de control multiplicada por su aceleración. A diferencia del método de la energía, el método del balance de momento proporciona una forma de tener en cuenta el diseño hidráulicamente hidrodinámico de los pilares. Las ecuaciones incluyen un término para la fuerza de arrastre de los pilares. La entrada del usuario incluye el coeficiente de arrastre , que puede variar desde 0.29 (para pilares de forma elíptica con una relación longitud-ancho de 8:1) hasta 2.0 (para pilares de punta cuadrada). Estas grandes diferencias en el coeficiente de arrastre pueden afectar los resultados, especialmente cuando los pilares son la causa principal de la pérdida de energía en el cruce del puente. Al igual que el método de la energía, el método del momento incluye los lados de los pilares en el perímetro mojado. La tensión de corte se multiplica por el perímetro mojado para determinar esta fuerza de resistencia. Por lo tanto, en el método del momento, los pilares contribuyen a dos fuerzas de resistencia: el arrastre del pilar y la fricción a lo largo de los lados del pilar. HEC-RAS ofrece la opción de incluir o excluir el componente de peso y/o el componente de fricción del balance de fuerzas. La exclusión de cualquiera de estas fuerzas da como resultado una solución de momento incompleta. El componente de fricción siempre está presente como una fuerza de resistencia, y el componente de peso es típicamente una fuerza motriz, ya que las pendientes del canal tienden a ser positivas en los puentes. Excluir una fuerza motriz resulta en una sobreestimación de la superficie del agua aguas arriba y excluir la fuerza de fricción resulta en una subestimación de la superficie del agua aguas arriba.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Ecuación de Yarnell:

La ecuación de Yarnell es estrictamente empírica, a diferencia del método de la energía y del método del balance de momento, que se derivan teóricamente. Yarnell realizó aproximadamente 2600 experimentos en canales, observando el cambio en la elevación de la superficie del agua causado por la inserción de pilares de diferentes tamaños, formas y configuraciones. La ecuación de Yarnell, descrita en detalle en el Manual de Referencia Hidráulica HEC-RAS (USACE 2021a), se basa en esos experimentos. El coeficiente K de Yarnell tiene en cuenta varias formas de pilares.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

Método WSPRO:

La FHWA desarrolló y apoyó un programa informático para perfiles de la superficie del agua llamado WSPRO a partir de la década de 1980. WSPRO se convirtió en el software estándar de análisis hidráulico de puentes para muchos DOT estatales. HEC-RAS incluye el enfoque de la hidráulica de puentes de ese programa como un método disponible. El método WSPRO utiliza una solución de paso estándar de la ecuación de la energía y es similar al método de la energía en la mayoría de los aspectos. A diferencia de los otros tres métodos de flujo de puentes de superficie libre discutidos aquí, el método WSPRO funciona desde la sección de salida hasta la sección de aproximación y no solo entre las secciones de delimitación aguas arriba y aguas abajo. El cálculo del método WSPRO de la pérdida total de energía en la región entre la sección transversal de delimitación aguas arriba y la sección de aproximación (secciones transversales 3 y 4 en la figura arriba) difiere notablemente del método de la energía. El método WSPRO utiliza una longitud de flujo promedio efectiva en este segmento. La longitud de flujo promedio efectiva es la longitud de trayectoria de flujo promedio para 20 tubos de corriente idealizados de igual conductancia que fluyen desde la sección transversal 4 a la sección transversal 3 siguiendo trayectorias curvilíneas teóricas. El Manual del Usuario de WSPRO (FHWA 1986) explica los detalles de las trayectorias de flujo de los tubos de corriente asumidos.



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

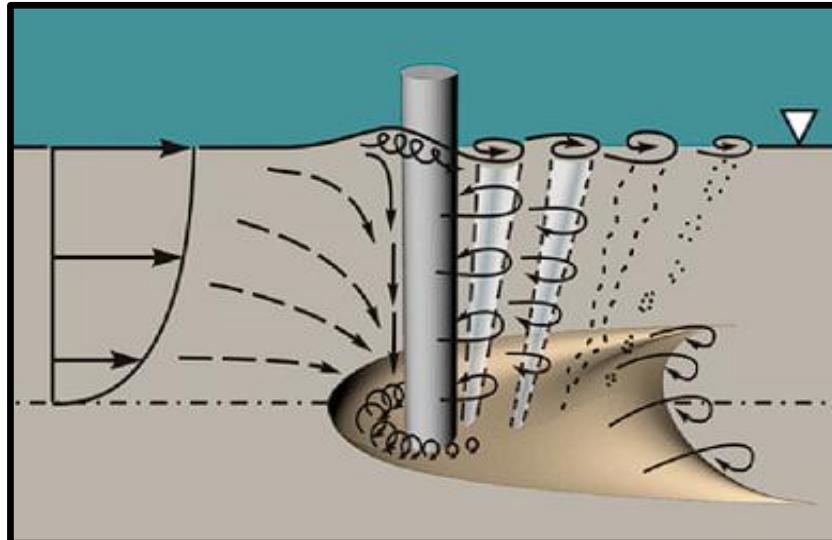
HIDRAULICA DE PUENTES

Selección del enfoque de modelado de superficie libre:

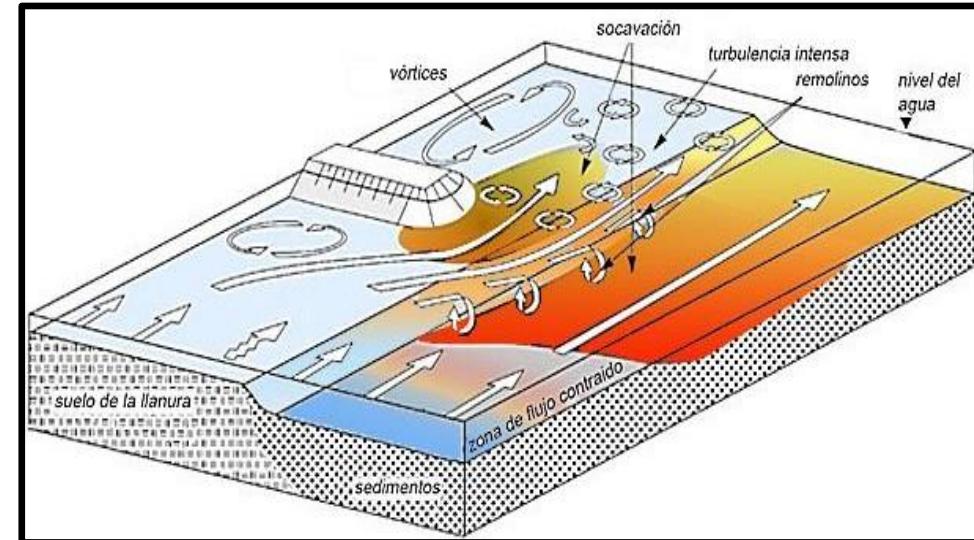
Los métodos de la energía, el balance de momento y WSPRO son adecuados para la mayoría de los sitios de cruce de puentes en condiciones de superficie libre. Entre estos tres, el método del balance de momento es único en la forma de contabilizar el arrastre de los pilares en función de la forma de los mismos. **Por lo tanto, el método del balance de momento es una buena opción cuando los pilares son el factor predominante de pérdida de energía.** Esto es especialmente cierto cuando la geometría del pilar es algo hidrodinámica, ya que el método del balance de momento reconoce los efectos beneficiosos de un diseño aerodinámico. Los métodos de la energía y WSPRO son aplicables cuando las pérdidas por fricción y los efectos de restricción son predominantes. En la mayoría de los casos, los resultados de los dos métodos, cuando se aplican correctamente en las mismas condiciones, son muy similares en términos de la línea de grado de energía y la elevación de la superficie del agua aguas arriba del puente. Sin embargo, solo el método WSPRO tiene en cuenta diferentes tipos de geometrías de estribos (por ejemplo, estribos de vertido frente a estribos verticales con muros de contención). A menudo se prefiere el método de la energía porque tiene menos requisitos de entrada que el método WSPRO y, en la mayoría de los casos, produce aproximadamente los mismos resultados. El método del momento también suele funcionar bien en situaciones en las que la restricción es el factor de pérdida predominante. También tiene la ventaja de que puede adaptarse mejor a un flujo rápidamente variado, una característica del flujo de puentes de superficie libre de clase B y clase C.

EROSION Y SOCAVACION LOCAL EN PUENTES

EROSIÓN EN PILAS: Los vórtices en herradura, de Von Karman y de extremo, son los responsables de la remoción del suelo.



EROSIÓN EN ESTRIBOS: Se observan los vórtices tanto aguas arriba como aguas abajo y las zonas donde es de esperar las máximas profundidades de erosión.





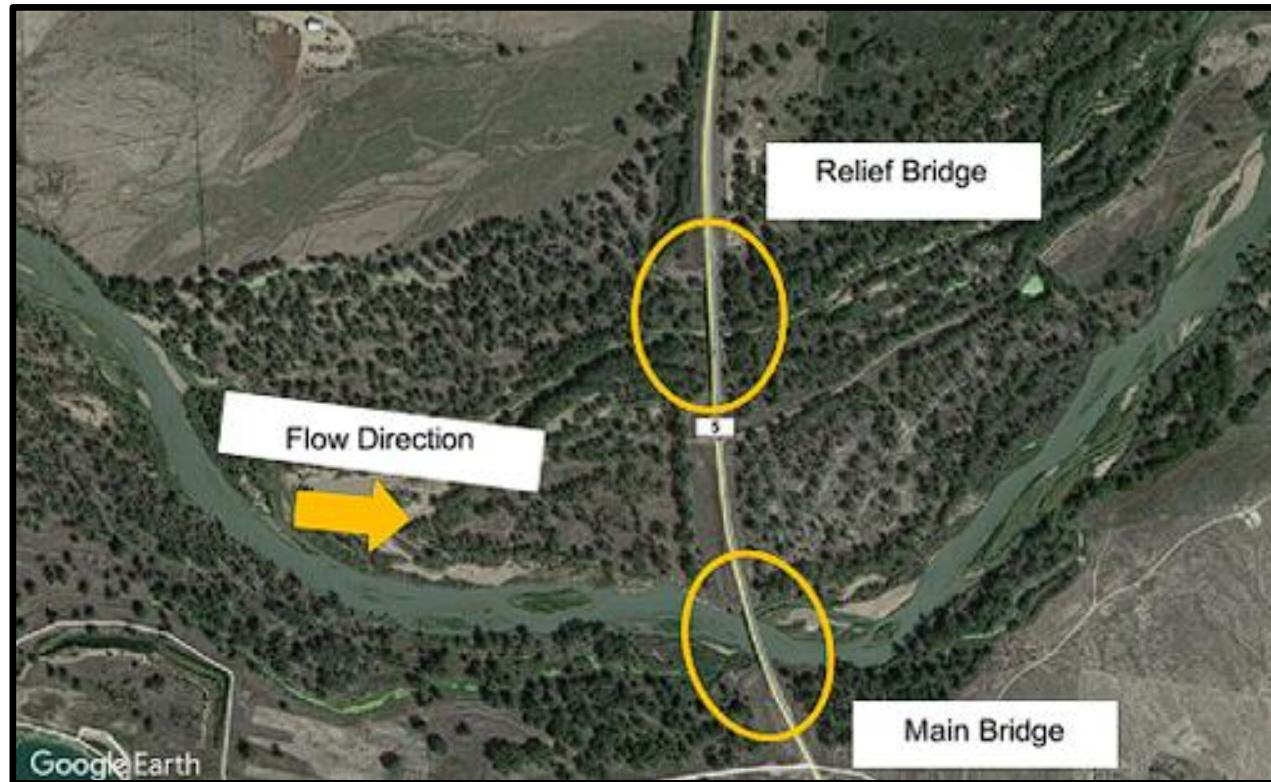
Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

CRUCE DE APERTURA MÚLTIPLE:

En esta imagen se puede observar como el proyecto, ha tenido en consideración que en el caso de una crecida importante, el valle de inundación hará que se active un puente aliviador “Relief Bridge”, mejorando así las condiciones del escurrimiento.

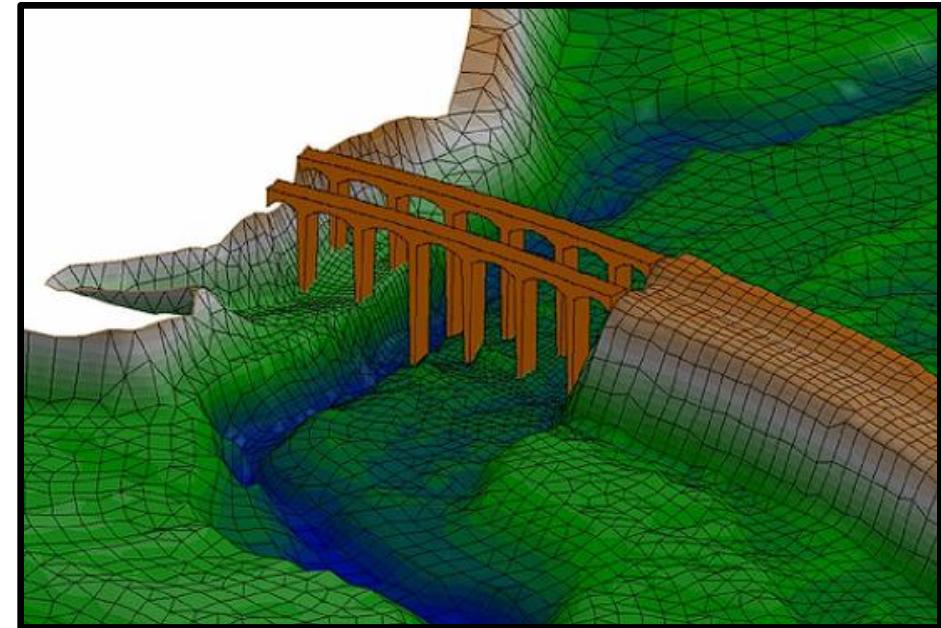
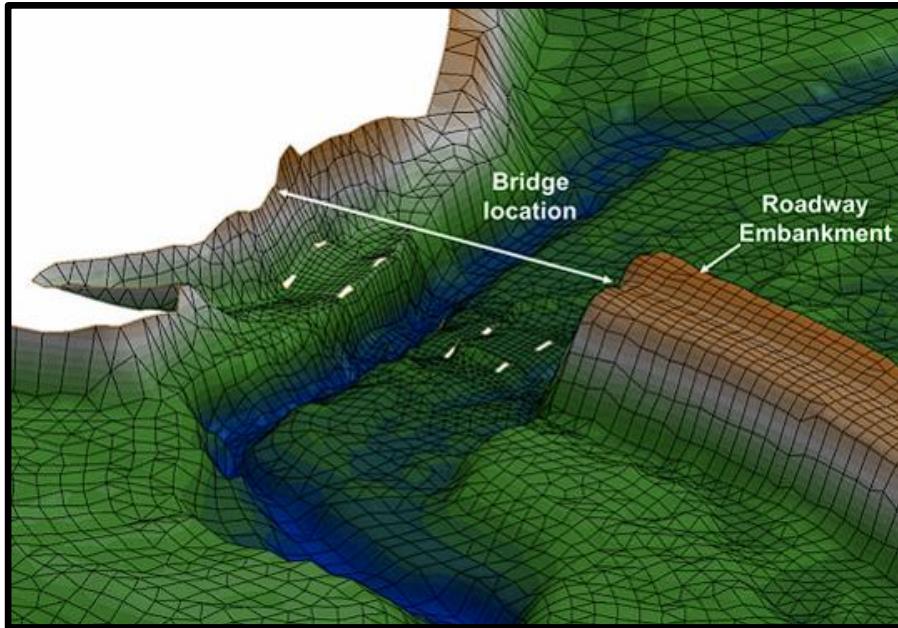




Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES



En la actualidad contamos con herramientas para analizar estos temas detalladamente



Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

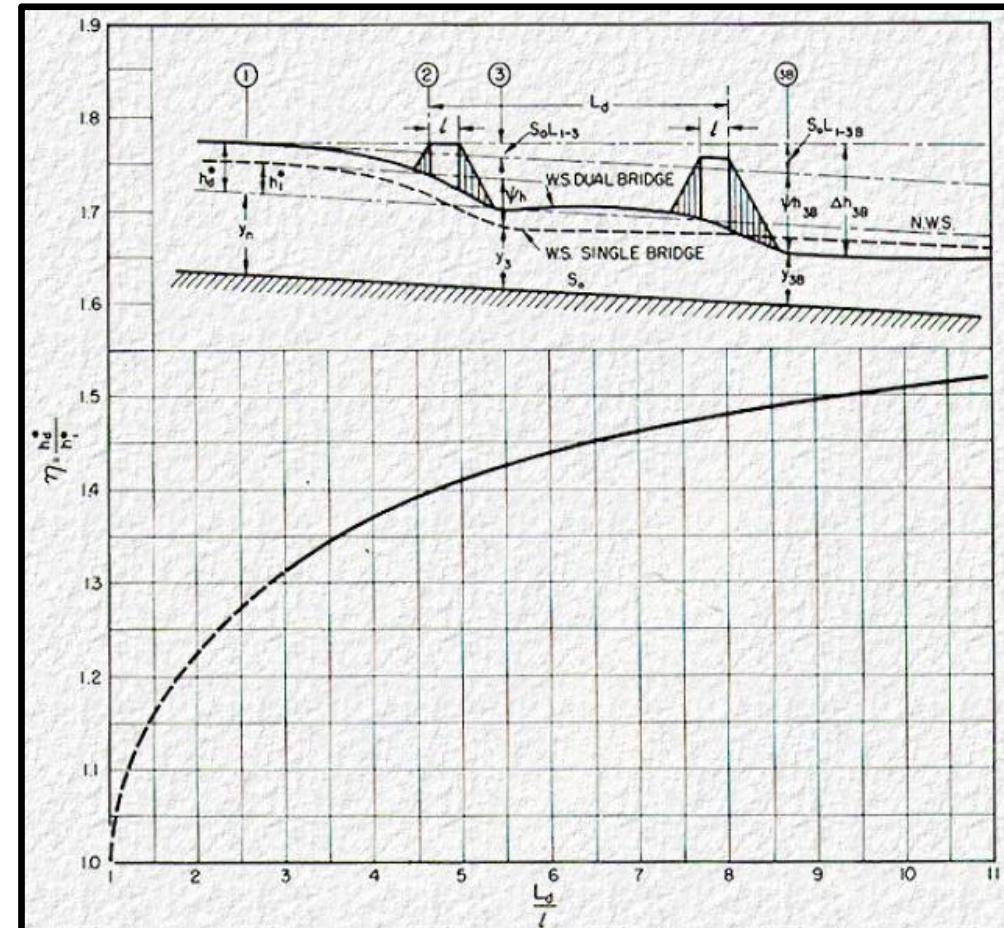
PUENTES DOBLES

EFFECTO HIDRÁULICO DE LOS PUENTES DOBLES

El remanso producido por los puentes dobles es mayor que el producido por un puente simple, pero de menor valor que el que se obtendría considerando los dos puentes por separado.

$$\eta = \frac{h_d^*}{h_1^*} \rightarrow h_d^* = h_1^* \cdot \eta$$

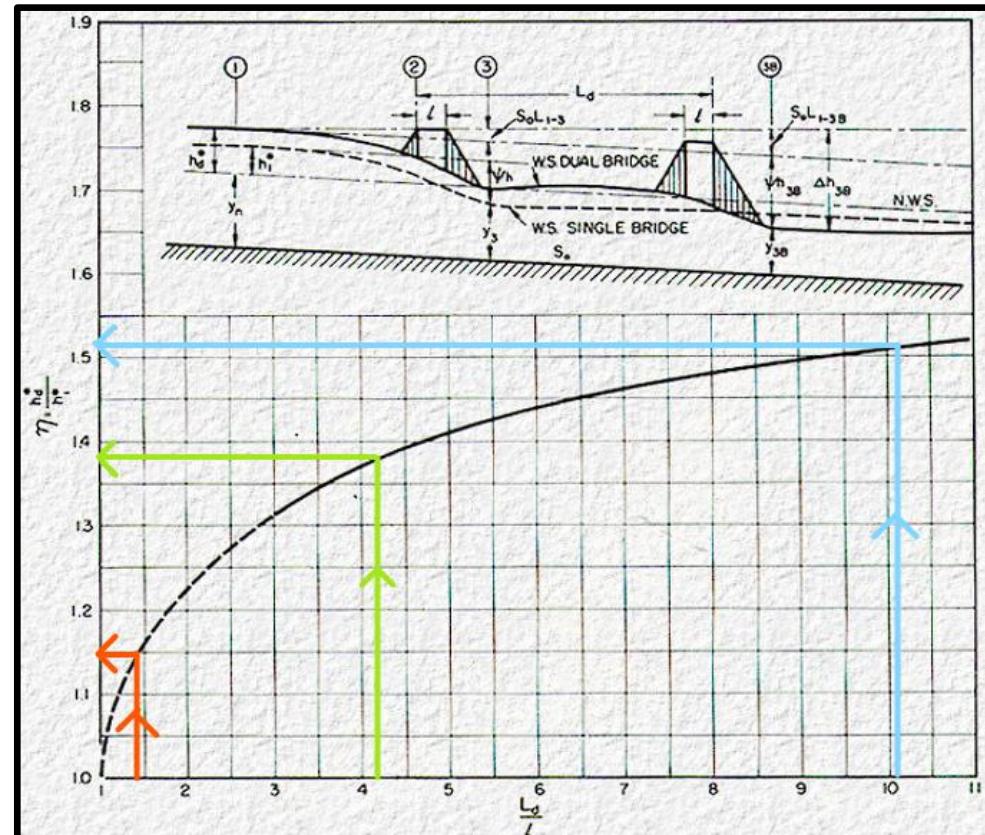
L_d : distancia entre puentes
 l : ancho de puente individual



PUENTES DOBLES

EFFECTO HIDRÁULICO DE LOS PUENTES DOBLES

- Cuando los puentes estan muy juntos (L_d pequeños), los puentes actúan como uno.
- A medida que L_d aumenta, el efecto de interacción crece y el remanso aumenta, ya que $\eta > 1$ y por ende h_d^* crece.
- Para L_d muy grandes, el efecto se estabiliza y cada puente se vuelve independiente.



PUENTES DOBLES

DIFERENCIA DE NIVEL TRANSVERSAL:

Cuando el cruce del puente es **excéntrico** respecto al eje del cauce, se produce una diferencia de nivel entre ambas márgenes, lo cual se ve afectada por la configuración de puentes dobles.

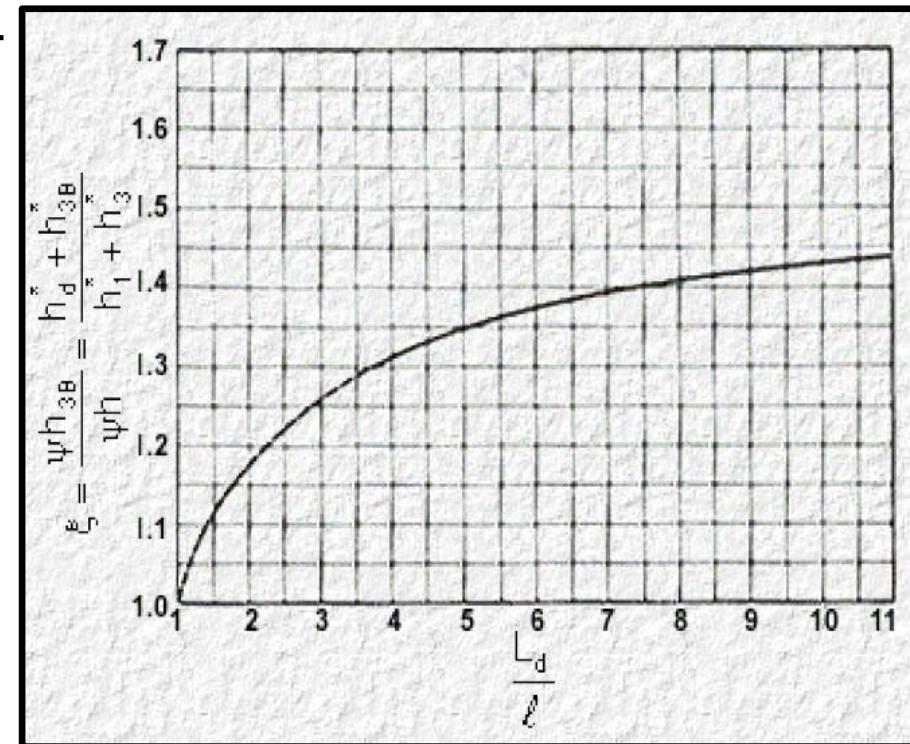
$$\xi = \frac{h_d^* + h_{3B}^*}{h_1^* + h_3^*} = \frac{\psi h_{3B}}{\psi h}$$

h_d^* → remanso con dos puentes

h_1^* → remanso con un solo puente

h_3^* → componente aguas abajo

h_{3B}^* → componente aguas abajo para puente doble





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

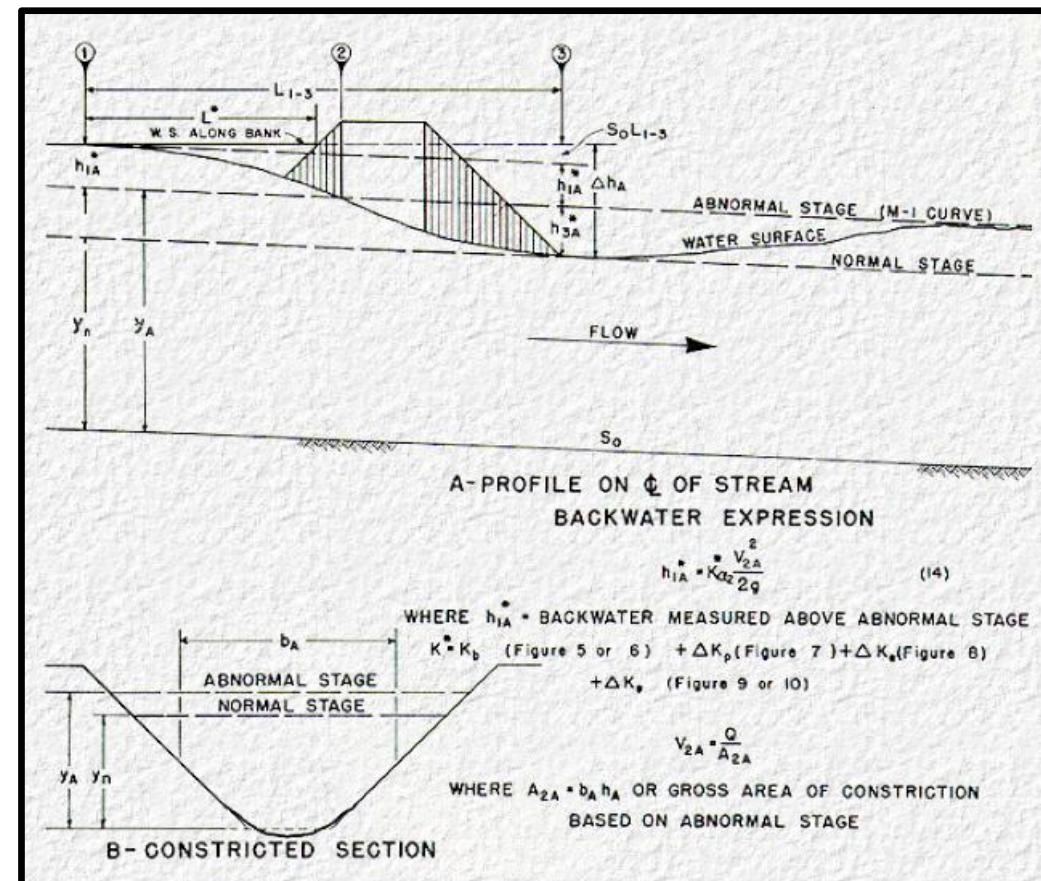
CONDICIONES ANORMALES DE RELACION CAUDAL – NIVEL

En ciertos casos, el comportamiento hidráulico del puente no depende sólo de su cuenca de aporte.

El nivel del agua puede estar condicionado por factores externos (aguas abajo), como:

- Represas, terraplenes u otras estructuras.
- Condiciones de almacenamiento lateral
- Afluencias artificiales

Es decir, tener un condición externa aguas abajo del puente me altera el remanso y consecuentemente el nivel aguas abajo del mismo.

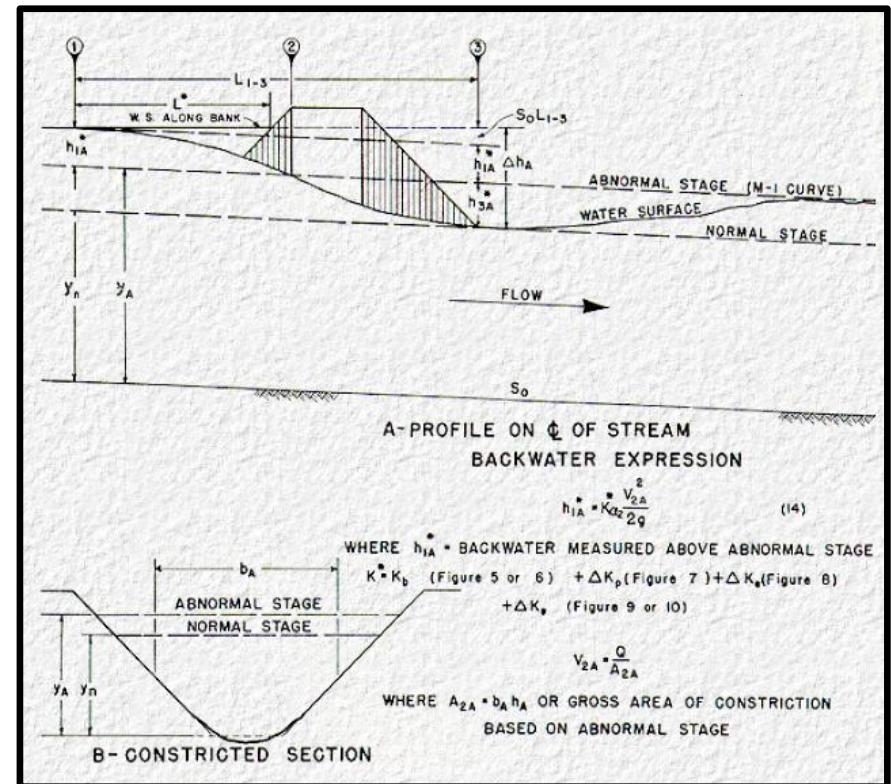


CONDICIONES ANORMALES DE RELACION CAUDAL – NIVEL

$$h_{1A}^* = K^* \cdot \frac{V_{2A}^2}{2g}$$

$$K^* = K_b + \Delta K_p + \Delta K_e + \Delta K_s$$

- ✓ La sección utilizada para el cálculo de V_{2A} , es diferente.
- ✓ El coeficiente K^* , no cambia, salvo que se alteren parámetros del puente.
- ✓ Si el nivel aguas abajo es mayor al normal , entonces:
 - Aumenta el tirante y_{2A}
 - Disminuye la velocidad V_{2A}
 - h_1^* disminuye respecto al caso normal





Escuela de Graduados de Ingeniería Hidráulica

SEMINARIO 2025

HIDRAULICA DE PUENTES

BIBLIOGRAFÍA

Hydraulics of Bridge Waterways – HDS1

Ven T. Chow

Evaluating Scour at Bridges.. FHWY ..Fifth Edition .

Evaluation of Existing Equations for Local Scour at Bridge Piers . D. M. Sheppard, A.M.ASCE; B. Melville, M.ASCE2; and H. Demir, M.ASCE3