UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DISEÑO EXPERIMENTAL Y CONSTRUCCIÓN DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA HIDRÁULICA

PRESENTA:
VÍCTOR GAMBOA GUIZA

DIRECTOR:
DR. FABIÁN RIVERA TREJO

DIRECTOR EXTERNO:
DR. GABRIEL SOTO CORTES
Universidad Autónoma Metropolitana

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
México.
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN

CUNDUACÁN, TABASCO. **SEPTIEMBRE 2015**

Scanned by CamScanner

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

OFICIO: DAIA/DIR/2469/15
FECHA: 24 de Septiembre de 2015
ASUNTO: Autorización de Impresión definitiva.

C. VÍCTOR GAMBOA GUIZA
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN
INGENIERÍA HIDRÁULICA
P R E S E N T E.

En virtud de haber elaborado su trabajo recepcional para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Hidráulica bajo la modalidad de "Tesis", el cual ha sido asesorado por el DR. JOSÉ GUADALUPE FABIÁN RIVERA TREJO Profesor Investigador de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura y el DR. GABRIEL SOTO CORTÉS Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Metropolitana denominado:

"DISEÑO EXPERIMENTAL Y CONSTRUCCIÓN DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA"

Tengo a bien autorizarle la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen de obtención de grado.

Sin otro particular por el momento, me despido deseándole éxito en su carrera profesional.

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN

ATENTAMENTE

DR. CANDELARIO BOLAINA TORRES
DIRECTOR

C.c.p. Archivo.
DR'CBT/M.I. JCRH/apl.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, Km. 1 Col. La Esmeralda, C.P. 86690
Tel. 3-50-15-00 ext. 6754
investigación.daia@ujat.mx Cunduacán, Tabasco.

DAIA

MEMORANDUM

DE: COMISIÓN REVISORA
ASUNTO: APROBACIÓN DE TESIS
FECHA: 21 DE SEPTIEMBRE DE 2015
CCP: ARCHIVO
MEM/MIH/002/15

PRESENTE

Una vez hecha la revisión detallada del Trabajo Recepcional denominado:

"DISEÑO EXPERIMENTAL Y CONSTRUCCIÓN DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA"

Desarrollado por el C. **ING. VÍCTOR GAMBOA GUIZA** de la **Maestría en Ingeniería Hidráulica** bajo la modalidad de "tesis" le comunicamos que aceptamos la impresión de dicho trabajo, ya que el mismo ha cumplido con los requisitos necesarios.

COMISION REVISORA

DR. RUBEN VÁSQUEZ LEÓN
Revisor

DR. JUAN BARAJAS FERNÁNDEZ
Revisor

DR. JOSÉ GUADALUPE FABIÁN RIVERA TREJO
Revisor

M.I.H. ENRIQUE CAMPOS CAMPOS
Revisor

DRA. LAURA LORENA DÍAZ FLORES
Revisor

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Asunto: **Carta de Autorización**

Por medio de este medio, tengo a bien conceder mi autorización para que la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco utilice tanto física como digitalmente la tesis de Grado de Maestría en Ingeniería Hidráulica titulada "Diseño experimental y construcción del muestreador BL-Grijalva" del cual soy autor y titular de los derechos de autor.

La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco podrá hacer uso de la tesis mencionada para propósitos educativos, de difusión sin fines de lucro; asimismo se autoriza para subirla a la Red abierta de Bibliotecas Digitales (RABID), o cualquier otra red académica que por conveniencia sea considerad por la Universidad.

Por lo anterior, la Universidad Autónoma Juárez de Tabasco queda liberada de cualquier reclamación legal que se pudiera llegara ejercer, relativa al uso y manipulación de dicha tesis para los fines ya estipulados en la presente.

Se firma la presente autorización a los 30 días del mes de octubre del 2015, en la ciudad de Cunduacán, Tabasco.

Autoriza

Ing. Víctor Gamboa Guiza

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Scanned by CamScanner

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Resumen

La medición de sedimentos en México no se realiza de manera continua, a pesar de que se cuenta con una gran cantidad de ríos. El objetivo de este trabajo fue construir un muestreador compuesto que optimizara los tiempos de muestreo de sedimentos de fondo. Esto debido a que cada día cobra mayor importancia los datos sedimentológicos; y en el caso particular de los sedimentos de fondo, estos son significativos en la mayoría de los ríos de planicie. El diseño del muestreador, partió del funcionamiento de los muestreadores Helley-Smith y la Botella Delft. Se propusieron dos arreglos apilados; uno en línea y otro excéntrico. Se llevaron a cabo modelaciones numéricas, con el software Comsol. El objetivo fue el de verificar las condiciones de flujo, velocidad y dirección, buscando que no existiera alteración en la medición de las corrientes. Se encontró que los arreglos propuestos se modelaban adecuadamente y no se presentaban inconsistencias o incongruencias numéricas. El siguiente paso fue la construcción y pruebas de campo. Encontrando que el muestreador apilado excéntrico resultó la mejor alternativa con mejor estabilidad y buena orientación a las líneas de corriente del rio. El diseño y construcción del muestreador, representa un área de oportunidad en el campo de medición de sedimentos de fondo, particularmente optimizando tiempos de muestreo.

ÍNDICE

Resumen 2
Lista de Tablas 5
Lista de Figuras 5
INTRODUCCIÓN 8

CAPITULO 1. EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS 10
1.2. La medición de sedimentos 15
1.3. Equipos existentes 18
1.4. Selección de equipos de medición 20
1.5. Necesidades actuales 25
1.6. Utilidad de los datos de sedimentos 26

CAPITULO 2. DISEÑO DEL MUESTREADOR 27
2.1. Diseño y características del muestreador BL-84 27
1.2. Muestreador de arrastre de fondo tipo Helley - Smith (H-S) 28
2.3. Configuración del muestreador BL-Grijalva 33

CAPITULO 3. SIMULACIÓN NUMÉRICA 35
3.1. Modelación hidrodinámica 35
3.2. Ecuaciones de gobierno 35
3.3. Simulación simple (un muestreador) 38
3.4. Simulación múltiple (2 o más muestreadores) 44

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

CAPITULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA 47
4.1. Consideraciones para la construcción del muestreador 47
4.2. Construcción del muestreador BL-Grijalva 50

CAPITULO 5. PRUEBAS Y RESULTADOS 56
5.1. Localización 56
5.2. Medición de la velocidad 57
5.3. Prueba No.1 del muestreador BL-Grijalva 61
5.4. Prueba No. 2 del Muestreador BL-Grijalva. 64

Comentarios 70
Conclusiones 71
Productos generados de esta investigación. 72
Agradecimientos 72

REFERENCIAS 73
Anexos 76
Anexo A 77
Anexo B 83
Anexo C 86
Anexo D 88

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Transporte de sedimentos (Fuente: Diplas et al., 2002)..... 11
Tabla 1.2 Clasificación de los sedimentos de acuerdo a su tamaño (Peters, 2005). 12
Tabla 1.3 Datos de sedimentos y su aplicación (Rivera et al, 2005)..... 14
Tabla 5.1 Especificaciones Técnicas de Molinete tipo hélice marca SIAP..... 58
Tabla 5.2 Velocidades obtenidas Prueba No.1 60
Tabla 5.3 Velocidades obtenidas prueba No.2..... 65
Tabla 5.4 Matriz de Pruebas 66
Tabla 5.5 Resultados obtenidos en prueba No.2 68

Lista de Figuras

Figura 1.1 Esquema de las formas de transporte de los sedimentos..... 11
Figura 1.2 Mecanismos de transporte de sedimentos (ISO 4363, 2002). 13
Figura 1.3 Principio de medición isocinética. Velocidad a la entrada del muestreador idéntica a la del flujo (Fuente: Thomas, 1999) 16
Figura 1.4 Muestreador Helley Smith para arenas y gravas (Helley and Smith, 1971). .. 18
Figura 1.5 Diferentes tipos de muestreadores (Rivera et al, 2005) 19
Figura 1.6 Diagrama de flujo para la selección del muestreador de sedimentos en suspensión (Fuente: Broderick, 2005). 21
Figura 1.7 Diagrama de flujo para seleccionar muestreador para sedimentos de fondo (Fuente: Broderick, 2005) 21
Figura 1.8 Muestreadores de fondo de tipo puntual: (a) Botella Delft para fracción de fondo en suspensión, (b) BL-84 para sedimento de fondo por vadeo y (c) Helley-Smith 22
Figura 1.9 Distribución de verticales para el muestreo y aforo de carga de fondo. 23
Figura 1.10 Bolsa para sedimentos para muestreador Helley Smith..... 24
Figura 1.11 Zona de muestreo de fondo de 0 a 0.5m 25
Figura 2.1 Zonas con medición y zonas sin medición de sedimentos..... 27
Figura 2.2 Muestreador Helley-Smith para uso son mano (izquierda) y muestreador Helley-Smith para uso con grúa (derecha..... 29

Figura 2.3 Muestreador Helley Smith con bolsa recolector apara sedimentos..... 29
Figura 2.4 Dimensiones del muestreador BL-84. (Dibujo adaptado de SEDIMENT-TRAPPING CHARACTERISTICS OF THE HELLEY-SMITH BEDLOAD SAMPLER) (Emmet, 1980). 30
Figura 2.5 Muestreador Helley Smith..... 31
Figura 2.6 Boquilla de muestreador Helley Smith con bolsa para sedimentos..... 31
Figura 2.7 Botella Delft 32
Figura 2.8 Propuesta de arreglo de boquillas para la construcción del muestrador BL-Grijalva, inciso (a) primera propuesta apilado vertical, Inciso (b) segunda propuesta apilado excéntrico. 34
Figura 3.1 Corte longitudinal de la boquilla del muestreador en el fondo del canal..... 39
Figura 3.2 Generación de malla para discretización y solución numérica. 40
Figura 3.3 Simulación de un solo muestreador en el canal..... 41
Figura 3.4 Análisis de los diferentes ejes de estudio en el modelo matemático para conocer las zonas de influencia. 42
Figura 3.5 Grafico donde se muestran las velocidades del agua en el eje horizontal y el eje vertical y el eje vertical posterior a al entraba de del muestreador. 43
Figura 3.6 Corte longitudinal para la simulación con 3 muestreadores colocados verticalmente a 1 cm de distancia entre sí. 44
Figura 3.7 Simulación de 3 muestreadores colocados paralelamente con 1 cm de distancia entre sí. 45
Figura 3.8 Perfil de velocidades sobre el eje 1, 2 y 3 de la Figura 26. 46
Figura 3.9 Perfil de velocidades sobre los ejes a y b de la Figura 26..... 46
Figura 4.1 Dibujo en AutoCAD del diseño del muestreador propuesto. 47
Figura 4.2 Buje para sujeción de varillas del muestreador BL-Grijalva 48
Figura 4.3 Propuesta de sujeción articulada de los contrapesos 49
Figura 4.4 Varilla para sujeción de la bolsa de sedimentos y aleta estabilizadora. 50
Figura 4.5 Trazado y corte de plantillas para fabricación de boquillas 52
Figura 4.6 Rectificado de medidas de plantillas. 52
Figura 4.7 Pre-armado y aplicación de soldadura TIG 52

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 4.8 Fabricación de brazos para boquillas y estructura principal para sujeción de boquillas y contrapesos. 53
Figura 4.9 Fabricación de contrapesos, aletas estabilizadoras y orejas para sujeción. 53
Figura 4.10 Conjunto de varilla principal, brazo y boquilla (lado izquierdo) y estructura principal con contrapesos (lado derecho). 53
Figura 4.11 Muestreador Bl-Grijalva 54
Figura 4.12 Parte posterior del muestreador Bl-Grijalva 55
Figura 5.1 Localización del punto de prueba del muestreador BL-Grijalva 56
Figura 5.2 Esquema del puente tubular donde se realizó la prueba del muestreador BL-Grijalva..... 57
Figura 5.3 Arreglo compuesto por molinete, escandallo y sensor de fondo. 57
Figura 5.4 Esquematización del método de tres puntos..... 59
Figura 5.5 Perfil de velocidad prueba No.1 60
Figura 5.6 a) muestreador BL-Grijalva y b) alineación a la corriente..... 61
Figura 5.7 Turbulencia generada por el bastidor de geometría cuadrada 62
Figura 5.8 Muestreador BL-Grijalva con 2 boquillas 63
Figura 5.9 Fabricación de travesaño para el bastidor de geometría redonda. 63
Figura 5.10 Fabricación de contrapesos de mayores dimensiones..... 64
Figura 5.11 Armado del molinete con escandallo y sensor de fondo. 65
Figura 5.12 Perfil de velocidad prueba No.2 65
Figura 5.13 Prueba comparativa del bastidor con los travesaños de diferente geometría. 67
Figura 5.14 Inmersión del bastidor y contrapesos con travesaños de diferente geometría 69
Figura 5.15 Prueba No. 2 del muestrador y el montaje de boquillas. 69

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

INTRODUCCIÓN

Los ríos representan los principales sistemas naturales de drenaje de la corteza terrestre. Por ellos circulan las aguas superficiales las cuales contienen una gran cantidad de sedimentos y de nutrientes procedentes del proceso de erosión en las laderas y arrastre por los cauces que configuran su cuenca de aportación. Debido a su naturaleza, durante su recorrido hacia el mar, los ríos son receptores y transmisores de gran cantidad de materia y energía. Por esta razón, estos ecosistemas acuáticos influyen en la topografía y geomorfología del planeta. En particular, los sedimentos juegan un papel activo en la remodelación de los valles y llanuras, debido a que se van erosionando y, luego son depositados a lo largo y ancho de los cauces y planicies de inundación.

Los sedimentos son partículas pequeñas y, en algunos casos microscópicos, de suelo y roca las cuales son arrastradas y transportadas por una corriente de agua (Maza *et al.*, 1996). Los ríos desencadenan la erosión en sus lechos y en algunos casos en sus valles. Además, son el medio de transporte pues en algunos casos trasladan los sedimentos a grandes distancias hasta aquellas zonas donde las características hidráulicas hacen que parte de los sedimentos se depositen. De esta manera cambian las características hidráulicas producidas por la formación de barras, abanicos aluviales y deltas entre otros (Adams *et al.,* 1998).

Entender el funcionamiento de un sistema fluvial, implica el conocimiento de sus variables hidráulicas y sedimentológicas. Teniéndose en la actualidad una serie de equipos de medición y muestreadores desarrollados con tal fin.

En el caso particular de los sedimentos, los primeros muestreadores o equipos para detectarlos, carecían de un proceso de calibración adecuado. Esto originó que se desarrollaran diferentes técnicas de operación (Hubbell, 1964). Es importante mencionar que los primeros intentos para diseñar equipos de muestreo de sedimentos, se realizaron por investigadores de forma independiente y para casos específicos. La mayoría de estos instrumentos fueron construidos con escaso

conocimiento de los mecanismos de transporte de sedimentos, por lo que se limitaron a la generación de conceptos de transporte de sedimentos locales. Debido a esto, se considera que los datos obtenidos antes de la década de 1940, no son homogéneos ni comparables, por lo que no se puede validar su exactitud. Por lo tanto, se hizo evidente que los datos dependían de las características de los equipos utilizados, por lo que estos debían ser estandarizados (Diplas, 1992).

El transporte de sedimentos es de varios tipos, pudiendo clasificarse de manera general en transporte de sedimentos en suspensión y de fondo. Cada uno de estos mecanismos emplea distintas técnicas y equipos de medición. En el caso en particular de este trabajo se estaba interesado en la medición del transporte de sedimentos de fondo, por lo que el transporte en suspensión solo es explicado brevemente.

En la actualidad, existen en el mercado diferentes tipos de muestreadores para la medición de sedimentos de fondo; no obstante, presentan el inconveniente de trabajar en forma independiente lo que, en consecuencia, implica tiempos de muestreo considerables (8 a 10 horas). El objetivo de este estudio fue construir un muestreador compuesto que permitiera la optimización y reducción de estos tiempos. El diseño de este tipo de muestreador se piensa será de utilidad para los interesados en la recolección de muestras para aforo de sedimentos de fondo en ríos con alta carga de arenas, como son la mayoría de los ríos de planicie.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

CAPITULO 1. EL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

9

El transporte de sedimentos por un río puede clasificarse atendiendo a dos criterios: 1) el modo de transporte; y 2) el origen del material. Según el modo de transporte, el sedimento puede ser transportado en suspensión, sostenido por la turbulencia del flujo; o bien por el fondo, rodando, deslizándose o saltando como se muestra en la figura 1.1. En el segundo criterio, el material transportado es característico de la cuenca hidrográfica aportadora del río. Evidentemente todo el material del cauce tiene su origen en su cuenca, esta noción lleva a observar que el transporte de sedimento se reparte en dos mecanismos de transporte en general: transporte en suspensión y transporte de fondo (Vide, 2003). En este trabajo se abordan los mecanismos de transporte de sedimentos de fondo y sus técnicas de medición.

Los ríos son un componente importante en la formación del paisaje; desencadenan la erosión en sus lechos y en algunos casos en sus valles; además, son medios de transporte, pues en algunos casos trasladan los sedimentos a grandes distancias hasta aquellas zonas donde las características hidráulicas hacen que parte de los sedimentos se depositen cambiando, a su vez, las características hidráulicas producidas por la formación de barras, abanicos aluviales y deltas entre otros (Adams *et al.,* 1998).

En la figura 1.1, se muestran los principales procesos de transporte de sedimentos; mientras que en la Tabla 1.1, se resumen el tipo de muestreo necesario, considerados por su origen, por su forma de transporte y por el método de muestreo

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

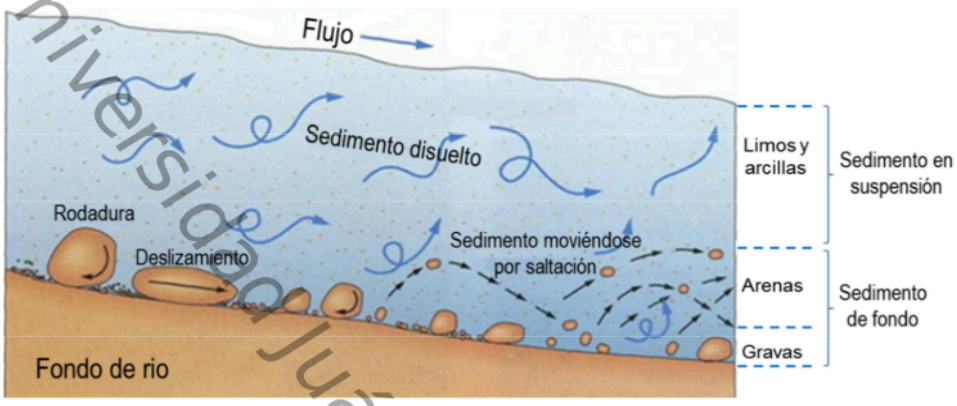


Figura 1.1 Esquema de las formas de transporte de los sedimentos

Tabla 1.1 Transporte de sedimentos (Fuente: Diplas *et al*., 2002)

Transporte total de sedimentos		
Origen	**Forma de trasporte**	**Método de muestreo**
Sedimento en suspensión	Flotación	Carga suspendida
		Ambas cargas
Sedimento de fondo	Saltación	Carga de Fondo
	Rodadura	
	Deslizamiento	

La erosión, el transporte y la sedimentación de las partículas sólidas dependen de varios factores: su dimensión, su densidad y su forma. La composición mineralógica es otro factor importante en el comportamiento de los sólidos en contacto la forma de

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

fondo y las paredes del rio, ya que también dependerá de la resistencia que estas ofrezcan para el arrastre de sedimentos. De acuerdo al contexto geomorfológico y composición del sólido substancias disueltas, existe una clasificación estándar para el tamaño de las partículas la cual se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Clasificación de los sedimentos de acuerdo a su tamaño (Peters, 2005).

Dimensiones de las partículas			Número de aberturas en el tamiz, por pulgada			
Milímetros	Milímetros	Micrones	Tyler	Estándar U.S.A.		Categoría
4000 - 2000						piedra redondeada muy grande
2000 - 1000						piedra redondeada grande
1000 - 500						piedra redondeada mediana
500 - 250						piedra redondeada pequeña
250 - 130					Material granular	canto rodado grande
130 - 64						canto rodado pequeño
64 - 32						grava muy gruesa
32 - 16						grava gruesa
16 - 8			2 1/2			grava mediana
8 - 4			5	5		grava fina
4 - 2			9	10		grava muy fina
2 - 1	2.00 - 1.00	2000 - 1000	16	18		arena muy gruesa
1 - 1/2	1.00 - 0.50	1000 - 500	32	35		arena gruesa
1/2 - 1/4	0.50 - 0.25	500 - 250	60	60		arena mediana
1/4 - 1/8	0.25 - 0.125	250 - 125	115	120		arena fina
1/8 - 1/16	0.125 - 0.062	125 - 62	250	230		arena muy fina
1/16 - 1/32	0.062 - 0.031	62 - 31				limo grueso
1/32 - 1/64	0.031 - 0.016	31 - 16				limo mediano
1/64 - 1/128	0.016 - 0.008	16 - 8				limo fino
1/128 - 1/256	0.008 - 0.004	8 - 4				limo muy fino
1/256 - 1/512	0.004 - 0.0020	4 - 2				arcilla gruesa
1/512 - 1/1024	0.0020 - 0.0010	2 - 1				arcilla mediana
1/1024 - 1/2048	0.0010 - 0.0005	1 - 0.5				arcilla fina
1/2048 - 1/4096	0.0005 - 0.00024	0.5 - 0.24				arcilla muy fina

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

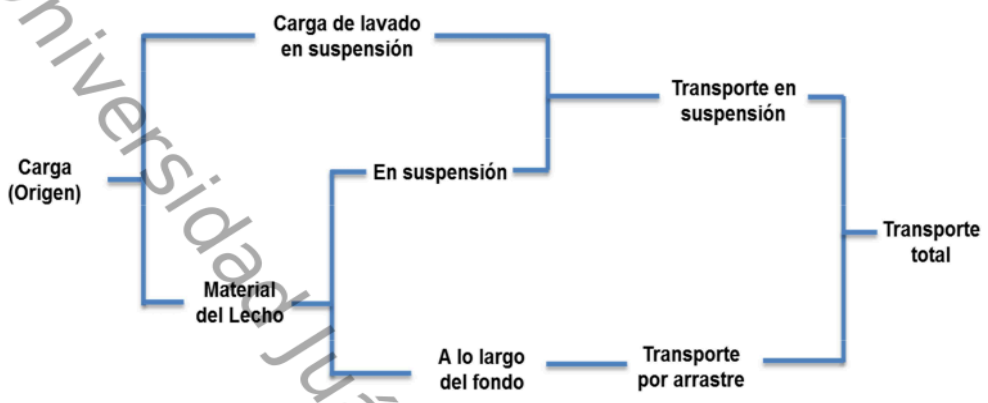


Figura 1.2 Mecanismos de transporte de sedimentos (ISO 4363, 2002).

La norma ISO 4363 (2002), presenta una clasificación de cargas y modos de transporte del sedimento (figura 1.2). Algunos estudios muestran que esta clasificación no se cumple en todos los ríos, particularmente en los ríos arenosos (Peters, 2005, Rivera, 2008).

Hasta finales del siglo XX, los ingenieros desarrollaron proyectos hidráulicos y de manejo de sistemas fluviales, poniendo poca importancia a la ecología y preservación de sistemas naturales. Sin embargo, a partir de los años ochenta, el tema de la ecología empezó a ganar importancia, aunado al presencia de varias catástrofes (Peters, 2005). Fue a partir de los desastres, especialmente las inundaciones, que se empezó a hacer conciencia sobre la importancia que los procesos fluviales y el rol que cumplen los sedimentos en los procesos naturales. Resultando que la falta de entendimiento y conocimiento de estos procesos se traduce en altos costos para la sociedad, debido a los daños producidos durante el desarrollo de una inundación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Cada proyecto de manejo de sistemas hídricos requiere un diagnostico potamológico, fundado en observaciones y mediciones. Debido a la falta de conocimiento, resulta difícil convencer a los tomadores de decisiones del valor de los datos sedimentológicos y su aplicación para obtener un buen diagnóstico fluvial. En la Tabla 1.3 se muestra un concentrado de la aplicación de los datos sedimentológicos según su tipo de mecanismo de transporte.

Tabla 1.3 Datos de sedimentos y su aplicación (Rivera et al, 2005)

Dato de sedimento	Aplicación
En suspensión	Aprovechamientos
En suspensión y de arrastre de fondo	Estudio de balance de carga de sedimentos
En suspensión y de arrastre de fondo	Estudios de morfología
En suspensión y de muestreo de material de fondo	Estudios Ambientales
En suspensión	Estabilidad de cauces

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

1.2. La medición de sedimentos

En un principio, los primeros muestreadores diseñados y construidos fueron del tipo "canasta". Estos muestreadores retenían los sedimentos por cribado proveniente de la corriente, pero también provocaba una reducción de la velocidad del flujo dentro del muestreador, lo que alteraba la medición (Hubbell, 1964). El tamaño mínimo de la partícula retenida estaba directamente determinado por el tamaño de la apertura de la malla de cribado, lo que en muchas ocasiones no era propio para la retención de arenas. Estos muestreadores tipo canasta tenían gran capacidad para retención de sedimentos, pero su diseñados solo permitía el atrapamiento de partículas de material grueso.

Años después se diseñaron los muestreadores que funcionan por presión diferencial, tratando que la velocidad de entrada y condiciones de flujo en la boquilla del muestreador no se alterará (muestreadores isocinéticos). Esto se logró construyendo una boquilla del muestreador, la cual divergía hacia la parte posterior o salida del muestreador. Esto originaba una caída de presión a la salida del mismo, lo que significa que el agua y las partículas que entren a él, tienen una velocidad igual a la de la corriente; es decir, el aparato no tiene efectos significativos sobre el flujo, tales como reducción de la velocidad o desviación de la trayectoria de las líneas de flujo y de las partículas sólidas, tal como se muestra en la figura 1.3.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

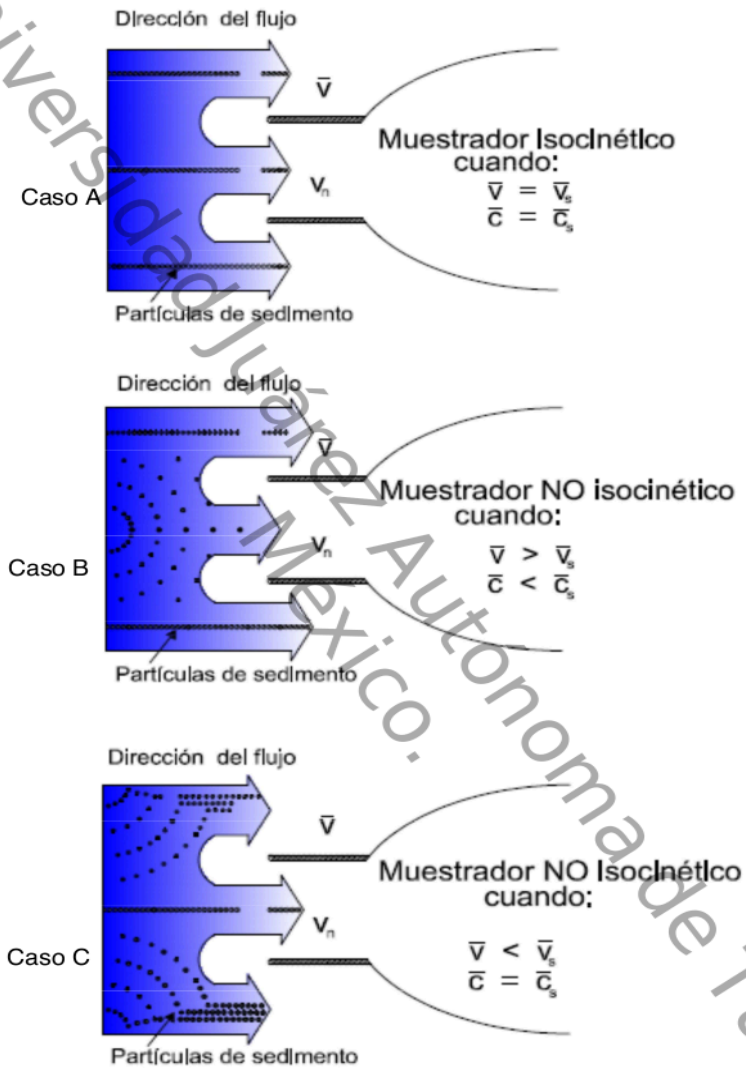


Figura 1.3 Principio de medición isocinética. Velocidad a la entrada del muestreador idéntica a la del flujo (Fuente: Thomas, 1999)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Donde V es la velocidad media de la corriente, V_n es la velocidad en la entrada del muestreador, C es la concentración media de sedimentos en la muestra y C_s es la concentración de sedimentos en la entrada del muestreador. Como se aprecia en la figura, para lograr una medición isocinética se debe tener una velocidad en la entrada de muestreador idéntica a la velocidad media del flujo (caso A), con esto se asegura que la concentración de sedimentos en el muestreador sea la misma concentración de sedimentos en el flujo. Si la velocidad media en el flujo es mayor que la velocidad en la entrada del muestreador (caso B), la concentración de sedimentos obtenida será mayor que la existente en la corriente. Una velocidad media del flujo menor que la velocidad a la entrada del muestreador (caso C), se reflejará en una toma menor concentración de sedimentos en el muestreador con respecto a la existente en la corriente (Thomas *et al*, 1999).

Uno de los muestreadores de este tipo, es el muestreador Helley Smith, el cual ha demostrado ser un dispositivo popular hoy en día (Mathias, 2003). Su diseño fue originalmente para su uso en ríos con fondo de arena (Hubbell, 1964) y años después para arena y gravas (Helley and Smith, 1971) figura 1.4.

Aunque en la mayoría de los ríos, la fracción de sedimentos en suspensión suele ser la más significativa, en México no es del todo cierto pues se han reportado casos donde la carga de arena es mayor a la carga en suspensión (Rivera *et al*, 2005). Estudios recientes realizados por la Universidad Juárez Autónoma Tabasco demuestran que los datos sedimentológicos son de gran utilidad para el estudio de la sedimentación, movimiento de márgenes, caracterización fluvimorfológica o aprovechamientos hidráulicos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

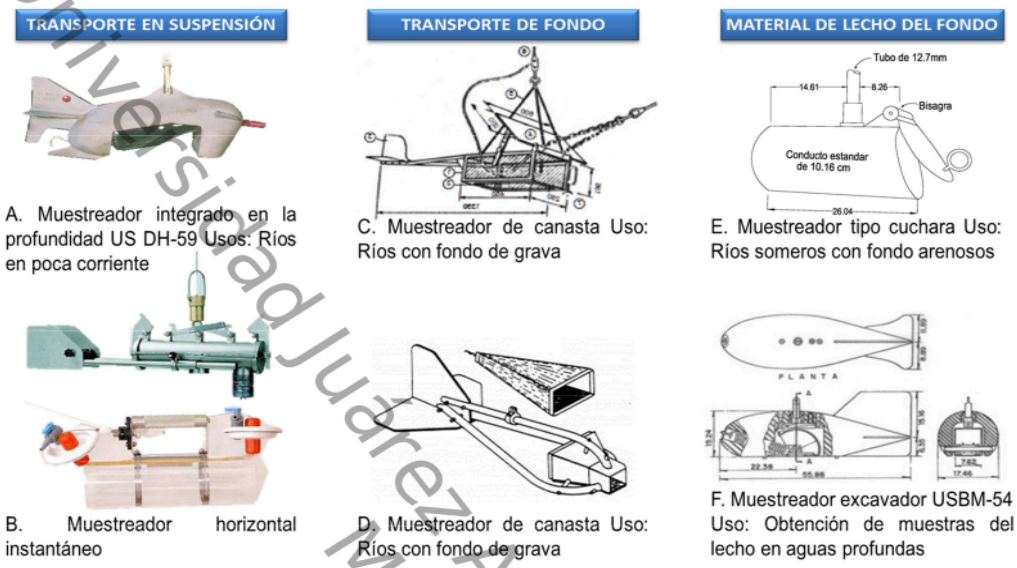
Figura 1.4 Muestreador Helley Smith para arenas y gravas (Helley and Smith, 1971).

1.3. Equipos existentes

Debido al tipo de mecanismos de transporte, no es posible encontrar un instrumento que permita la determinación directa de la cantidad de global de sedimentos que pueden ser acarreados por un rio. La cantidad de material transportado suele ser expresada en volumen (m^3) o en caudal sólido (m^3/s). En la figura 1.5 se muestran de manera esquemática algunos de los aparatos existentes para la toma de muestras de sedimentos en un río, dependiendo del mecanismo de transporte.

La estimación de la cantidad de sedimentos, se puede hacer por medio de medición directa a través de muestreadores mecánicos. Los muestreadores capturan la cantidad en volumen o en peso de sedimentos que pasan a través de una sección transversal dada, durante un tiempo determinado de muestreo. La cantidad retenida de sólidos en los muestreadores es asociada a un caudal sólido, por lo general en un período corto de tiempo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México



A. Muestreador integrado en la profundidad US DH-59 Usos: Ríos en poca corriente

C. Muestreador de canasta Uso: Ríos con fondo de grava

E. Muestreador tipo cuchara Uso: Ríos someros con fondo arenosos

B. Muestreador horizontal instantáneo

D. Muestreador de canasta Uso: Ríos con fondo de grava

F. Muestreador excavador USBM-54 Uso: Obtención de muestras del lecho en aguas profundas

Figura 1.5 Diferentes tipos de muestreadores (Rivera *et al,* 2005)

En el caso de la concentración de sólidos en suspensión, esta se determina en laboratorio y se multiplicada por la velocidad media del flujo medida en el mismo punto de muestreo. Con esta información se estima el caudal de sólidos por medio de la siguiente ecuación:

$$qs = \int_0^H \bar{u}\bar{c}\, dz \qquad (1)$$

Dónde:

z = dirección normal al fondo [L]
$\bar{u}$ = velocidad promedio del flujo [L/T]
$\bar{c}$ = concentración local promedio de sedimento [L]
H = profundidad [L]
q_s = volumen transportado de sedimentos por unidad de ancho [L^2/T]

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En este proceso, se supone que las partículas sólidas se mueven a la misma velocidad que el flujo. (Peters, 2003).

Otros métodos de medición son los llamados indirectos. Estos se basan en indicadores o parámetros que están estrechamente correlacionados con la concentración de sedimentos (por ejemplo, con la absorción o la dispersión de la luz, con acústica olas, con láser, etc.). Los medidores acústicos Doppler o ADCP's (Broad-Band acústica actual Profiler) son equipos de tecnología reciente, que realizan las mediciones de flujo usando el efecto Doppler de señales ultrasónicas. A partir de estas señales es posible cuantificar la concentración de sedimentos en suspensión (Szupiany *et al*, 2014). Las técnicas indirectas están fuera del alcance de este trabajo.

1.4. Selección de equipos de medición

Como se mencionó anteriormente, en el mercado se cuenta con diversos procedimientos y equipos para la medición de sedimentos transportados por las corrientes. Estos dependen de las características de los ríos y el material transportado.

A continuación se muestra un diagrama de basado en el tipo de muestreo que se desea hacer. Las categorías de tipo de muestreo son: Muestreo de sedimentos suspendidos figura 1.6, y Muestreo de sedimento de fondo figura 1.7.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

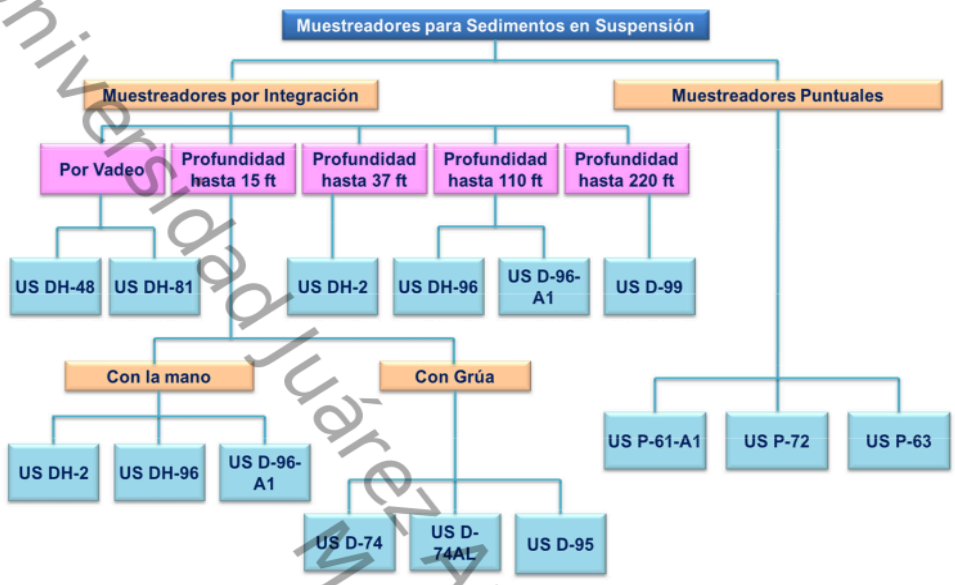


Figura 1.6 Diagrama de flujo para la selección del muestreador de sedimentos en suspensión (Fuente: Broderick, 2005).

Figura 1.7 Diagrama de flujo para seleccionar muestreador para sedimentos de fondo (Fuente: Broderick, 2005)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

El proceso de selección del muestreador se basa en las características del cauce, principalmente en la profundidad y velocidad de la corriente. Así se han desarrollado muestreadores de diferentes pesos y formas de utilizarse. Ya sea por medio manual o empleando grúas.

En el caso particular de este trabajo, se emplearon muestreadores de fondo de distintos pesos y de tipo puntual. Su principio de operación permite determinar la carga de fondo a través de mediciones sucesivas en la vertical cerca del fondo y de manera transversal al río como se muestra en la figura 1.8.

Entre los muestreadores de fondo más populares por su eficiencia, se encuentran: la Botella Delft DB-1(Figura 1.8a), el muestreador BL-84 (Figura 1.8b) y el muestreador Helley Smith (Figura 1.8c), este último presentando una eficiencia cercana al 90% (Emmet, 1999).

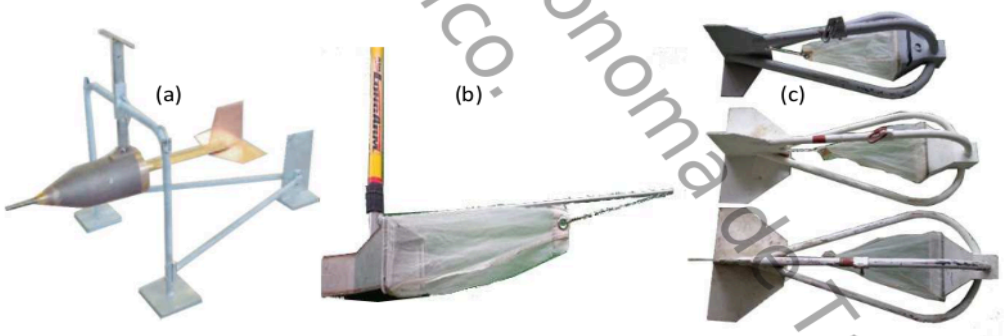


Figura 1.8 Muestreadores de fondo de tipo puntual: (a) Botella Delft para fracción de fondo en suspensión, (b) BL-84 para sedimento de fondo por vadeo y (c) Helley-Smith

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

El muestreador tipo botella Delf con arnés permite la medición del transporte de sedimentos en suspensión cerca del fondo a elevaciones exactas sobre el fondo, usualmente cada 10 centímetros hasta medio metro.

En el caso de la botella Delft BD-1, este equipo recolecta muestras de sedimentos en la vertical transportados cerca del fondo, a profundidades de 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 y 0.50 metros del lecho del cauce (figura 1.9), con un tiempo de medición en cada punto del orden de minutos. A partir de estas muestras se determinan de manera directa el gasto sólido cerca del fondo (Soto Cortés *et al.*, 2012).

Por su parte los muestreadores BL-84 y Helley-Smith, funcionan por el principio de retención de material (figura 1.9, generalmente arena o grava en una bolsa o malla (Rivera *et al*, 2008). El equipo se baja en el punto de muestreo y se le da un tiempo de medición de entre 2 y 4 minutos, dependiendo de la cantidad de material transportado, buscando que la bolsa no se llene más allá de tres cuartas partes de su capacidad (figura 1.10) para que no altere el mecanismo de transporte.

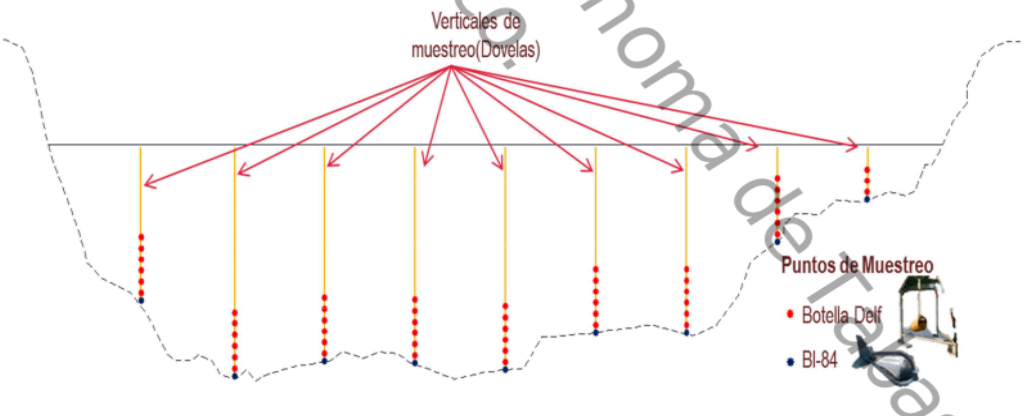


Figura 1.9 Distribución de verticales para el muestreo y aforo de carga de fondo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 1.10 Bolsa para sedimentos para muestreador Helley Smith

Este procedimiento se repite al menos tres veces en cada punto de muestreo. Además de su alta eficiencia, el muestreador Helley-Smith presenta cualidades muy importantes: es un equipo de fácil operación en campo, cuenta con una calibración basada a la fecha en más de 10 mil muestras (ENCORA, 2012). Es a partir de estas características, que resulta atractiva la idea de plantear una variante en el diseño que permita ampliar la zona de medición, que actualmente es de entre 0.05 y 0.08m, hasta llegar a una franja de 0.5m. Esto permitiría reducir los tiempos de muestreo (figura 1.11). Lo anterior, de lograse, significará una innovación en el mercado de muestreadores (Soto Cortés *et al.*, 2012) con una reducción importante de los costos asociados a las campañas de medición.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

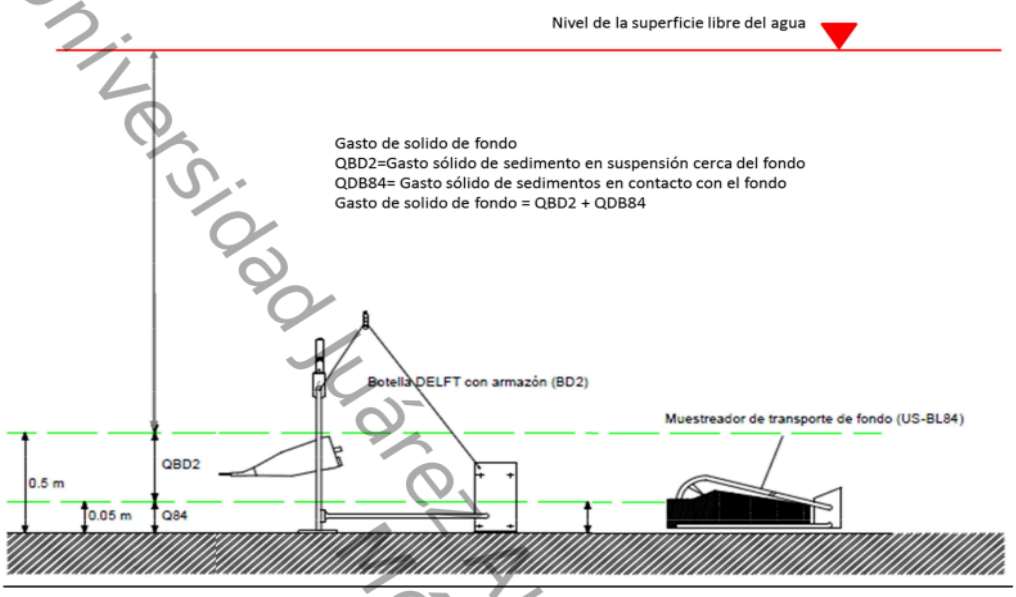


Figura 1.11 Zona de muestreo de fondo de 0 a 0.5m

1.5. Necesidades actuales

En México existen una gran cantidad de ríos, con un rango muy amplio en sus dimensiones y características hidrológicas. Se cuentan con 2,320 sitios de medición. La mayoría de ellos no cuentan con información de medición de sedimentos (CONAGUA, 2010). Solo dos instituciones realizan mediciones de sedimentos de manera rutinaria: la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la Comisión Nacional de Electricidad (CFE). A la fecha cuentan con datos de medición de sedimentos en 471 estaciones hidrométricas; es decir, aproximadamente en un 20 % de las estaciones hidrométricas totales. Esto se debe principalmente al alto costo de los muestreadores, y a la falta de personal capacitado.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En general, la medición de sedimentos en México no se ha venido realizando de manera continua, a pesar de que se cuenta con una gran cantidad de ríos. Por lo que existe una gran necesidad, de que las instituciones actualicen sus procedimientos e incluyan metodologías para la medición de sedimentos (Val, 2009).

Desconocer los procesos fluviales y el papel que juega en estos el sedimento resulta en costos altos para la comunidad, por los daños producidos a la infraestructura fluvial, Cada proyecto de manejo de sistemas hídricos requiere un diagnostico potamológico, fundado en observaciones y mediciones, En muchos países existen programas y redes para medir parámetros hidrológicos; sin embargo, muchos bancos de datos no sirven o no se utilizan bien para evaluar los impactos ecológicos (en sentido amplio); Por lo que no sirve para nada medir, si no se saben aplicar los datos. (Peters, 2005).

1.6. Utilidad de los datos de sedimentos

La experiencia dice que algunas fórmulas para estimar el transporte de sedimentos, cumplen mejor que otras, siempre y cuando existan mediciones contra cuales comparar. Las fórmulas calculan la capacidad de transporte que tiene el río de transportar sedimentos; sin embargo, no se sabe si el río tiene la cantidad de sedimentos para ser transportados (disponibilidad de sedimentos). La única manera de elegir una fórmula conveniente para un estudio fluvial, es a partir de buenas mediciones de transporte sólido (Rivera, 2011). Por lo que proponer un nuevo muestreador que mejores los procesos, permitirá hacer de los procesos de medición una tarea más efectiva y menos costosa.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

CAPITULO 2. DISEÑO DEL MUESTREADOR

2.1. Diseño y características del muestreador BL-84

En la medición del material que viaja en el fondo, la mayoría de los muestreadores funcionan con el principio básico de "gasto sólido" tipo cajón, trampa o diferencia de presión. En México como en muchos países, existe una confusión entre la medición del transporte por arrastre de fondo y el muestreo de fondo, ya que el material sacado directamente del lecho del cauce, no corresponde necesariamente al material transportado en el fondo por el flujo. El transporte total de sedimentos, considera a los sedimentos de suspensión, más que a los sedimentos de fondo; sin embargo, debido al diseño de los muestreadores para carga en suspensión y los de fondo, existe una zona cerca del fondo donde generalmente no se toman muestras (figura 2.1). Sin embargo, se pueden hacer combinaciones y diseñar estrategias para medir la fracción arenosa de la carga en suspensión en la zona donde no pueden operar los muestreadores convencionales en la zona sin medición (García Flores *et al*, 1998; Peters, 1998).

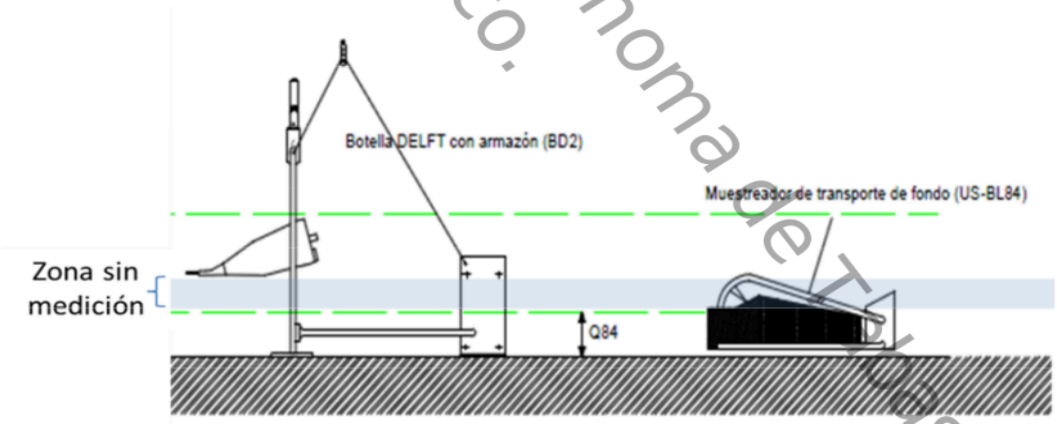


Figura 2.1 Zonas con medición y zonas sin medición de sedimentos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Tradicionalmente la carga de sedimentos que se mide, depende del tipo de río y de la capacidad técnica del servicio hidrológico encargado de llevarla a cabo. Así, por ejemplo en ríos con carga principalmente de lavado, la medición con muestreadores sencillos (tipo botella) es apropiada. En ríos con lechos arenosos, la carga en suspensión cerca del lecho y el transporte de arrastre de fondo, no se miden de manera rutinaria. Esto se debe a que la medición del transporte en suspensión de la fracción arenosa y de arrastre de fondo resulta complejo, aunado a un desconocimiento de los mecanismos presentes y la importancia de estos datos en el diseño de obras. A continuación se describen los muestreadores que presentan mejores características para el muestreo de fondo y de los cuales surgió la adecuación del muestreador desarrollado.

1.2. Muestreador de arrastre de fondo tipo Helley - Smith (H-S)

Este tipo de muestreadores son empleados en la medición de la carga de material acarreada en el fondo. Se diseñó para medir el transporte por arrastre de fondo. Su funcionamiento es por medio de retención de material generalmente arena o grava en una bolsa o malla. Su principio de operación se basa en la diferencia de presión, por lo que se considera un dispositivo del tipo isocinético. Se compone de un marco metálico concebido especialmente para permitir un aterrizaje sobre el lecho, sin embargo, debe ser suspendido de tal forma que la parte trasera del aparato se pose primero en el fondo, de tal manera que la parte delantera no remueva material del fondo. La eficiencia del aparato se ha probado en laboratorio, llegando casi al 90% (Emmet, 1999).

Dependiendo de las condiciones de la corriente se consideran distintas versiones del muestreador, donde la diferencia básica es el peso, teniéndose: a) de mano y b) de 20lb (8020); 40 lb (8040) y 65 lb (8065). Véase figura 2.2.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

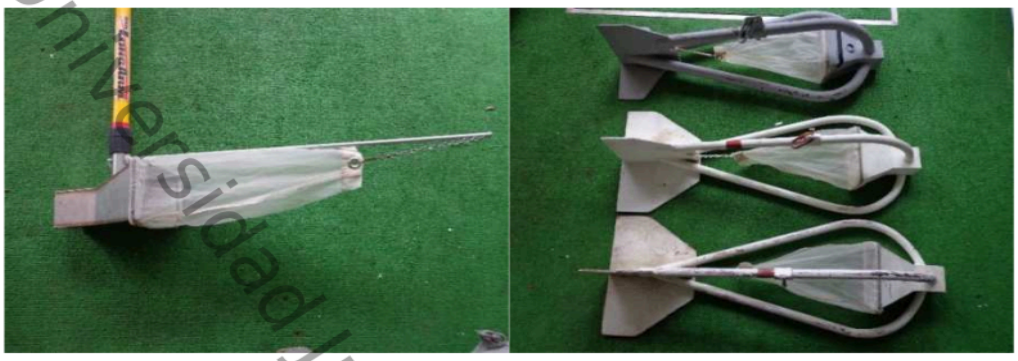


Figura 2.2 Muestreador Helley-Smith para uso son mano (izquierda) y muestreador Helley-Smith para uso con grúa (derecha

El diseño del muestreador permite la recolección de partículas de un tamaño de hasta 1.5 pulgadas en promedio, con velocidades de hasta 10 pies/s. El muestreador tiene una boquilla de entrada 3 x 3 pulgadas y una expansión con una relación (relación de expansión de la boquilla de salida con la boquilla de entrada) de 1.40 (Figura 2.3).

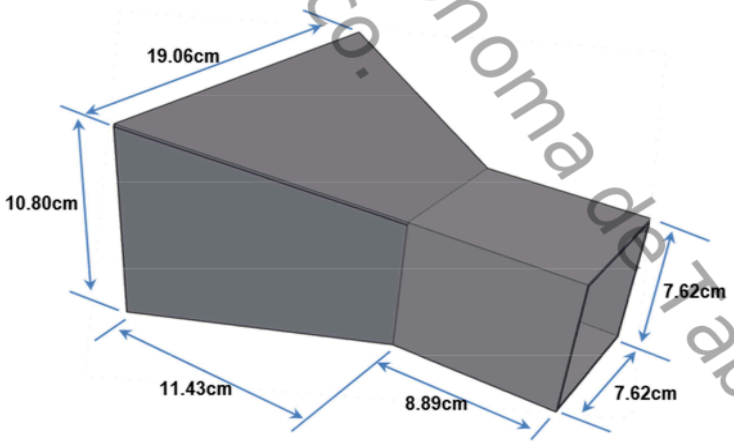
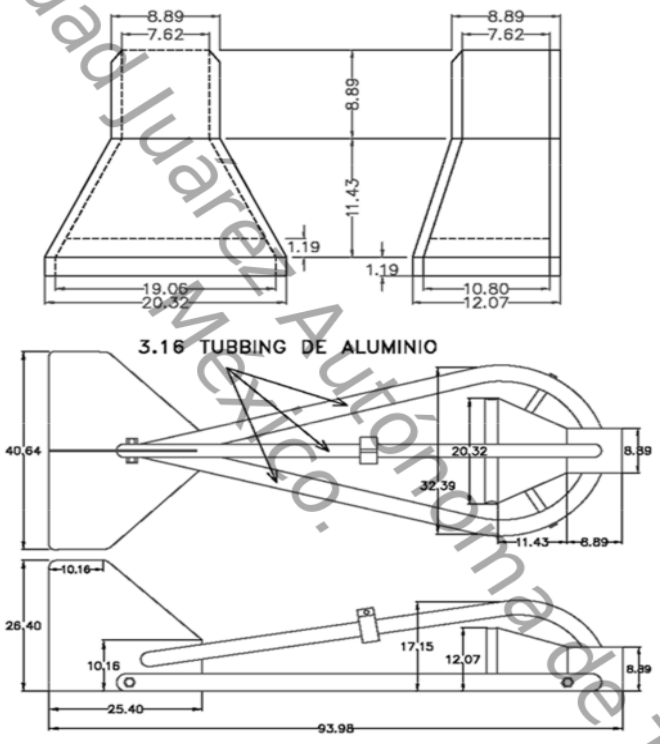


Figura 2.3 Muestreador Helley Smith con bolsa recolector apara sedimentos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

El muestrador H-S está construido de acero inoxidable o aluminio, y está equipado con aletas estabilizadoras en la parte posterior, tiene 36 pulgadas de largo por 15 pulgadas de ancho figura 2.4. El muestreador se suspende para ser bajado en un río o arroyo, ya sea desde una lancha figura 2.5a o por medio de un cable de acero y una grúa con carrete desde un puente figura 2.6b.



DIBUJO DEL MUESTREADOR HELLEY SMITH

Todas las medidas están en centimetros

Figura 2.4 Dimensiones del muestreador BL-84. (Dibujo adaptado de SEDIMENT-TRAPPING CHARACTERISTICS OF THE HELLEY-SMITH BEDLOAD SAMPLER) (Emmet, 1980).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

(a) (b)

Figura 2.5 Muestreador Helley Smith

El muestreador utiliza una malla bolsa de muestra con capacidad volumétrica de 295 in^2 de poliéster, con 18 pulgadas de largo con aberturas de variables. La bolsa está unida a la parte trasera del conjunto de boquilla con un anillo de goma (Figura 2.6).

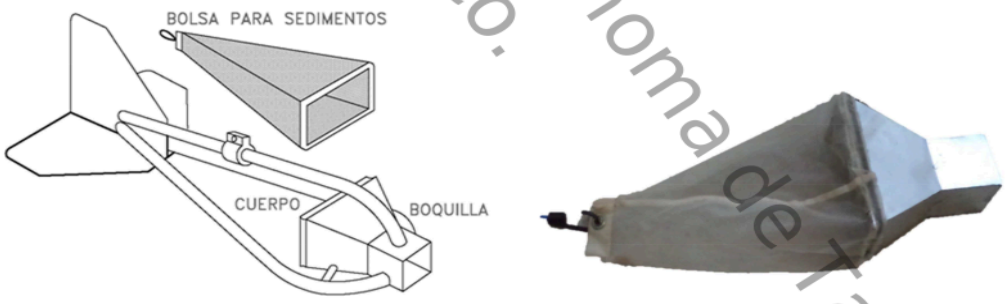


Figura 2.6 Boquilla de muestreador Helley Smith con bolsa para sedimentos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Funcionamiento del muestrador.

Cuando el muestreador está sumergido y sentado en el lecho del río, y con la boquilla en entrada orientada en sentido del flujo, la mezcla de sedimentos de agua fluye a través de la boquilla hasta llegar a la bolsa. Las aberturas o tramado de la malla con que está hecha la bolsa permiten que el agua y el sedimento fino fluyan a través de la bolsa; mientras que, el sedimento grueso es atrapado.

Limitaciones de velocidad: el muestrador tiene una limitación de uso a velocidades menores a los 10 pies / s.

Limitación de Profundidad: El muestreador está limitado por la condición de río al momento de la medición. Se requiere una línea de amarre para contrarrestar la inclinación inducida por el aumento de velocidad de la corriente (normalmente por encima de 4 pies / s) de arrastre. El uso de una línea de amarre permitirá un mayor control durante el descenso y posicionamiento de la toma de muestras. (Emmett, 1990).

Botella Delft

Otro de los equipos de muestreo es la Botella Delft (figura 2.7), este muestreador se emplea en la medición de la fracción arenosa del transporte en suspensión en la columna de agua.

Figura 2.7 Botella Delft

A la fecha es el único muestreador que mide directamente el gasto sólido de la fracción arenosa en suspensión en la columna de agua (arena o grava mayor a 0.75 mm) sin necesidad de medir la velocidad.

El muestreo es del tipo puntual, integrado por tomas individuales en varios puntos. A partir de estas muestras es posible obtener el perfil vertical de transporte. El tiempo de muestreo toma en promedio de 2 a 4 minutos.

Tiempo de muestreo

Es a partir de estos dos muestreadores que se cubre el rango total de fondo. El tiempo de muestreo sería equivalente a 6 muestras puntuales de 4 minutos cada una en promedio, más los tiempos de intercambio de posición. En campo este proceso involucra un tiempo aproximado de 1 hora por vertical de medición. Es de la combinación de estos equipos que surge la idea de combinar los dos mecanismos de medición para acelerar los procesos de muestreo y se propone la configuración de un nuevo muestreador denominado muestreador BI-Grijalva.

2.3. Configuración del muestreador BL-Grijalva

Una combinación entre los principios de operación del muestreador H-S y la botella Delft, dieron origen al diseño del muestreador BL-Grijalva. El objetivo fue aprovechar las características de la botella Delft, de muestrear a varias profundidades cerca del fondo, pero hacerlo con el principio de operación del muestreador H-S. Esto se logró apilando las boquillas. Se propusieron dos tipos de configuraciones: Apilado vertical (Figura 2.8a) y apilado excéntrico (Figura 2.8b).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

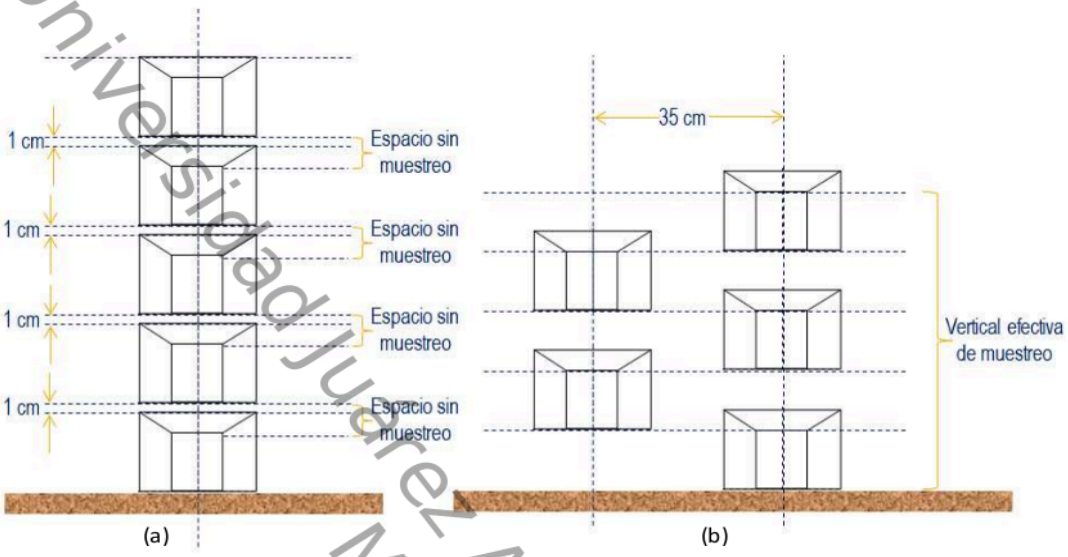


Figura 2.8 Propuesta de arreglo de boquillas para la construcción del muestrador BL-Grijalva, inciso (a) primera propuesta apilado vertical, Inciso (b) segunda propuesta apilado excéntrico.

Con estos tipos de arreglo, se cubre una zona muestreo de 0-0.5m sobre el lecho del rio. Misma zona cubierta por el muestreador Delft, donde se considera se concentra el transporte de fondo.

En el arreglo vertical se observa que si bien se alcanza la altura deseada, no se tiene una medición continua sobre la vertical; esto debido al ensanchamiento posterior del muestrador (Figura 2.8a). Por su parte, el arreglo apilado excéntrico, cumple con la toma de muestra continua dentro de estos primeros 50 centímetros (Figura 2.8b).En el siguiente capítulo se llevaron a cabo una serie de modelaciones numéricas sobre los arreglos propuestos, para evaluar cuál era la distribución de velocidades en cada uno y seleccionar la mejor opción a ser construida.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

CAPITULO 3. SIMULACIÓN NUMÉRICA

3.1. Modelación hidrodinámica

En problemas de ingeniería aplicada, es frecuente encontrar modelos matemáticos que describen por medio de ecuaciones al problema estudiado. Aunque la solución analítica proporciona soluciones exactas, no siempre es posible determinarlas. Es aquí donde los métodos numéricos en Ingeniería proporcionan una herramienta que permite traducir modelos matemáticos complejos en procedimientos computacionales, cuyos resultados pueden ser contrastados con las soluciones analíticas o experimentales, en los casos en los que éstas existan.

En este capítulo se muestra la simulación numérica que se realizó para predecir el posible comportamiento que pudiera presentar los arreglos de los muestreadores propuestos. Inicialmente se describen las ecuaciones que gobiernan el fenómeno, y se plantea el sistema que se resuelve. Se trabaja sobre la simulación de una boquilla (muestreador) simple y se hacen las adecuaciones pertinentes.

A continuación se proponen los dos arreglos distintos de los muestreadores apilados propuestos. Es a partir de estos resultados que se elige la configuración final del arreglo del muestreador a construir. El principio es que opere bajo el principio de medición isocinética.

3.2. Ecuaciones de gobierno

Las ecuaciones clásicas de la mecánica de fluidos para describir el movimiento de un fluido son las conocidas como ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales se derivan de la aplicación de las leyes físicas de: conservación de masa, cantidad de movimiento y propiedades termodinámicas a un volumen de control. Las ecuaciones de Navier-Stokes son un conjunto de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales no lineales en tres dimensiones (3D). Dada la complejidad del sistema de ecuaciones y

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

la alta no linealidad, actualmente no se ha llegado aún a una solución analítica de las mismas.

En la mecánica de fluidos, los métodos de análisis para describir un flujo, se basan en dos filosofías: la filosofía Lagrangiana y la filosofía Euleriana. La filosofía Lagrangiana estudia la evolución de las variables del flujo siguiendo el movimiento o la trayectoria de las partículas del fluido en el espacio; mientras que, la filosofía Euleriana estudia la evolución temporal de las variables del flujo en un volumen de control fijo en el espacio. Cada una implica técnicas distintas de tratamiento y discretización de las ecuaciones. En este trabajo se empleó la filosofía Euleriana debido a que lo que se quiere es encontrar las posibles variaciones de velocidad y de trayectoria del flujo de agua a la entrada del muestreador y en su entorno de la boquilla de entrada del muestreador.

Una forma de aproximación clasificada dentro del grupo de modelación, es el uso de las ecuaciones de Reynolds Promediadas (RANS, Reynolds Averaged Navier-Stokes Equations), incorporando un modelo de turbulencia apropiado. Las RANS se obtienen al derivar las ecuaciones de conservación de la masa, momentum, energía y esfuerzos cortantes turbulentos, (Versteeg, 2007). Las ecuaciones básicas utilizadas son:

Continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \qquad (2)$$

Momento:

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x}\left[(\mu + \vartheta_\tau)\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right)\right] \qquad (3)$$

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Dónde:

t es el tiempo, u es el vector velocidad, χ es la posición, ρ es la densidad del agua, μ es la viscosidad, P es la presión y μ_T es el coeficiente de viscosidad turbulenta.

En la determinación de la viscosidad turbulenta, se empleó el modelo de turbulencia κ-ε (Wilcox, 1998). Este relaciona las variables dependientes de energía cinética turbulenta, (κ), y la tasa de disipación de energía, (ε), en la ecuación de viscosidad turbulenta μ_T como sigue:

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{\kappa^2}{\delta} \pi r^2 \qquad (4)$$

Empleando el modelo de turbulencia, se obtienen las ecuaciones de transporte para κ y ε respectivamente:

Energía cinética turbulenta, k:

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \kappa)}{\partial x_j} = \frac{\partial \rho}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_\kappa}\right)\frac{\partial \kappa}{\partial x_j}\right] + G - \rho\varepsilon \qquad (5)$$

Disipación turbulencia, ε:

$$\frac{\partial(\rho\kappa)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \kappa)}{\partial x_j} = \frac{\partial \rho}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_\kappa}\right)\frac{\partial \kappa}{\partial x_j}\right] + C_{\varepsilon 1} - G_{\varepsilon 2}\rho\frac{\varepsilon^2}{\kappa} \qquad (6)$$

Donde las constantes $C_\mu = 0.009$, $C_{\delta 1} = 1.44$, $C_{\delta 2} = 1.44$, $\sigma_\kappa = 1$, y $\sigma_\varepsilon = 1.3$ y toman el modelo estándar de Launder and Spalding (1974) y la energía cinética turbulenta se pone en términos de la variable G, con la siguiente ecuación:

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

$$G = \mu_\tau \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \qquad (7)$$

Aunque en apariencia simple, el campo de flujo a reproducir representa un reto para el modelo de turbulencia κ-ε. Se consideran funciones de frontera basadas en estado de equilibrio que no se cumplen en las cercanías de la barrera representada por el muestreador. Por esta razón el desarrollo del modelo implicó dos etapas. En la primera de ellas se simuló el flujo en un canal de aproximación de gran longitud, donde se generaron las condiciones de frontera necesarias para la segunda etapa, la cual simula el flujo alrededor del muestreador.

El software utilizado en la modelación numérica fue el COMSOL® Multiphysics, anteriormente llamado FEMLAB. Es un software para el modelado de sistemas físicos basándose en el modelado de elementos finitos (FEM). Este software facilita los pasos en el proceso de modelado, mediante una interfaz que permite obtener una solución a través de la combinación de distintos fenómenos físicos (de ahí proviene el nombre Multiphysics). Se caracteriza por estar dividido en módulos, cada módulo incluye una extensa gama de condiciones físicas para realizar las simulaciones multifásicas. Además, brinda al usuario una interfaz de fácil manejo y comprensión, aparte de acoplar sus físicas, también puede importar y exportar elementos indispensables en la simulación (geometrías, ecuaciones y parámetros) a través de sus módulos.

3.3. Simulación simple (un muestreador)

Primera etapa. Simulación del canal de aproximación

Debido a que el muestreador se usará en ríos con longitudes de kilómetros y tirantes medios menores a 5m, se propuso con fines de simplificación, simular el flujo en un canal horizontal de 275 m de longitud y 2 m de tirante (Soto *et al*, 2012). Esto en principio permitió garantizar un flujo totalmente desarrollado. El fluido simulado fue

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

agua con viscosidad cinemática 1x10-6 m^2/s y densidad 1000 kg/m^3. Se propuso una velocidad media de 2.5 m/s, que para condiciones de velocidad de un río se consideran altas; sin embargo, la intensión era buscar efectos hidrodinámicos adversos en estos límites, con la hipótesis que si el muestreador se comporta bien a estas velocidades, también lo hará a menores. Como condición de entrada al canal se propuso un 3% de intensidad turbulenta y escala de longitud turbulenta, de acuerdo con las recomendaciones de Versteeg y Malalasekera (1995).

Canal de prueba

Por simplicidad, se simuló un corte longitudinal del canal que coincide con el eje de simetría del muestreador (Figura 3.1). Esta parte del canal que se denominó canal de prueba, tiene 10 m de longitud. Al fondo del mismo y justo a la mitad de su longitud se ubicó el muestreador. La figura 3.1 muestra un acercamiento de la zona de estudio en la que se resalta la geometría de la boquilla del muestreador Helley-Smith.

El proceso que se lleva a cabo para realizar el modelado se define a través de los siguientes pasos: I) la creación de una geometría; II) la generación de la malla de cálculo; III) determinación de las ecuaciones de gobierno; IV) la elección del tipo de solución; y V) la visualización de los resultados.

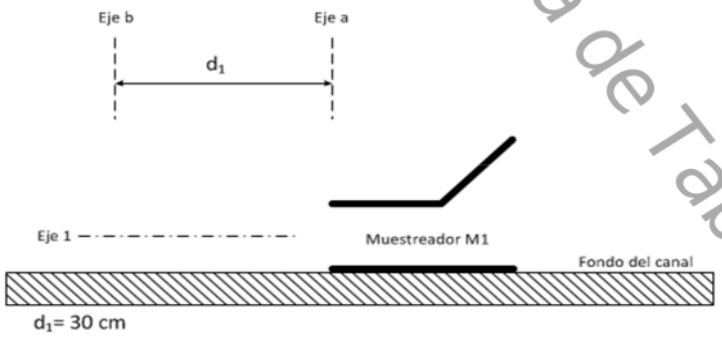


Figura 3.1 Corte longitudinal de la boquilla del muestreador en el fondo del canal.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Las ecuaciones diferenciales planteadas para simulaciones de fenómenos físicos, requieren para su solución la implementación de métodos numéricos. Muchos de ellos suponen que el dominio de interés puede ser dividido en pequeños elementos, cuya unión y continuidad forman una malla. La discretización del dominio (malla) permite que las ecuaciones de gobierno puedan ser resueltas numéricamente mediante aproximaciones. Para encontrar la solución numérica se necesita que los elementos de la malla tengan una alta calidad, a fin de asegurar una adecuada discretización (figura 3.2).

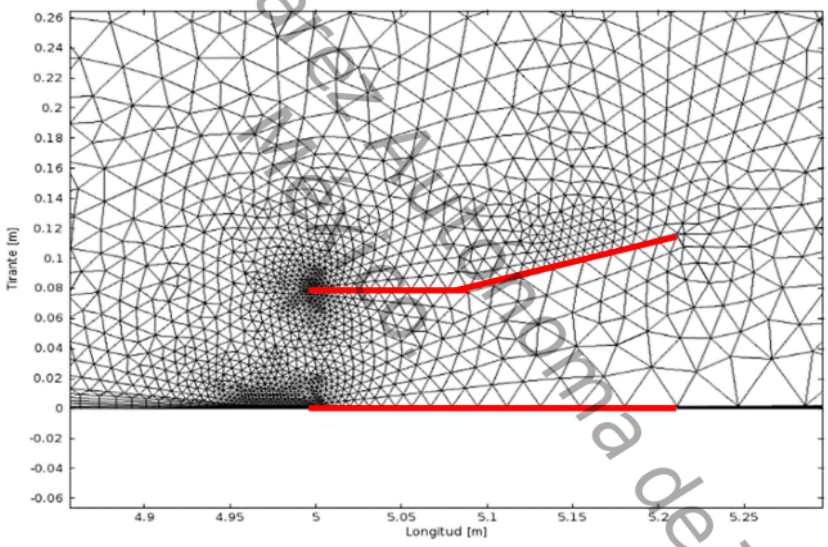


Figura 3.2 Generación de malla para discretización y solución numérica.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

La figura 3.3 muestra las características hidrodinámicas de la boquilla del muestreador BL-84 colocado en el fondo del canal. La presencia del dispositivo no altera significativamente las condiciones aguas arriba del mismo y facilita la convergencia de las líneas de corriente en su ingreso a la boquilla.

La zona de influencia de la frontera superior es a lo sumo del mismo tamaño que la altura del muestreador (15 cm) Figura 3.4.

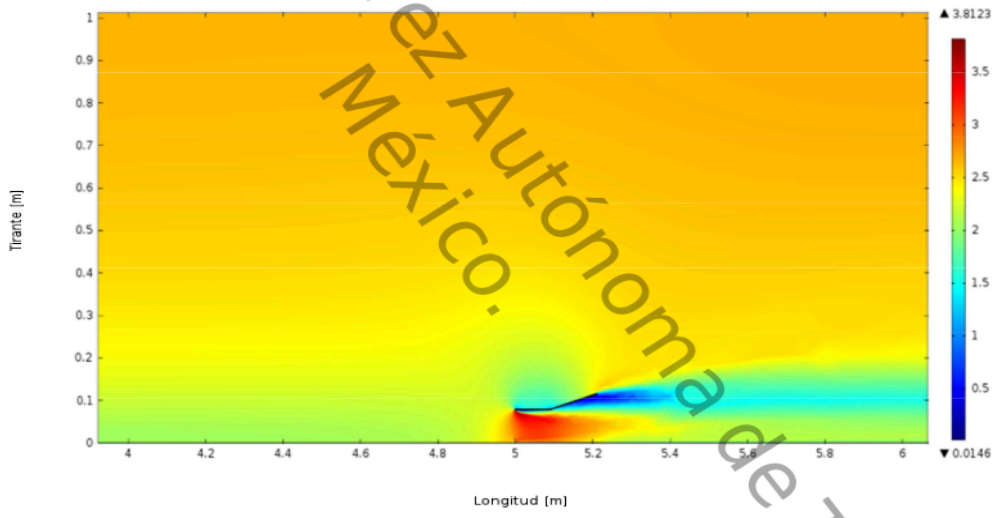


Figura 3.3 Simulación de un solo muestreador en el canal.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

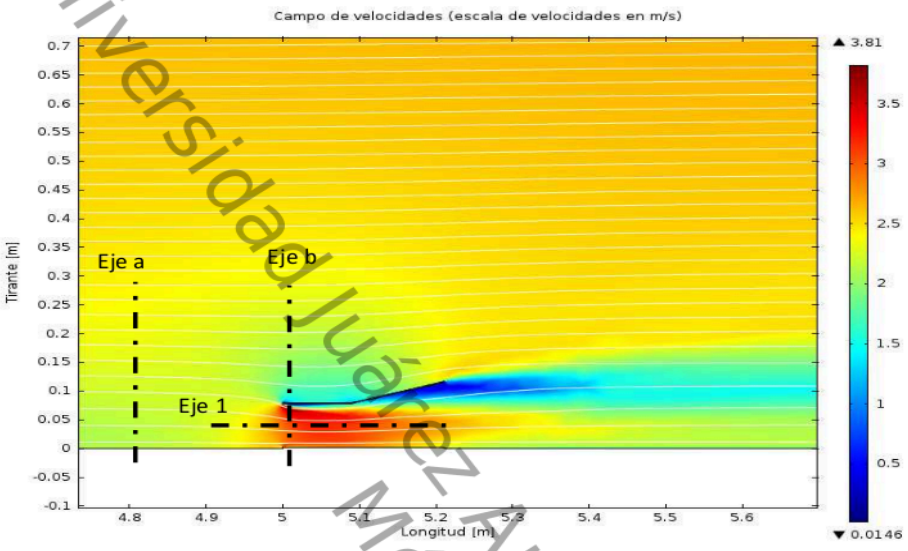


Figura 3.4 Análisis de los diferentes ejes de estudio en el modelo matemático para conocer las zonas de influencia.

La diferencia entre la velocidad de aproximación (Eje a) y la velocidad sobre la boquilla (Eje b) es menor al 3.5%. Aún en las cercanías de la boquilla, por ejemplo a 10 cm del fondo del canal sobre el Eje 2, la diferencia entre estas velocidades no excede el 10%.

El gradiente de velocidades en el eje de ingreso a la boquilla es significativo (Eje 1). Del orden de 1 m/s en los 0.30 m previos al ingreso y de -1.15 m/s en los 0.35 m posteriores al ingreso.

Este gradiente debe verse incrementado por la presencia de la malla de muestra cuyo efecto no fue considerado en este trabajo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Estos gradientes son en buena medida responsables de la eficiencia experimental de este dispositivo.

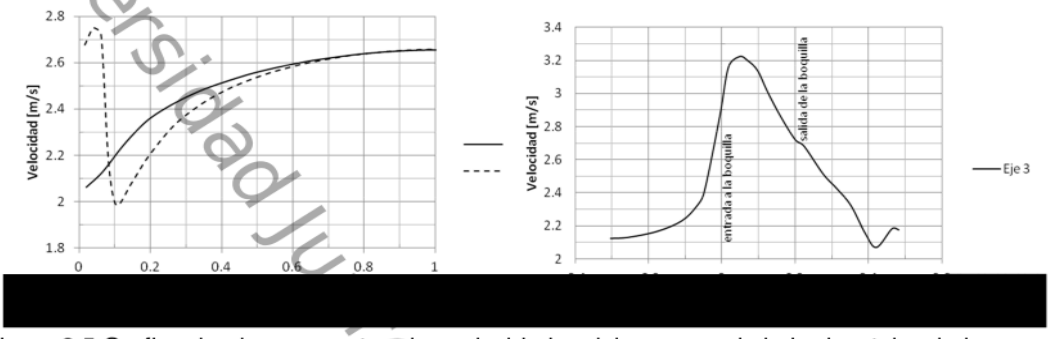


Figura 3.5 Grafico donde se muestran las velocidades del agua en el eje horizontal y el eje vertical y el eje vertical posterior a al entraba de del muestreador.

En los gráficos (figura 3.5) se puede observar el perfil de velocidades del resultado del modelado, se tiene como resultado un perfil con poca variación entre el eje vertical antes de la boquilla y el eje vertical a la entrada de la boquilla.

Los resultados generados, no presentaron inconsistencias o incongruencias numéricas derivadas de las hipótesis de frontera derivadas de la aplicación del modelo de turbulencia. Se generó un campo de velocidades congruente con lo esperado logrando establecer la zona de influencia del dispositivo sobre el campo de velocidades.

Respecto a este último punto, bajo las hipótesis planteadas en este trabajo, se concluyó que no se produce una afectación sustancial del campo de velocidades en las inmediaciones del muestreador excepto, como era de esperarse, sobre el eje de acción del mismo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

3.4. Simulación múltiple (2 o más muestreadores)

Derivado de los resultados anteriores, a continuación se llevó a cabo la simulación bidimensional en un arreglo apilado con diversas distancias entre ejes de acción para observar el comportamiento de las líneas de flujo.

Para la simulación de 2 o más muestreadores se realizó un esquema de apilado vertical colocados en el fondo del canal figura 3.6,

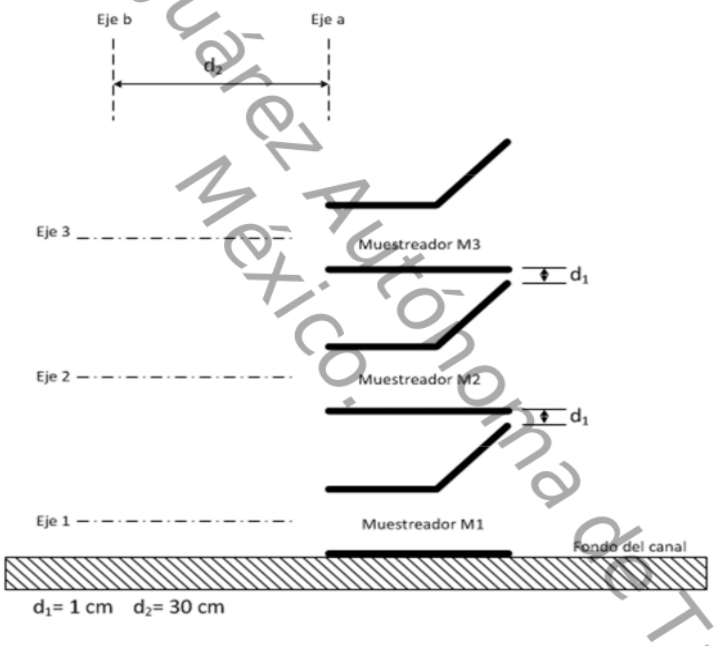


Figura 3.6 Corte longitudinal para la simulación con 3 muestreadores colocados verticalmente a 1 cm de distancia entre sí.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

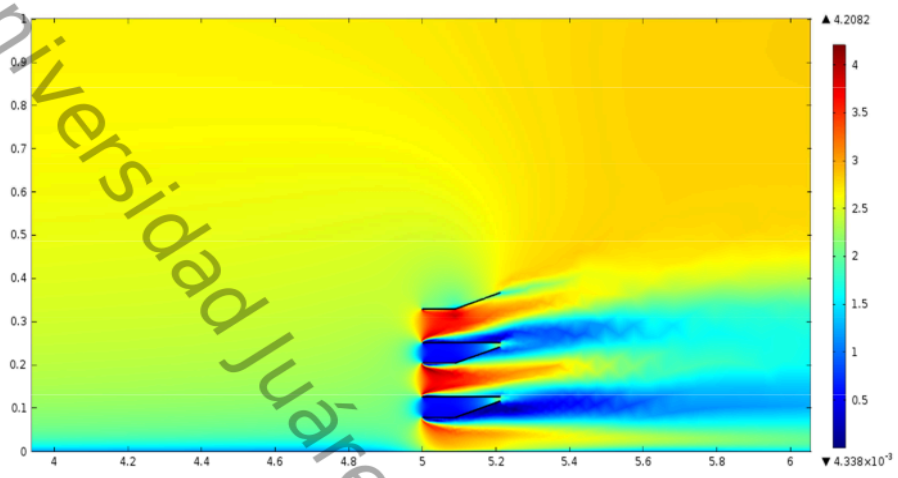


Figura 3.7 Simulación de 3 muestreadores colocados paralelamente con 1 cm de distancia entre sí.

En las siguientes graficas figura 3.8 y figura 3.9 se puede observar el perfil de velocidades en los diferentes ejes de las boquillas de la modelación numérica de tres boquillas en apilado vertical, así como en las verticales a y b representadas en la figura 3.7, se observa que existe mínima variación lo cual no es significativo, es decir no hay alteración en las verticales antes de entrar y a las entradas de las boquillas de los muestreadores, tampoco se observa variación en las trayectorias horizontales de cada muestreador.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

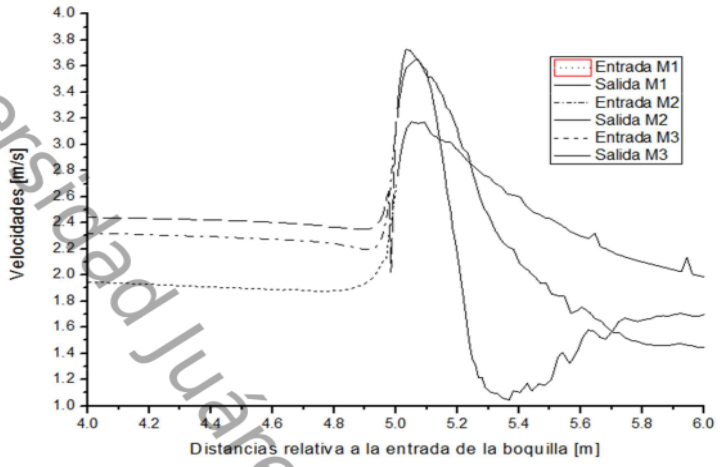


Figura 3.8 Perfil de velocidades sobre el eje 1, 2 y 3 de la Figura 26.

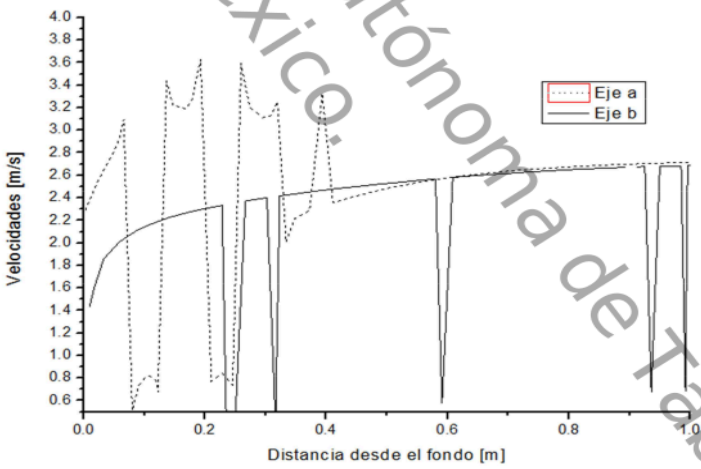


Figura 3.9 Perfil de velocidades sobre los ejes a y b de la Figura 26

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

CAPITULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA

4.1. Consideraciones para la construcción del muestreador

El siguiente paso una vez hecha la simulación numérica, fue la construcción del muestreador BL-Grijalva. El cual además de la construcción del apilado de boquillas para cubrir la altura efectiva de toma de muestras, ofrecía un reto más: diseñar y construir un armazón para sujetar las boquillas y que ofreciera la menor resistencia a ser arrastrado por la corriente. Se probaron con este fin algunas alternativas que desde el punto de vista hidrodinámico, no ofreciera una alta resistencia al flujo. La propuesta que se diseño fue una armazón de la cual se sujetan tres varillas. En una varilla central, se montan las boquillas y en las dos restantes, una en cada extremo se colocó contrapesos que permitieran darle estabilidad y peso para llegar al fondo (Figura 4.1).

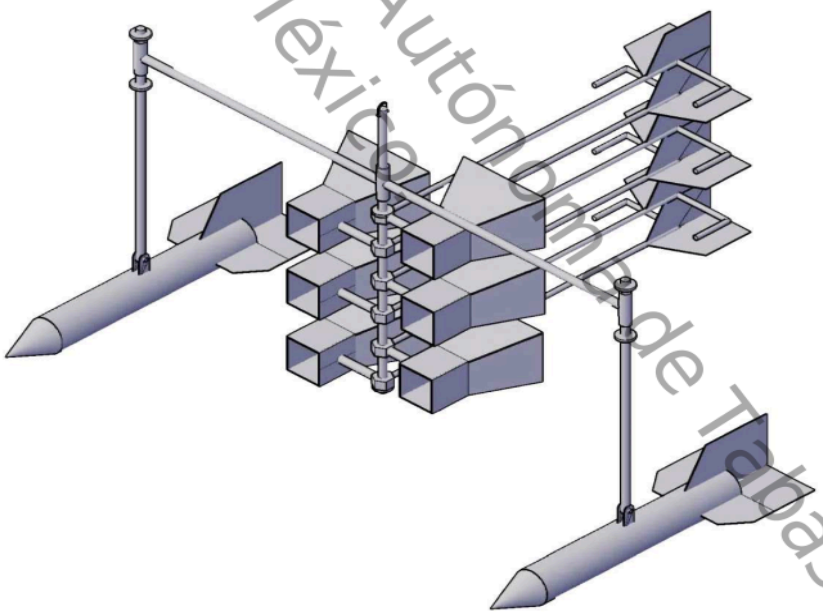


Figura 4.1 Dibujo en AutoCAD del diseño del muestreador propuesto.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

La sujeción de estas varillas se propuso no fuera de manera rígida; sino que, tuviera flexibilidad de movimiento vertical y libre giro. Esto con la intensión de compensar las irregularidades de fondo y líneas de corriente, sin afectar la orientación y posición de las boquillas al momento de la toma de muestras. Se usaron bujes (Figura 4.2) para alojar las varillas, lo que les permita desplazarse de manera vertical y a su vez les dio libertad de giro. En cada varilla se le colocaran topes para limitar su carrera vertical y mantenerla verticalidad de las mismas.

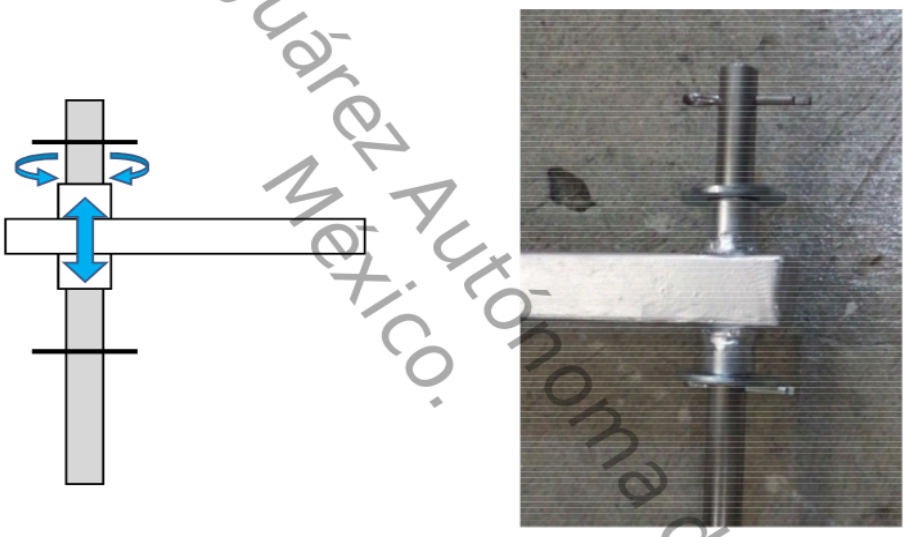


Figura 4.2 Buje para sujeción de varillas del muestreador BL-Grijalva

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

La construcción de los contrapesos; además de ayudar al muestreador a llegar a fondo, permite estabilizar el equipo y servir de soporte cuando llega al fondo. La sujeción con las varillas fue articulada (Figura 4.3), de forma tal que les permitiera compensar alguna irregularidad de fondo al momento de la toma de la muestra.

La bolsa de muestreo se sujetó por medio de una varilla individual para cada boquilla. Esta va unida al brazo donde se colocará la boquilla; además de contar con un gancho para el ojillo de la bolsa, el soporte tendrá aletas estabilizadoras vertical y horizontal, que ayudaran a la correcta alineación a la dirección dela corriente (Figura 4.4).

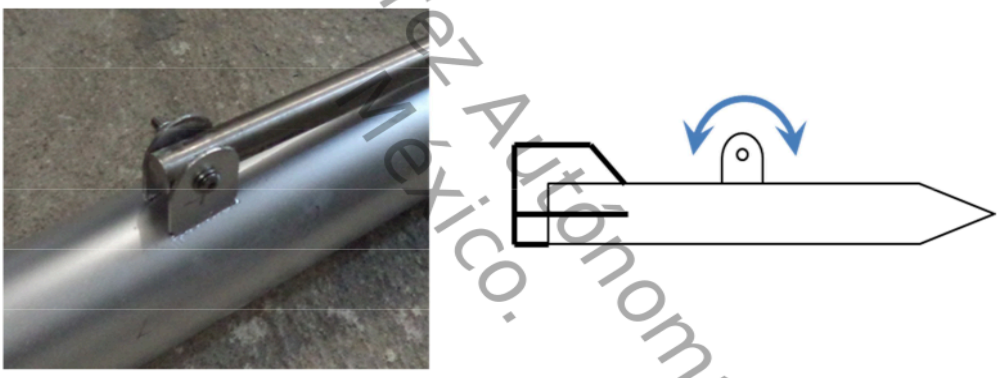


Figura 4.3 Propuesta de sujeción articulada de los contrapesos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 4.4 Varilla para sujeción de la bolsa de sedimentos y aleta estabilizadora.

4.2. Construcción del muestreador BL-Grijalva

Una vez definidas las características y dimensiones del muestreado BL-84, se procedió a su fabricación. El material seleccionado para construir las boquillas fue placa de acero inoxidable calibre 20 (1mm de espesor) el cual cumple con las características físicas y resistencia al ambiente que será sometido durante el uso una vez construida las boquillas. El proceso de soldadura utilizado en la fabricación de las boquillas fue la soldadura TIG (por sus siglas en inglés, tungsten inert gas).Este tipo de soldadura se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, acompañada de la protección de un gas inerte, siendo para este caso gas argón de alta pureza.

La ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones (uniones) más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos. Otra ventaja de la soldadura por arco en atmósfera inerte es que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones. El cordón obtenido presenta un buen acabado superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones, lo que incide favorablemente en la calidad.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es casi nula.

A continuación se describen los procedimientos de fabricación del muestreador.

1. Trazo en la placa de acero las plantillas para fabricación de boquillas (Figura 4.5 lado izquierdo).
2. Corte de las plantillas con equipo corte plasma (figura 4.5 lado derecho).
3. Revisión de medidas de las plantillas y rectificado en caso de requerirlo (Figura 4.6)
4. pre-armado de la boquilla para verificación de medidas y empalme de las plantillas (Figura 4.7 lado izquierdo).
5. Aplicación de soldadura TIG (Figura 4.7 lado derecho)
6. Inspección visual de cordones de soladura, revisión de cuadratura con escuadra de entradas de boquillas, verificación con vernier digital que no exista margen error ±0.003”
7. Corte y barrenado de bujes de sujeción de las boquillas, soldarlas a las boquillas (Figura 4.8 lado izquierdo)
8. Corte de PTR 1”x1” x 47” de largo, y barrenado para armado de estructura principal (Figura 4.9 lado derecho)
9. Corte y soladura de bujes de estructura principal.
10. Corte y barrenado de varilla principal, donde se montaran las boquillas.
11. Corte de redondo para contrapesos, corte y soldadura de aletas estabilizadoras, así como orejas de sujeción buscando su centro de gravedad (figura 4.10)
12. Corte y barrenado de varillas para sujeción de contrapesos.
13. Corte, barrenado y soldadura de brazos para montaje de boquillas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 4.5 Trazado y corte de plantillas para fabricación de boquillas

Figura 4.6 Rectificado de medidas de plantillas.

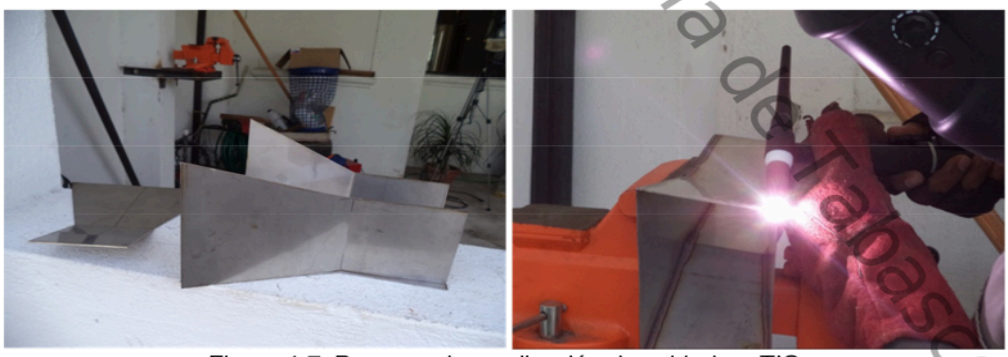


Figura 4.7 Pre-armado y aplicación de soldadura TIG

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 4.8 Fabricación de brazos para boquillas y estructura principal para sujeción de boquillas y contrapesos.

Figura 4.9 Fabricación de contrapesos, aletas estabilizadoras y orejas para sujeción.

Figura 4.10 Conjunto de varilla principal, brazo y boquilla (lado izquierdo) y estructura principal con contrapesos (lado derecho).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

En las figuras 4.11 y 4.12, se aprecia le muestreador BL-Grijalva terminado en diferentes ángulos, en la figura 4.11 se tiene la vista frontal de del muestreador y boquillas y el figura 4.12 la parte posterior del muestreador donde se aprecia la aleta estabilizadora y el gancho para sujeción de la bolsa para sedimentos.

Figura 4.11 Muestreador Bl-Grijalva

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 4.12 Parte posterior del muestreador BI-Grijalva

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

CAPITULO 5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Localización

Las pruebas de funcionamiento del muestreador BL-Grijalva se realizaron desde una sección de puente tubular ubicado sobre el río Samaria, en el municipio de Cunduacán, en el estado de Tabasco (Figura 5.1). Esto debido a su proximidad a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, y el bajo tránsito vehicular sobre él. Las características del puente tubular son: longitud de 163 metros con 10 claros con separaciones promedio de 15 metros, (Figura 5.2). El puente se localiza en un tramo recto del río, de tal manera que las líneas de corriente son en promedio perpendiculares a la sección de prueba del muestreador BL-Grijalva. También se seleccionó un claro del puente que no tuviera ramas o troncos atorados que pudieran presentar turbulencia y alterar la prueba de funcionamiento del muestreador.

Figura 5.1 Localización del punto de prueba del muestreador BL-Grijalva

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

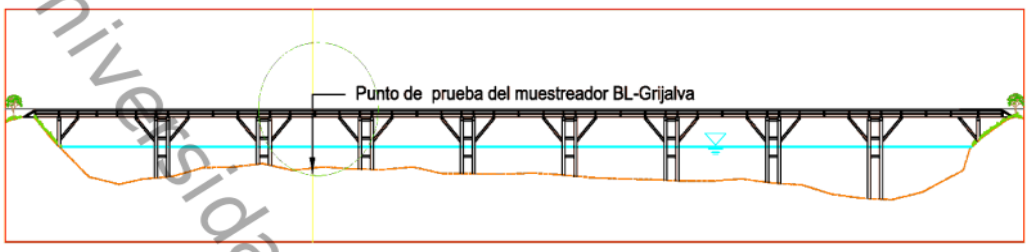


Figura 5.2 Esquema del puente tubular donde se realizó la prueba del muestreador BL-Grijalva.

5.2. Medición de la velocidad

Antes de realizar la prueba del muestreador BL-Grijalva, fue necesario conocer el perfil de velocidad de la corriente sobre la vertical en que se realizaría la prueba. Se utilizó un molinete hidrométrico con contador digital marca SIAP, Modelo MH11 (Figura 5.3a), cuyas especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 5.1. Debido a las condiciones de velocidades de la corriente, se fabricó un contrapeso compuesto por un escandallo con un peso de 57 kg (Figura 5.3b) y se adaptó a un sensor de fondo. Debido al peso, el sistema se debe operar por medio de un sistema de grúa mecánica, para facilitar el ascenso y descenso del equipo mediante un cable de sujeción de acero con diámetro de 3/16 pulgadas.

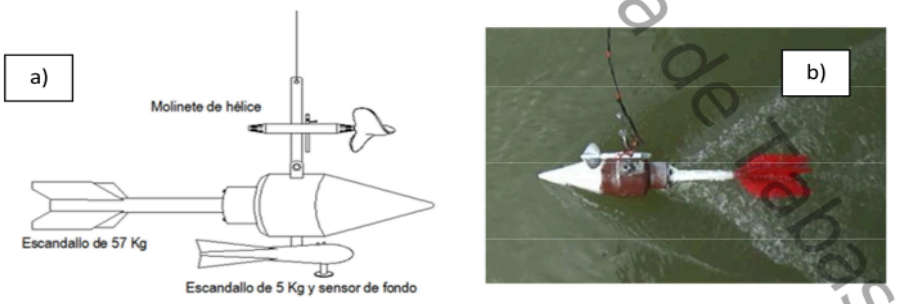


Figura 5.3 Arreglo compuesto por molinete, escandallo y sensor de fondo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Tabla 5.1 Especificaciones Técnicas de Molinete tipo hélice marca SIAP

Especificaciones Técnicas	
Rango de Velocidades	0.025 m/seg a 10 m/seg
Rango de precisión de lectura	2% a 3%
Tipo de transductor	Contacto magnético
Construcción Cuerpo y Hélice	Latón Inoxidable
Salida	RS232
Contador	Electrónico con batería 9V
Display	LCD 3 dígitos
Temperatura de operación	-20°C a +60°C
Peso del molinete	1.75 Kg

Se consideró un tiempo de muestreo de 120 segundos. En la estimación de la velocidad media, se empleó el método de los 3 puntos, por tal motivo, se midió la velocidad al 20%, 60% y 80% del tirante ver figura 5.4. Además, se midió la velocidad en la superficie y en el fondo para completar el perfil de velocidades.

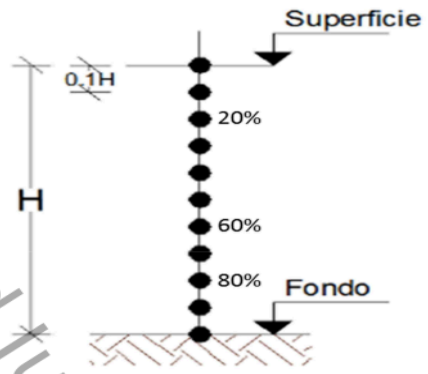


Figura 5.4 Esquematización del método de tres puntos.

La velocidad en cada punto se obtuvo a partir de la siguiente expresión:

$v = \frac{an}{t}$

En donde:

v = velocidad en m/s
a = paso geométrico de la hélice, 0.25.
n = número de revoluciones
t = tiempo de medición en segundos.

Se calculó la velocidad media con la siguiente expresión (OMN, 1994):

$$\bar{v} = 0.25(v_{0.2} + 2v_{0.6} + v_{0.8})$$

El valor de 0.25 corresponde a la constante que multiplica el seleccionar la hélice número 2, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

	Hélice	Coeficiente	Velocidad promedio
1	85	0.125	
2	115	0.25	1.020
3	115	0.5	
VERTICAL DE PRUEBA			
h = 4.40	Tiempo	Revoluciones	Velocidad
1	120	500	1.04
0.8	120	512	1.07
0.4	120	496	1.03
0.2	120	480	1.00
0	120	460	0.96

Tabla 5.2 Velocidades obtenidas Prueba No.1

Se obtuvieron mediciones de velocidad del orden de 1.02m/s ver tabla 5.2 y figura 5.5: Por lo que son adecuadas para realizar las pruebas del muestreador.

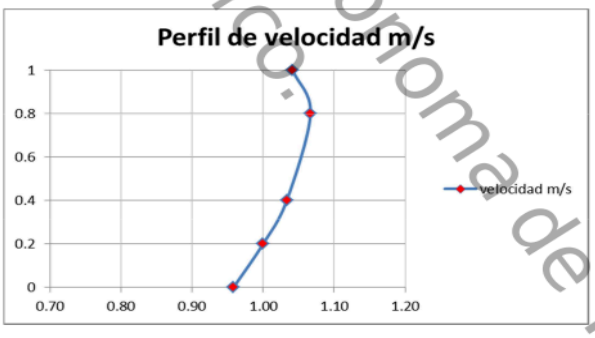


Figura 5.5 Perfil de velocidad prueba No.1

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

5.3. Prueba No.1 del muestreador BL-Grijalva

Una vez conocido el perfil de velocidades sobre la vertical, se realizaron las pruebas del muestreador BL-Grijalva. Se comenzó con el armado del bastidor y las tres varillas que dan soporte al medidor (Figura 5.6a). En los extremos se montaron contrapesos y en el centro una varilla que tiene dos funciones, sirve para sujetar las boquillas y para sujetar todo el muestreador.

Figura 5.6 a) muestreador BL-Grijalva y b) alineación a la corriente

En la figura 5.6b, se aprecia que al meter los contrapesos al agua, las aletas estabilizadoras ayudan a alinear de a las líneas de corriente. También se aprecia que al seguir sumergiendo el equipo, el travesaño que se construyó inicialmente con metal de sección cuadrada, generaba alta turbulencia, esto debido a su geometría, que opone resistencia a la corriente (figura 5.7).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

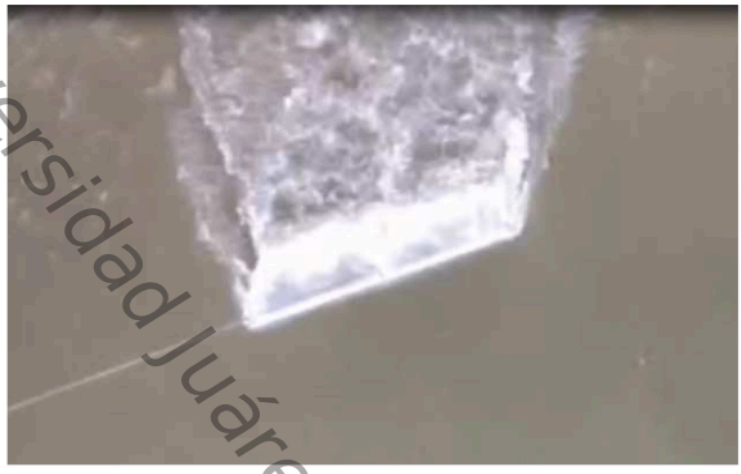


Figura 5.7 Turbulencia generada por el bastidor de geometría cuadrada

Posterior a esta prueba de inmersión de los contrapesos y el bastidor, se colocaron dos muestreadores (boquillas) las cuales también contaban con aletas estabilizadoras en la parte posterior, para observar el comportamiento con respecto a la alineación con el flujo. Se observó que las boquillas se alineaban en conjunto con los dos contrapesos (figura 5.8); es decir, los tres objetos se orientan hacia la misma dirección. Sin embargo, se observó que el libre giro de las varillas respecto al bastidor se sobrepasa y no mantiene al bastidor perpendicular a las líneas de corriente. Travesaño con juego de contrapesos y dos boquillas sumergidas, se observa la alineación de los tres cuerpos y el giro del bastidor línea amarilla que no es perpendicular a las líneas de corriente Provocando en ocasiones que se tuviera que detener la prueba, esto se solucionó alineándolo de manera manual.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

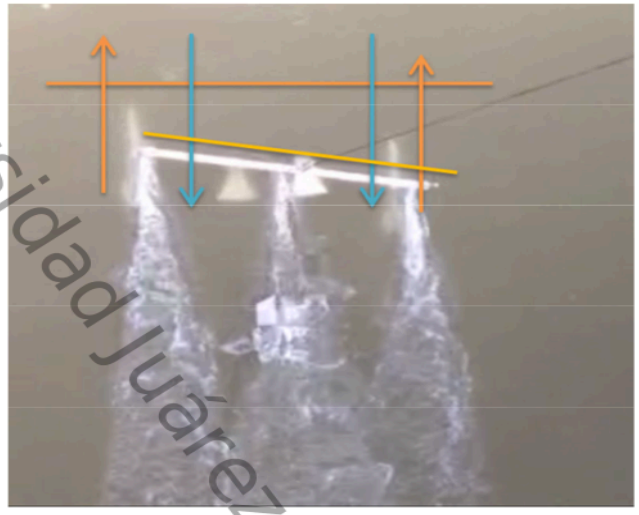


Figura 5.8 Muestreador BL-Grijalva con 2 boquillas

A partir del comportamiento del muestreador en esta prueba, se decidió cambiar la geometría cuadrada del bastidor y suministra mayor peso a los contrapesos

Se fabricó un nuevo travesaño con geometría redonda y de menor medida que el anterior (Figura 5.9a). Se mantuvo la misma amplitud para la separación de las varillas de los contrapesos (figura 5.9b).

Figura 5.9 Fabricación de travesaño para el bastidor de geometría redonda.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

También se fabricaron dos contrapesos (Figura 5.10a) de mayor diámetro, con un peso aproximado de 25 kg cada uno. Se le colocaron aletas para generar alineación a las líneas de corriente (Figura 5.10b). Estos contrapesos son de mayores dimensiones y peso, manteniendo el mismo principio de sujeción que los anteriores.

Figura 5.10 Fabricación de contrapesos de mayores dimensiones.

5.4. Prueba No. 2 del Muestreador BL-Grijalva.

Una vez realizadas las correcciones necesarias para mejorar el funcionamiento del muestreador, se realizaron las pruebas correspondientes para lo cual fue necesario medir la velocidad en la vertical de prueba con el molinete figura 5.11. Esta vez se probaron dos posibles combinaciones de geometría del bastidor, peso y dimensiones de los contrapesos. La velocidad medida se reporta en la tabla 5.3 y su perfil de velocidad en la en la figura 5.12.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 5.11 Armado del molinete con escandallo y sensor de fondo.

	Hélice	Coeficiente	Velocidad promedio
1	85	0.125	
2	115	0.25	0.845
3	115	0.5	
VERTICAL DE PRUEBA			
h = 4.40	Tiempo	Revoluciones	Velocidad
1	120	453	0.944
0.8	120	466	0.971
0.4	120	428	0.892
0.2	120	376	0.783
0	120	305	0.635

Tabla 5.3 Velocidades obtenidas prueba No.2.

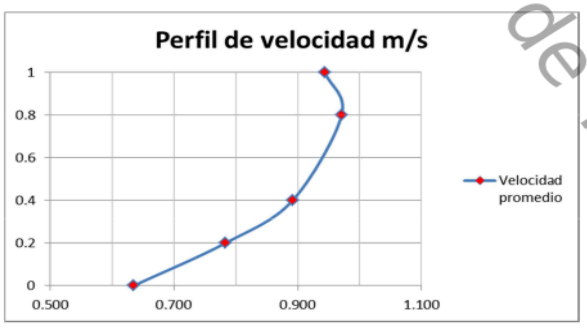


Figura 5.12 Perfil de velocidad prueba No.2

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Una vez armado el bastidor con el travesaño cuadrado y los contrapesos de mayores dimensiones, el equipo se posicionaba sobre la superficie libre del agua y se medía la distancia de la vertical del cable hasta tubo de estructura del barandal del puente, posteriormente se sumergió 1m y se medió el ángulo que se forma con respecto a la vertical (Figura 5.13) color rojo travesaño de geometría redonda, color verde travesaño de geometría cuadrada. A partir de esta medición se determinó al arrastre. Esta prueba se repitió con las siguientes geometrías y aditamentos para lo cual se utilizó la matriz de prueba tabla 5.4.

Tabla 5.4 Matriz de Pruebas

Distancia inicial de la vertical al barandal	**Inmersión a 1m**				
	Solo bastidor y contrapesos	Bastidor, contrapesos y una boquilla	Bastidor, contrapesos y dos boquillas	Bastidor, contrapesos y tres boquilla	Bastidor, contrapesos y cuatro boquilla
Arrastre presentado					

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

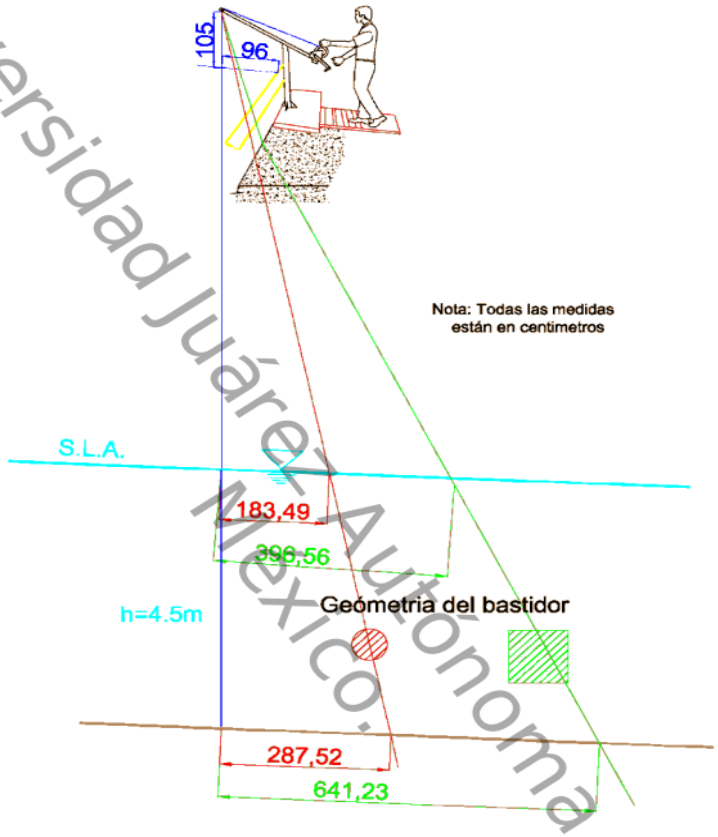


Figura 5.13 Prueba comparativa del bastidor con los travesaños de diferente geometría.

En el primer caso del bastidor de geometría cuadrada, se obtuvo una medida inicial entre la vertical del cable y el barandal del puente de 96cm, al sumergirlo 1m el bastidor es arrastrado hasta que el cable toca con la parte inferior del puente alcanzando una medida de 65cm y un ángulo de 16°. La longitud de arrastre fue de aproximadamente 3.96m. Se repitió el mismo ejercicio con el travesaño de geometría redonda. Encontrando 74cm con referencia al tubo del barandal y un ángulo de 12°;

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

lo que resultó en una longitud de arrastre de 1.83m. Se aprecia la mejora en la hidrodinámica en un 53% aproximadamente.

Posterior a esta prueba de inmersión del muestrador con travesaño de geometría redonda, se incorporaron los muestreadores (boquillas), obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Resultados obtenidos en prueba No.2

Distancia inicial de la vertical al barandal	**Inmersión a 1m**				
96cm	Solo bastidor y contrapesos	Bastidor, contrapesos y una boquilla	Bastidor, contrapesos y dos boquillas	Bastidor, contrapesos y tres boquilla	Bastidor, contrapesos y cuatro boquilla
Arrastre presentado	71cm	69cm	70cm	70cm	69cm

En la tabla anterior se puede observar que la diferencia entre la inmersión de bastidor y los contrapesos tiene una variación alrededor del 1cm con forme se van incorporando las boquillas para muestreo. Esto pronostica un funcionamiento adecuado para poder realizar le muestreo de sedimentos de fondo. La prueba del bastidor con los travesaños de diferente geometría se observa en la figura 54, bastidor de geometría cuadrada lado izquierdo y bastidor de geometría redonda lado derecho, en la figura 55 se aprecia el montaje conforme se incorporan las boquillas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 5.14 Inmersión del bastidor y contrapesos con travesaños de diferente geometría

Figura 5.15 Prueba No. 2 del muestrador y el montaje de boquillas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

Comentarios

Los resultados obtenidos se consideran satisfactorios, teniendo en cuenta que se diseñó y se construyó el muestreador Bl-Grijalva, partiendo de equipos existentes (Helley-Smith y Botella Delft) que presentan buena calidad de medición.

El muestreador BL-Grijalva, presentó un comportamiento estable durante las pruebas de funcionamiento; sin embargo, antes de su uso formal en campañas de medición de sedimentos, se requiere pruebas adicionales, de preferencia en un canal de laboratorio y luego en campo.

En este trabajo se conjugaron diferentes disciplinas importantes como son: la física, la hidráulica, los modelos matemáticos y la mecánica.

Se recomienda una inspección previa y minuciosa de todos los componentes de los equipos antes y después de su uso, ya que la pérdida de algún accesorio representa un gran problema, por ser partes no comerciales y difíciles de conseguir.

Los muestreadores de arrastre de fondo son en general aparatos de gran tamaño y que tienen un marco metálico como base, que al bajar al fondo, atraviesa flujos de velocidad menores entre la superficie y el lecho del cauce. A medida que el aparato se encuentra más cerca de la superficie, la fuerza de arrastre producida por la corriente es mayor y origina una inclinación del mismo; sin embargo, esta disminuye a medida que se acerca al fondo.

Una consecuencia de la inclinación del aparato, es que para una profundidad considerable y por lo tanto mayor cable de suspensión, el aparato corre el riesgo de impactarse con el fondo.

En un cauce con existencia de formas de lecho (dunas), se debe colocar al muestreador en la parte alta de la duna, donde el transporte de sedimentos es máximo, ya que una medición en la parte baja induciría errores importantes. Cuando las dunas son pequeñas la posición no importa.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Conclusiones

Se diseñó, simuló y calibró el muestreador Bl-Grijalva. Sus pruebas en campo arrojaron resultados alentadores sobre su aplicación.

El tipo de apilado propuesto permite el muestreo simultaneo sobre la misma vertical partiendo del fondo hasta los 0.5 metros, característica única en un muestreador de este tipo. Lo que se traduce en una reducción significativa de los tiempos de muestreo.

Si bien la generalidad de los criterios básicos para la estimación de los parámetros de la hidráulica fluvial ha cambiado de forma significativa, y se han tenido mejoras en los equipos de aforo de corrientes, los equipos que se utilizan en la medición de sedimentos han tenido poco avance. Ante este hecho, este trabajo aportó elementos e ideas prácticas, basadas en la experiencia adquirida en aforos de sedimentos en campo, para mejorar las técnicas de muestreo, con una reducción sustancial de los tiempos de medición.

Aún falta mucho por hacer; sin embargo, se tienen las bases para hacerlo. Siempre con el objetivo de mejorar la calidad de los datos, lo que se traduce en un mejor entendimiento de los procesos morfológicos en ríos.

Desconocer los procesos fluviales y el papel que juega en estos los sedimentos, resulta en altos costos para la comunidad, por los daños producidos a la infraestructura fluvial

Productos generados de esta investigación.

- Generación de artículo "MEJORA DEL MUESTREADOR DE SEDIMENTOS BL-84: MODELO HIDRODINÁMICO" y participación como ponente del artículo en XXII Congreso Nacional De Hidráulica, Acapulco, Guerrero, México, Noviembre 2012.

- Participación como ponente en "Curso-Taller Recursos Hidráulicos y Sistema Fluviales" con el tema "Diseño y construcción de muestrador Bl-Grijalva", realizado en Lerma de Villada, Estado de México, México del 25 al 27 de Marzo de 2015, Organizada por Universidad Autónoma Metropolitana, CBI – LERMA y Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Red de Procesos Fluviales (REPFLU).

- Diseño y Construcción del muestreador BL-Grijalva.

- Manual de uso del Muestreador BL-Grijalva

Agradecimientos

Al Dr. José Guadalupe Fabián Rivera Trejo UJAT, al Dr. Gabriel Soto Cortes UAM y al CONACYT por permitirme participar el proyecto REF _PROY: CB-2011/166068

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

REFERENCIAS

- Adams, Carolyn (1998), USDA-Natural Resources Conservation Service, Watershed Science Institute Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. USA.

- Broderick E. Davis and the Federal Interagency Sedimentation Project U.S. Geological Survey, Reston, Virginia (2005). A Guide to the Proper Selection and Use of Federally Approved Sediment and Water-Quality Samplers. Sedimentation Project U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2005

- Catálogo de General de Productos Infra (2013), Gases industriales pagina 9,10, Equipos para soldadura y oxicorte pagina 85, Información técnica página 157.

- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA 2010) "Libro del Agua Región XI, Frontera Sur" Gerencia Regional de Programación México.

- Diplas, P., and Fripp, J. B. (1992). "Properties of various sediment sampling procedures" J. Hydr. Eng. ASCE , 118(7), 955–970.

- Emmett, William W. A (1980). Field calibration of the sediment-trapping characteristics of the Helley-Smith bedload sampler. United States Government, Washington.

- Glysson, G. D. (1989). 100 years of sedimentation study by the USGS.‰ Proceedings of the International Symposium, Sediment Transport Modeling, Sam S. Y. Wang, ed., ASCE, Reston, Va., 260–265.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- Hubbell David Wellington (1964), Apparatus and techniques for measuring bedload. Washington, U.S. Govt. Print. Off.

- Kuzmin, D., Mierka, O. & Turek, S. (2007). On the implementation of the k-e turbulence model in incompressible flow solvers based on a finite element discretization.

- Maza A. J. A. y M. García F. (1996). Manual de Ingeniería de Ríos. Cap. 10. Transporte de Sedimentos. Instituto de Ingeniería de la UNAM.

- Mathias Kondolf G. (2003) Tools in Fluvial Geomorphology, University of California, Berkeley, ISBN: 0-471-49142-X.

- OMM-N° 168. (1994). "Guías de Prácticas Hidráulicas". Quinta Edición, Organización Meteorológica Mundial. 818 pp.

- Peters J. J. Ponencia (2003). "XXX IAHR CONGRESS" AUTH, THESSALONIKI, GRECE.

- Peters J. J. Ponencia (2005). "POTAMOLOGÍA INTRODUCCIÓN A LA DINÁMICA FLUVIAL" Universidad Libre de Bruselas (VUB) La Plata 25-Noviembre al 03-Diciembre.

- Rivera, F., Mejía Zermeño, R., Soto Cortés, G. & Val Segura, R., (2005). Aspectos de la medición de sedimentos en México.: La medición de sedimentos en México. Villahermosa: IMTA-UJAT, pp. 11-15.

- Rivera, F., Barajas, J., Rodríguez ., Soto G. y Val R. (2005). “Redes, equipos y estrategias de medición de sedimentos en México”. En: Rivera, T., Gutiérrez, A., Val, R., Mejía, R., Sánchez, P.A., Aparicio, J. y Díaz, L.L. (Editores). La Medición de Sedimentos en México, Ediciones IMTA-UJAT.

- Rivera Trejo Fabián., Vázquez, J.M., Mendoza J., Estrada M., y Soto, G (2008). Alteración que presenta la distribución de sedimentos en una bifurcación de un río de planicie debido a cambios morfológicos inducidos. Estudio de campo. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XXIII, No. 3, 2008, pp 49-63.

- Rivera Trejo Fabián, Tercer Seminario de Potamología (2011). “José Antonio Maza Álvarez” Agosto 2011, Tuxtla Gutiérrez Chiapas, México.

-

- Versteeg, H., and Malalasekera, W. (2007). An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. Person Education Limited, Harlow, England.

- Wilcox, D. (1998). Turbulence Modeling for CFD. s.l.:DCW Industries.Yepes García, D., 2007. emagister. [En línea] Available at: [Último acceso: 07 Marzo 2013].

Anexos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Anexo A

Artículo para generado para el XXII Congreso Nacional de Hidráulica 2012

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

AMH

XXII Congreso Nacional de Hidráulica
Acapulco, Guerrero, México, Noviembre 2012

AMH

Mejora del Muestreador de Sedimentos BL-84: Modelo Hidrodinámico

Soto Cortés Gabriel [1]
Rivera Trejo Fabián [2]
Gamboa Guiza Víctor [2]
Guaycochea Guglielmi Darío [1]
Ramírez Muñoz Jorge [1]
Méndez Antonio Baldemar [1]

(1) Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, Azcapotzalco 02200, México, D.F.
(2) Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carr. Cunduacán-Jalpa de Méndez, km 1, Col. La Esmeralda, 86690, Tabasco, México.
gsc@correo.azc.uam.mx

Introducción

Existen en el mercado diversos muestreadores de sedimentos en ríos (Rivera *et al*, 2006). Dichos instrumentos cobran especial importancia en la determinación de la carga sedimentológica que transportan las corrientes y que en el caso de la carga de fondo, es la responsable de la evolución fluviomorfológica del río. El caso particular del muestreador de sedimentos de fondo BL-84 o Helley-Smith, presenta en pruebas de laboratorio, una eficiencia cercana al 100% la cual es incluso mayor que la medida con la botella Delft (Emmet, 1988); sin embargo, tiene la desventaja de que el muestreo se hace solamente en una capa superficial del fondo, por lo que si existe transporte por encima de ese nivel queda sin ser medido.

En la práctica la determinación de la carga de fondo se realiza a través de la integración de mediciones sucesivas en la vertical. En el caso de la botella Delft, este equipo recolecta muestras de sedimentos en la vertical transportados cerca del fondo, a profundidades de 0.05, 0.10,0.20, 0.30, 0.40 y 0.50 metros del lecho del cauce, con un tiempo de medición en cada punto de al menos 4 minutos. A partir de estas muestras se determinan el gasto sólido cerca del fondo (Rivera *et al*, 2008). Por su parte el muestreador BL-84 funciona por el principio de retención de material, generalmente arena o grava en una bolsa o malla (Rivera *et al*, 2008). El equipo se baja en el punto de muestreo y se le da un tiempo de medición de entre 2 y 4 minutos, dependiendo de la cantidad de material transportado, buscando que la bolsa no se llene más allá de tres cuartas partes de su capacidad. Este procedimiento se repite al menos tres veces en cada punto de muestreo.
Además de su alta eficiencia, el muestreador BL-84 demuestra cualidades muy importantes: es un equipo de fácil operación en campo, con una calibración basada a la fecha en más de 10 mil muestras (ENCORA Project, 2012). Es a partir de estas características del BL-84, que resulta atractiva la idea de plantear una variante en el diseño que permita ampliar la zona de medición, que se limita a la altura de la boquilla que es de 0.08m, así como de reducir el tiempo de muestreo en una zona más amplia, comparado contra el de la botella Delft.

Una posibilidad es la de proponer un arreglo de muestreadores BL-84 que cubran una zona equivalente a la de la botella Delft (0 – 0.5m) pero sin tener que estar modificando las alturas de muestreo (Figura 3). En este caso la medición de velocidades, que se deben asociar a estas alturas, se recomienda sean realizadas por un medidor acústico Doppler o ADCP.

Figura 1. Botella Delft (Fuente: Fabián Rivera)

Figura 2. Muestreador BL-84 o Helley Smith

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Con el fin de contar con una herramienta de apoyo en la definición y establecimiento de los parámetros geométricos de diseño que garanticen condiciones isocinéticas del arreglo, se presentan en este trabajo las bases del modelo hidrodinámico bidimensional que permitirá acotar las variables de diseño, establecer las zonas de interferencia entre los dispositivos de medición, la alteración en el campo de velocidades aguas arriba, así como definir los arreglos que eventualmente demuestren cualidades hidrodinámicas para su evaluación experimental.

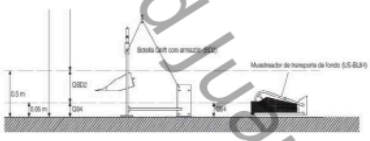


Figura 3. Rango de medición (Fuente: Rivera *et al*, 2008)

Descripción geométrica del muestreador BL-84

La Figura 4 muestra las dimensiones del BL-84 en su versión cable-suspendido. El muestreador consiste de una boquilla montada en un marco y una malla para la muestra (Figura 4).

Este diseño permite colectar muestras de arena y gravas medianas con tamaños de partícula mayores de 0.5 y 16mm para velocidades de flujo de hasta 3 m/s.

La eficiencia hidráulica del BL-84, se define como el radio de la velocidad media del agua que circula a través del muestreador, entre la velocidad media del agua si no hubiera el mismo (Emmet, 1981). Por esta razón es importante antes de proponer un prototipo, analizar numéricamente las alternativas que pudieran surgir y predecir su comportamiento.

Modelo hidrodinámico

El modelo hidrodinámico parte de las ecuaciones promediadas de Reynolds (RANS)

$$\rho\frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t}+\rho\boldsymbol{U}\cdot\nabla\mathbf{U}+\nabla\cdot\left(\overline{\rho\mathbf{u}'\otimes\mathbf{u}'}\right)=-\nabla\mathrm{P}+\nabla\cdot\mu(\nabla\mathbf{U}+(\nabla\mathbf{U})^{\mathrm{T}})+\mathbf{F} \quad (1)$$

$$\rho\nabla\cdot\boldsymbol{U}=0 \quad (2)$$

Con modelo de turbulencia $\kappa-\varepsilon$ (Wilcox, 1998), el cual introduce dos nuevas variables dependientes denominadas energía cinética turbulenta, (κ), y la tasa de disipación de energía, (ε), las cuales se relacionan a través de la viscosidad turbulenta μ_T :

$$\mu_T=\rho C_\mu\frac{\kappa^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

Por su parte las ecuaciones de transporte para $\kappa\ y\ \varepsilon$ son respectivamente

$$\rho\frac{\partial\kappa}{\partial t}+\rho\boldsymbol{u}\cdot\nabla\kappa=\nabla\cdot\left(\left(\mu+\frac{\mu_T}{\sigma_\kappa}\right)\nabla\kappa\right)+P_\kappa-\rho\varepsilon \quad (4)$$

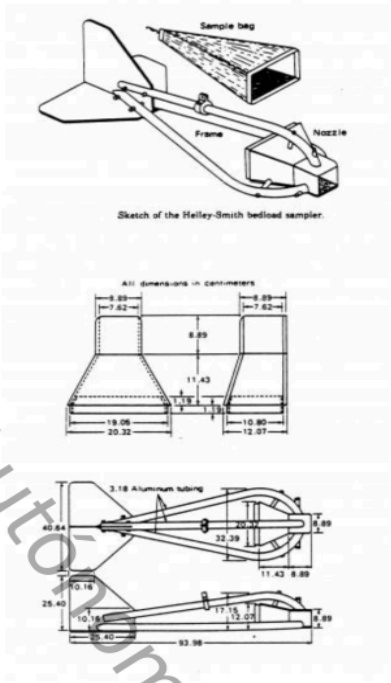


Figura 4. Dimensiones del muestreador

$$\rho\frac{\partial\varepsilon}{\partial t}+\rho\boldsymbol{u}\cdot\nabla\varepsilon=\nabla\cdot\left(\left(\mu+\frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon}\right)\nabla\varepsilon\right)+C_{\varepsilon^1}\frac{\varepsilon}{\kappa}P_\kappa-C_{\varepsilon^2}\rho\frac{\varepsilon^2}{\kappa} \quad (5)$$

y donde el término de producción

$$P_\kappa=\mu_T\left(\nabla\boldsymbol{u}:(\nabla\boldsymbol{u}+(\nabla\boldsymbol{u})^T)-\frac{2}{3}(\nabla\cdot\boldsymbol{u})^2\right)-\frac{2}{3}\rho\kappa\nabla\cdot\boldsymbol{u} \quad (6)$$

En las ecuaciones 3 a 6 las constantes $(C_\mu, C_{\varepsilon^1}, C_{\varepsilon^2}, \sigma_\kappa, \sigma_\varepsilon)$ se adoptan de Wilcox (1998) y el proceso de implementación de acuerdo con las recomendaciones de Kuzmin *et al* (2007).

Aunque en apariencia simple, el campo de flujo a reproducir representa un reto para el modelo de turbulencia $\kappa-\varepsilon$ que considera funciones de frontera basadas en estado de equilibrio que no se cumplen en las cercanías de la barrera representada por el muestreador. Por esta razón el desarrollo del modelo implica dos etapas. En la primera de ellas se

simula el flujo en un canal de aproximación de gran longitud que genere las condiciones de frontera necesarias para la segunda etapa, en la cual se simula el flujo alrededor del muestreador.

Canal de aproximación

Canal horizontal de 275 m de longitud y 2 m de tirante que permite garantizar un flujo totalmente desarrollado. El fluido es agua con viscosidad cinemática $1x10^{-6}$ m^2/s y densidad 1000 kg/m^3 y una velocidad media de 2.5 m/s como condición de entrada al canal, 3% de intensidad turbulenta y escala de longitud turbulenta de acuerdo con las recomendaciones de Versteeg y Malalasekera (1995).

Canal de prueba

Para este trabajo, por simplicidad, se optó por simular un corte longitudinal del canal que coincide con el eje de simetría del muestreador. Este parte del canal que denominamos *canal de prueba* tiene 10 m de longitud. Al fondo del mismo y justo a la mitad de su longitud se ubica el muestreador. La figura 5 muestra un acercamiento de la zona de estudio en la que se resalta la geometría del BL-84.

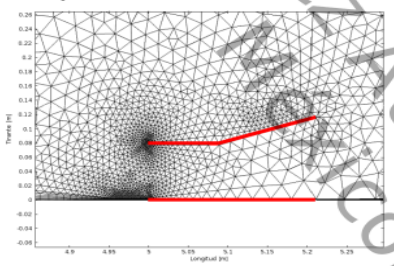


Figura 5. Inmediaciones de la zona de estudio

Resultados

La Figura 6 muestra las características hidrodinámicas del muestreador BL-84 colocado en el fondo del canal. La presencia del dispositivo no altera significativamente las condiciones aguas arriba del mismo y facilita la convergencia de las líneas de corriente en su ingreso a la boquilla. La zona de influencia de la frontera superior es a lo sumo del mismo tamaño que la altura del muestreador (15 cm) por arriba de la cual la diferencia entre la velocidad de aproximación (Eje 1, Figura 5) y la velocidad sobre el eje de la boquilla (Eje 2, Figura 5) es menor al 3.5% como se puede verificar en la Figura 6; aún en las cercanías de la boquilla, por ejemplo a 10 cm del fondo del canal sobre el Eje 2, la diferencia entre estas velocidades no excede el 10%.

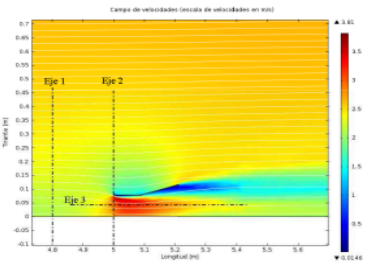


Figura 5. Líneas de corriente y campo de velocidades generado por un muestreador colocado en el fondo del canal

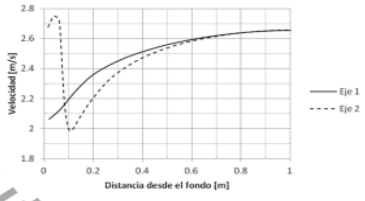


Figura 6. Perfil de velocidades sobre los ejes 1 y 2 de la Figura 5.

El gradiente de velocidades en el eje de ingreso a la boquilla es significativo (Eje 3, Figura 6). Del orden de 1 m/s en los 0.30 m previos al ingreso y de -1.15 m/s en los 0.35 m posteriores al ingreso (Figura 8). Este último debe verse incrementado por la presencia de la *malla de muestra* cuyo efecto no fue considerado en este trabajo. Estos gradientes son en buena medida responsables de la eficiencia experimental de este dispositivo.

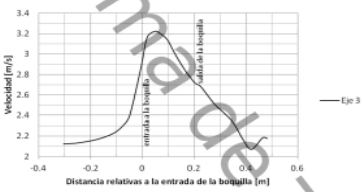


Figura 8. Perfil de velocidades sobre el eje 3 de la Figura 5.

Conclusiones

En este trabajo se abordaron las características generales de un modelo hidrodinámico para simular el flujo turbulento en las inmediaciones de un muestreador de sedimentos BL-84. El

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

modelo se basa en las ecuaciones RANS que incluyen un modelo de turbulencia $\kappa - \varepsilon$. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede verificar que el modelo:

- No presenta inconsistencias o incongruencias numéricas derivadas de las hipótesis de frontera derivadas de la aplicación del modelo de turbulencia. Lo anterior gracias a la estrategia de implementación del modelo en dos etapas; canal de aproximación y canal de prueba.
- Genera un campo de velocidades congruente con lo esperado.
- Permite estimar, en una primera aproximación, la zona de influencia del dispositivo sobre el campo de velocidades.

Respecto a este último punto, bajo las hipótesis planteadas en este trabajo, se concluye que no hay una afectación sustancial del campo de velocidades en las inmediaciones del muestreador excepto, como era de esperarse, sobre el eje de acción del mismo.

Ante este escenario las líneas de acción futura, encaminadas a la ampliación del campo de muestreo del BL-84, contemplan:

- La simulación bidimensional del BL-84 incluyendo la malla permeable.
- La simulación bidimensional del BL-84 en un arreglo apilado de dos muestreadores separados (distancia entre ejes de acción) 20 cm.
- La simulación tridimensional del BL-84 en un arreglo apilado.
- Pruebas de laboratorio.

Referencias

1. **Emmett, W.W.** (1981) "Measurement of bed load in rivres", Erosion and sediment transport measurement. IAHS. Publ. 133
2. **Emmett, W.W.** (1988) "A field calibration of sediment trapping characteristics of Helley-Smith bed load sampler", U.S. Geol. Survey. Paper No. 1139
3. **ENCORA Project** (2012). "Helley-Smith sampler (HS)". *http://www.coastalwiki.org/*. Acceso el 02 de septiembre de 2012.
4. **Kuzmin, D., Mierka, O., y Turek, S.** (2007). "On the Implementation of the *k*-ε Turbulence Model in Incompressible Flow Solvers Based on a Finite Element Discretization,". *International Journal of Computing Science and Mathematics*, Vol. 1, No. 2–4, pp. 193–206.
5. **Rivera, F., Barajas, J., Rodríguez,S ., Soto G. y Val R.** (2008). "Redes, equipos y estrategias de medición de sedimentos en México". En: Rivera, T., Gutiérrez, A., Val, R., Mejía. R., Sánchez. P.A., Aparicio, J. y Díaz, L.L. (Editores). *La Medición de Sedimentos en México*, Ediciones IMTA-UJAT.
6. **Rivera, F., Vázquez, J.M., Mendoza J., Estrada M., y Soto, G** (2008). Alteración que presenta la distribución de sedimentos en una bifurcación de un río de planicie debido a cambios morfológicos inducidos. Estudio de campo. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XXIII, No. 3, 2008, pp 49-63.
7. **Versteeg, H.K. y Malalasekera, W.** (1995). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*, Prentice Hall.
8. **Wilcox, D.C.** (1998). *Turbulence Modeling for CFD*. 2nd ed., DCW Industries.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

La Asociación Mexicana de Hidráulica, A. C.

Otorga el presente

Reconocimiento

a: Gamboa Guiza Víctor

Por su participación como ponente de la mesa

"MECÁNICA DE FLUIDOS"

Acapulco, Gro. Del 7 al 9 de Noviembre de 2012

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés
Presidente

Dr. Gustavo A. Paz Soldán C.
Director Técnico

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Anexo B

Diploma por ponencia en Curso-Taller

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Lerma

La División de Ciencias Básicas e Ingeniería
otorga la presente

Constancia

A: Víctor Gamboa Guiza

Por su conferencia magistral
"Diseño y construcción de muestrador BI-Grijalva"
como parte del *Curso-Taller Recursos Hidráulicos y Sistemas Fluviales*
Lerma de Villada, México, 25 al 27 de Marzo de 2015.

Dr. Gabriel Soto Cortés
Director de la División de CBI
Unidad Lerma

Dr. Fabián Rivera Trejo
Coordinador General de la Red
de procesos Fluviales (REPFLU)

FLUVIZOVO Tecnología en ríos

LERMAS CONFIANZA Y RESULTADOS

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Lerma

La División de Ciencias Básicas e Ingeniería
otorga el presente
Reconocimiento
A: Víctor Gamboa Guiza

Por su participación en el Curso-Taller
Recursos Hidráulicos y Sistemas Fluviales
con duración de 15 horas, del 25 al 27 de marzo de 2015,
Lerma de Villada, México.

Dr. Gabriel Soto Cortés
Director de la División de CBI
Unidad Lerma

Dr. Fabián Rivera Trejo
Coordinador General de la Red
de procesos Fluviales (REPFLU)

FLUVIZOO
Tecnología en ríos

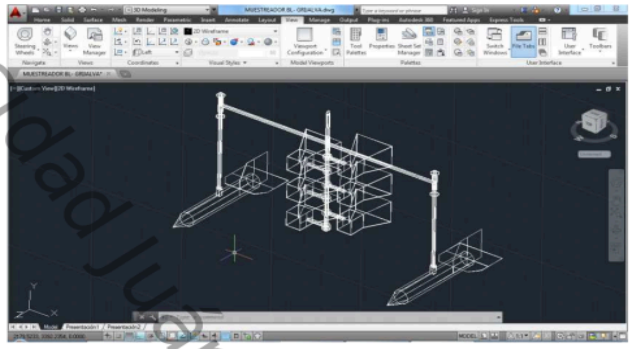
LERMARES
CONFIANZA Y RESULTADOS

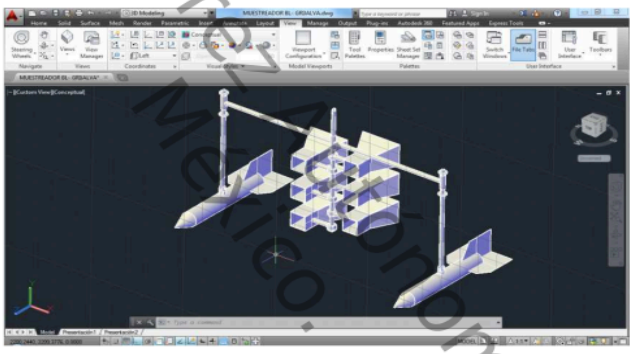
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Anexo C

Diseño y construcción del muestreador BL-Grijalva



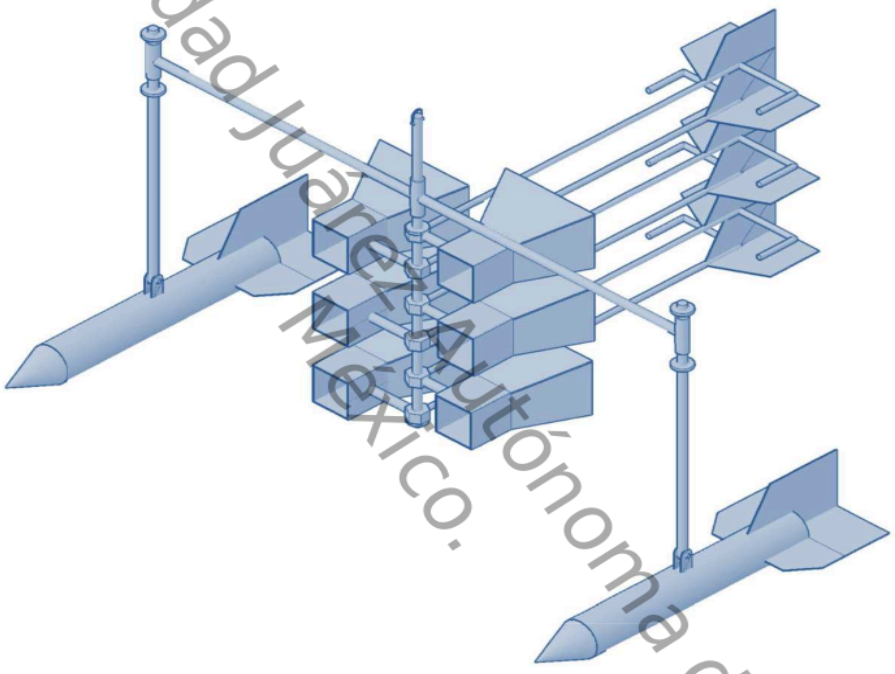


Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Anexo D

Manual del usuario



Muestreador BL-Grijalva

PARA MUESTREO DE SEDIMENTOS DE FONDO EN RÍOS DE PLANICIE

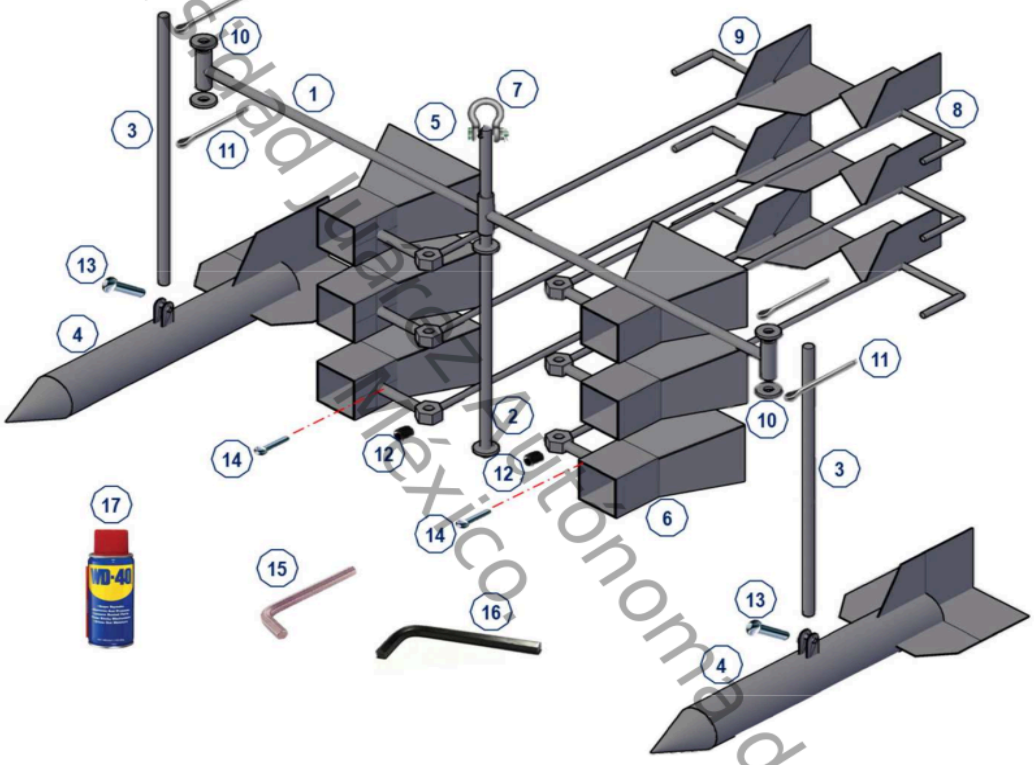
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

PARTES QUE DE QUE SE COMPONE EL MUESTREADOR BL-GRIJALVA

ITEM	DESCRIPCIÓN	QTY
1	Bastidor principal Fabricado en acero al carbón para montaje de varillas	1
2	Varilla central en acero inoxidable para montaje de boquillas Helley Smith	1
3	Varillas laterales fabricada en acero inoxidable para montaje de contrapesos	2
4	Contrapesos con estabilizador de 25 Kg cada uno	2
5	Boquillas Helley Smith en acero inoxidable calibre 20 para montaje lado izquierdo	3
6	Boquillas Helley Smith en acero inoxidable calibre 20 para montaje lado derecho	3
7	Grillete $^{1}/_{4}$" hierro fundido con tornillo pasador para izaje principal	1
8	Brazo con estabilizador para montaje de boquilla lado izquierdo en acero inoxidable	3
9	Brazo con estabilizador para montaje de boquilla lado derecho en acero inoxidable	3
10	Rondana plana de $^{5}/_{8}$" diámetro interior para tope de varilla	5
11	Pasador tipo chaveta de 3/16" para tope de varilla	5
12	Tornillo opresor acero al carbón $^{3}/_{16}$" x $^{3}/_{16}$" rosca std cabeza llave Allen	6
13	Tornillo 3/16" x 1 ½" rosca estándar acero inoxidable con tuerca y arandela plana	6
14	Tornillo $^{1}/_{4}$" x 1 ½" rosca estándar acero inoxidable con tuerca y arandela plana	2
15	Llave Allen $^{1}/_{8}$" para tornillo opresor $^{3}/_{16}$" (tornillos de sujeción de boquillas)	2
16	Llave Allen $^{3}/_{16}$" para tornillo $^{1}/_{4}$" (tornillo de sujeción de contrapesos)	2
17	Lubricante multi usos en aerosol WD-40	1

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

DIAGRAMA DE ENSAMBLE DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA



Nota: para uso de este equipo se requiere una grúa la cual puede ser montada en una lancha o apoyada sobre la baranda de un puente, la grúa tener como mínima la capacidad de 300kg, y usar cable de acero con diámetro $\geq {}^{3}/_{16}$". Se requieren seis bolsas tipo calcetín las cuales no vienen incluidas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

INSTRUCCIONES DE ARMADO DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA

1. Realice un Check list de todas las partes que componen el muestreador BL-Grijalva de acuerdo al diagrama de ensamblado para ver dónde va colocada cada pieza.
2. Lubrique los bujes del bastidor principal para un fácil montaje de la varilla principal y las varillas para contrapesos.
3. Comience armando el bastidor principal en conjunto con la varilla principal, coloque la arandela para tope y posteriormente el seguro tipo chaveta.
4. Coloque las varillas de los contrapesos en las orejas de los contrapesos y aseguras con el torillo pasante $^{3}/_{16}$" x 1 ½" colocando la tuerca de seguridad.
5. Coloque la arandela de tope inferior con su seguro tipo chaveta en cada varilla para contrapeso.
6. Introduzca cada varilla de los contrapesos en los bujes de los extremos del bastidor principal y coloque la rondana de tope superior de cada varilla, así como su seguro tipo chaveta.
7. Arme el conjunto boquilla con su respectivo brazo con estabilizador, colocando su respectivo tornillo pasante de $^{3}/_{16}$" x 1 ½", asegúrese de colocar su rondana y tuerca de seguridad, revise que tenga su tornillo opresor para sujeción a la varilla principal.
8. Ahora puede ir montando el conjunto de boquillas con sus respectivos brazos estabilizadores en la varilla principal, dando el ajuste de separación requerido entre cada boquilla para poder lograr la medición continua en la vertical de muestreo deseada.
9. Una vez colocadas las boquillas, coloque la bolsa tipo calcetín para la recolección de sedimentos.
10. Libere cable la grúa hasta que le permita colocar el gancho de la grúa en el grillete para izaje y ayude a levantar el equipo hasta que el clave de la grúa soporte el peso del muestreador.
11. Antes de comenzar a bajar el equipo asegúrese que se encuentran alineados los dos contrapesos con los estabilizadores de las boquillas.

INSTRUCCIONES DE USO DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA

Antes de comenzar a usar el muestreador BL-Grijalva ya debe tomar en cuenta lo siguiente:

1. Definir la función que realizará cada personal de la cuadrilla, ya sea muestreo de sobre una lancha o desde un puente.
2. Conocer el caudal líquido y tirante que se tiene al momento del muestreo de sedimentos de fondo, el aforo puede ser mecánico o con un perfilador acústico.
3. Tener identificadas el número de verticales donde se realizará el muestreo.
4. Definir el tiempo de muestreo, 2 o 4 minutos, cuidar que el llenado de la bolsa no rebase tres cuartas partes de su capacidad.
5. Tener identificado donde se depositarán las muestras obtenidas e identificarlas para su posterior tratamiento.
6. Cuando se comience a bajar el equipo, hágalo de forma lenta y segura, y antes que haga contacto con el agua, si e equipo se giró esperar que se encuentre alineado a las líneas de corriente para comenzar a sumergirlo.
7. Sumerja el equipo a una velocidad constante y vaya revisando la tensión del cable que lo sujeta, cuando pierda tensión indicará que habrá tocado fondo, cuidar que el cable no quede holgado y comenzará a contar el tiempo de muestreo.
8. Una vez cumplido el tiempo establecido para muestreo comience a levantar el equipo lentamente y a una velocidad constante hasta lograr sacarlo del agua y poder colocarlo en donde se puedan retirar las bolsas topo calcetín con las muestras obtenidas.
9. Antes de volver a sumergir el equipo para otro muestreo, coloque nuevamente las bolsas tipo calcetín para las muestras de sedimentos. Es recomendable tener dos juegos de bolsas para que mientras se sumerge el equipo en una vertical con un juego de bolsas, se vacíen las muestras del otro juego y se laven y de esta manera ir alternado los juegos de bolsas y optimizar tiempo, de lo contrario habrá que esperar que se vacíen las muestras y se laven las bolsas que se estarán usando todo el tiempo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

RECOMENDACIONES POSTERIOR AL USO DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA

1. Para desarmar el equipo se recomienda retirar primero las boquillas junto con su aleta estabilizadora, utilizando la llave allen 1/8" para retirar tornillo opresor.
2. Quitar los seguros tipo chaveta y rondanas de tope superior de las varillas de los extremos de los contrapesos para poder retirarlos del bastidor.
3. Retirar las varillas de los contrapesos quitando el tornillo que sujeta las varillas.
4. Quitar el seguro tipo chaveta y la rondana de tope para sacar la varilla central del bastidor.
5. Lavar el equipo antes de guardarlo por para asegurar se guarde limpio.
6. Secar las piezas que conforman el muestrador, BL-Grijalva y aplicar lubricante DW-40 a bujes, varillas y tornillería para prevenir herrumbre.

PRECAUCIÓN

- No se use en ríos con velocidades mayores a 2 m/s, Ni tirantes mayores a 7 metros, ya que el equipo no fue diseñado ni se ha probado con condiciones superiores a las que se indican, por lo que no se asegura un correcto funcionamiento.
- Evite usarlo en corrientes donde se arrastren palos o basuras, esto pudiera dañar el equipo o atorar y llegar reventar el cable de izaje.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DISEÑO EXPERIMENTAL Y CONSTRUCCIÓN DEL MUESTREADOR BL-GRIJALVA

ORIGINALITY REPORT

12%
SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	www.gob.mx Internet	612 words — 5%
2	www.vliz.be Internet	214 words — 2%
3	transparencia.tabasco.gob.mx Internet	121 words — 1%
4	ww1.gaceta.udg.mx Internet	100 words — 1%
5	upcommons.upc.edu Internet	84 words — 1%
6	b1329a2e-8e55-4b91-9307-0e0374871884.filesusr.com Internet	81 words — 1%
7	docplayer.es Internet	65 words — 1%
8	1library.co Internet	60 words — < 1%
9	hdl.handle.net Internet	37 words — < 1%
10	www.uned.es	

Internet

33 words — < 1%

11 repositorio.unsa.edu.pe
Internet

28 words — < 1%

12 tesis.ipn.mx
Internet

27 words — < 1%

13 ri.ujat.mx
Internet

23 words — < 1%

14 www.imta.gob.mx
Internet

22 words — < 1%

15 2006-2012.conacyt.gob.mx
Internet

21 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES	ON	EXCLUDE SOURCES	OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY	ON	EXCLUDE MATCHES	< 20 WORDS