

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL
PARA EL DISEÑO DE ESTABILIDAD DE GRANDES
ESTRUCTURAS DE MADERA PARA DEFENSAS RIBEREÑAS
APLICADO AL TRAMO LA PASTORA DEL RIO MADRE DE
DIOS – PERÚ”**

TESIS

PRESENTADO POR:

HUARANCA QUISPE LUIS ANTONY

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL
DISEÑO DE ESTABILIDAD DE GRANDES ESTRUCTURAS DE MADERA PARA
DEFENSAS RIBEREÑAS APLICADO AL TRAMO LA PASTORA DEL RIO
MADRE DE DIOS - PERÚ”

TESIS PRESENTADO POR:

HUARANCA QUISPE LUIS ANTONY

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL



FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 DE JUNIO DEL 2018

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:



ING. ZENÓN MELLADO VARGAS

PRIMER MIEMBRO:



ING. GUILLERMO NÉSTOR FERNANDEZ SILA

SEGUNDO MIEMBRO:



ING. NÉSTOR ELOY GONZALES SUCASAIRE

DIRECTOR:



M.Sc. EDGAR VIDAL HURTADO CHAVEZ

Tema: Defensas ribereñas con troncos de madera.

Área: Hidráulica.

Línea de Investigación: Hidráulica y Medio Ambiente.

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre silveria.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

Sobre todo dedico esta tesis “A esa mujer que no necesito de ningún hombre para que yo esté aquí y aunque la analogía es tan obvia. Sabrás que solo te hablo a ti Mamá”.

A mis familiares.

A mi tía Saida, a mi tía Sonia, a mi tía Ana, a mi tía Margot, a mi tía Elodia, a mi tío Elías, a mi tío Fredy, a mi tío Moisés y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

Luis Antony Huaranca Quispe

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco a Dios por guiarme y cuidarme, al igual que a mi madre Silveria Quispe Cacha por su apoyo incondicional.

Expreso mi agradecimiento a todos los docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, y en especial a mi Director de Tesis Ms. Ingeniero Edgar Vidal Hurtado Chávez, quien con mucha tolerancia en todo momento, estuvo predispuesto para el apoyo en el asesoramiento de esta tesis. A mis jurados por sus consejos y apoyo brindado, Ingeniero Zenón Mellado Vargas, Ingeniero Guillermo Néstor Fernández Sila e Ingeniero Néstor Eloy Gonzales Sucasaire.

Agradezco a mi tutor Julio Martín Kuroiwa Zevallos, que con su guía, apoyo y confianza brindada dieron la seguridad necesaria para culminar este trabajo.

Agradezco a mi amigo Ingeniero Luis Fernando Castro Inga por su confianza brindada en la participación de los proyectos del Laboratorio Nacional de Hidráulica.

Agradezco al ingeniero Pedro Rodríguez Huanca por guiarme en este mundo de la Ingeniería Hidráulica.

Gracias a Alfredo Jacay, Jhostyn Nina, Walter Chuan, Deivi Huaraca, Jhon Bautista, Ruben Figueroa por su compañerismo y ayuda en la etapa de experimentación.

Gracias al personal del Laboratorio Nacional de Hidráulica: Al Ing. Miguel Zubiaur, Sr. Hugo Saca, Sr. Gilberto Esquivez, Sr. Fredy Sánchez, Sr. German Quinte, Srta. Irma Alpaca, Israel Chuquimajo y Pablo Porro quienes me ayudaron en la etapa de la reconstrucción y experimentación del modelo físico.

Gracias a mis queridas amigas Lucero Anaya, Maribel Chipana y Carmen Bustinza por haberme escuchado y aconsejado en esta etapa de mi vida.

Gracias a mis compañeros de la Universidad, por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	17
1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVO ESPECIFICO.....	18
CAPITULO II	20
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
2.1. GENERALIDADES.....	20
2.2. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	21
2.3. CONCEPTOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL.....	25
2.4. CRITERIOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE CONTROL DE FLUJO	62
CAPITULO III	85
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	85
3.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	85
3.2. MODELO FÍSICO Y DESCRIPCIÓN DE INSTALACIONES	86
3.3. EQUIPOS Y MATERIALES	98
3.3.1. EQUIPOS DE CAMPO	98
3.3.2. EQUIPOS DE GABINETE.....	99
3.3.3. MATERIALES	99
3.4. MIGRACIÓN LATERAL DEL RÍO MADRE DE DIOS	100
3.4.1. IMÁGENES SATELITALES.....	100
3.4.2. COMPOSICIÓN DE BANDAS.....	101
3.4.3. COMBINACIÓN DE BANDAS	103
3.4.4. DELIMITACIÓN DE LAS MÁRGENES DEL RIO	103
3.5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO MADRE DE DIOS.....	105
3.5.1. INFORMACIÓN BASICA.....	105
3.5.2. MODELACION CON IBER 2.4.3.....	105
3.5.3. CALIBRACIÓN DEL MODELO	116
3.5.4. RESULTADOS DEL PROGRAMA IBER.....	123
3.5.5. CÁLCULO DE SOCAVACIÓN.....	124
3.6. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL.....	127
3.6.1. DESARROLLO DEL PROGRAMA.....	127
3.6.2. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN	127
3.6.3. MÉTODOS NUMÉRICOS.....	131

3.6.4. MARCO DEL PROGRAMA.....	132
3.7. PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS.....	143
3.7.1. APERTURA DE VÁLVULAS	144
3.7.2. LECTURA DE TIRANTES	147
3.7.3. LECTURA DE VELOCIDADES	154
3.7.4. FLUORESCÉINA Y TECNOPOR	160
CAPITULO IV	162
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	162
4.1. RESULTADOS DE VELOCIDADES DE LOS ENSAYOS EN EL MODELO FÍSICO.....	162
4.2. RESULTADOS DE TIRANTES OBTENIDOS DEL MODELO FÍSICO.....	174
4.3. RESULTADOS DE ESTABILIDAD POR LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	178
4.4. RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	181
4.4.1. MANUAL DE USUARIO DEL SOFTWARE DSLOG.....	181
4.4.2. INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	187
4.5. GEOMORFOLOGÍA DEL CAUCE	189
4.6. DISCUSIÓN	192
4.6.1. TESIS DE INVESTIGACIÓN	193
4.6.2. PROYECTO DE REINTRODUCCIÓN DE MADERA EN EL RIO WILLIAMS	193
4.6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS	193
CAPITULO V	195
5. CONCLUSIONES	195
CAPITULO VI	197
6. RECOMENDACIONES	197
CAPITULO VII	198
7. REFERENCIAS.....	198
ANEXOS	200
ANEXO 1: CARTA DE VALIDACION DE ENSAYOS EN EL MODELO FISICO DEL LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA.....	201
ANEXO 2: ESTUDIO DE HIDROLOGIA “DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”	204
ANEXO 3: ESTUDIO DE SUELOS “DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”	241
ANEXO 4: ESTUDIO DE BATIMETRIA “DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”	264
ANEXO 5: ESTUDIO DE TOPOGRAFIA “DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”	285
ANEXO 6: CAMPAÑA DE AFORO EN PUERTO MALDONADO, SECTOR LA PASTORA - INSTITUT DE RESERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT.	298

ANEXO 7: CÓDIGO DEL PROGRAMA	309
ANEXO 8: TABLAS DE VELOCIDADES	323
ANEXO 9: TABLA DE TIRANTES Y GRAFICAS	334
ANEXO 10: COMPARACIÓN DE BATIMETRIA	355
ANEXO 11: PLANOS	371

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CUENCA DEL RÍO MADRE DE DIOS.	21
FIGURA 2: SUBDIVISIÓN DE LAS SUBCUENCAS CON EL MÉTODO DE PFAFSTETTER-.....	24
FIGURA 3: CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL PUNTO A Y B.....	26
FIGURA 4: RÍO RECTO.....	28
FIGURA 5: RÍO TRENZADO.	28
FIGURA 6: RÍO MEANDRO.	29
FIGURA 7: CLASIFICACIÓN GENERAL DE RÍOS.	30
FIGURA 8: ESQUEMA PARA LA DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA (CUANTITATIVA).	31
FIGURA 9: CLASIFICACIÓN DE CORRIENTES.	32
FIGURA 10: ESQUEMA DE UN CANAL CUALQUIERA.....	33
FIGURA 11: DIAGRAMA DEL PARÁMETRO DE SHIELDS.	34
FIGURA 12: FLUJO EN RÍOS CURVOS.....	36
FIGURA 13: ESTABILIDAD Y EQUILIBRIO EN RÍOS CURVOS.....	38
FIGURA 14: DEFINICIÓN ESQUEMÁTICA DE UN RÍO MEÁNDRICO.....	39
FIGURA 15: FORMA EN PLANTA DE UN MEANDRO.....	40
FIGURA 16: GEOMETRÍA EMPÍRICA DE MEANDROS – DIAGRAMA DE LEOPOLD, 1960.....	41
FIGURA 17: GEOMETRÍA EMPÍRICA DE MEANDRO – DIAGRAMA DE ACKERS Y CHARLTON, 1970.....	41
FIGURA 18: MIGRACIÓN DE UN MEANDRO – VISTA EN PLANTA.	42
FIGURA 19: EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN RÍOS MEANDROS.	43
FIGURA 20: RELACIÓN DE MIGRACIÓN LATERAL.....	44
FIGURA 21: TASAS DE MIGRACIÓN RELATIVA.	45
FIGURA 22: TRANSPORTE DE FONDO O POR ARRASTRE.	46
FIGURA 23: TRANSPORTE POR SALTO.	46
FIGURA 24: TRANSPORTE DE SUSPENSIÓN.....	46
FIGURA 25: ÁNGULO DE REPOSO PARA FORMAS SIMPLES.	48
FIGURA 26: ÁNGULO DE REPOSO DEPENDIENDO DE LA ORIENTACIÓN DE LA PARTÍCULA.	48
FIGURA 27: ÁNGULO DE REPOSO PARA DIÁMETROS DE ESFERAS DIFERENTES.....	49
FIGURA 28: PROTECCIÓN CON SUELO – CEMENTO.	51
FIGURA 29: PROTECCIÓN CON SACOS Y BLOQUES.	52
FIGURA 30: PROTECCIÓN CON FAJO DE RAÍCES.....	53
FIGURA 31: PROTECCIÓN CON VANE – FORMA VANE ALA J.	53
FIGURA 32: PROTECCIÓN CON RETARDS.....	54
FIGURA 33: PROTECCIÓN CON HARDPOINT.....	55
FIGURA 34: PROTECCIÓN CON ESPIGONES.	56
FIGURA 35: PROTECCIÓN DE ATASCO NATURAL.	57
FIGURA 36: SOCAVACIÓN EN PILARES.....	58
FIGURA 37: VÓRTICE DE HERRADURA Y VÓRTICE DE ESTELA.	59
FIGURA 38: TIPOS DE PILARES.	59
FIGURA 39: VÓRTICES QUE OCASIONAN LA SOCAVACIÓN EN ESTRIBOS.	61
FIGURA 40: LOCALIZACIÓN DE ESPIGONES EN PLANTA.	63
FIGURA 41: SEPARACIÓN ENTRE ESPIGONES.	63
FIGURA 42: LONGITUD DE TRABAJO (L_T) Y LONGITUD DE EMPOTRAMIENTO (L_A).	64
FIGURA 43: SEPARACIÓN DE ESPIGONES EN CURVAS REGULARES.....	65
FIGURA 44: SEPARACIÓN DE ESPIGONES EN CURVAS DE DOS O MÁS RADIOS.	66
FIGURA 45: ÁNGULO DE DESVIACIÓN (β) ENTRE ESPIGONES.....	66
FIGURA 46: MÉTODO PARA DETERMINAR EL ESPACIAMIENTO ENTRE ESPIGONES EN ORILLAS CURVAS.....	67
FIGURA 47: ESPIGÓN EN ÁNGULO RECTO.	69
FIGURA 48: ESPIGÓN CON INCLINACIÓN AGUAS ARRIBA.	69
FIGURA 49: ESPIGÓN CON INCLINACIÓN AGUAS ABAJO.	69
FIGURA 50: FAJO DE RAÍCES.....	70
FIGURA 51: DEFLECTORES DE TRONCO.	70
FIGURA 52: VERTEDERO DE TRONCO.....	71

FIGURA 53: REVESTIMIENTO CON ÁRBOLES.	71
FIGURA 54: LOS BENCH JAMS DENTRO DE UN RÍO MEANDRICO.	72
FIGURA 55: LOS ATASCOS DE DEFLEXIÓN DE FLUJO.....	72
FIGURA 56: ATASCOS DE BAR APEX JAMS.....	73
FIGURA 57: DESVIADORES DE FLUJO.	73
FIGURA 58: VARIACIÓN DEL COEFICIENTE DE ARRASTRE VS RELACIÓN DE BLOQUEO.	80
FIGURA 59: COEFICIENTE DE PROFUNDIDAD DEBIDO A LA PROFUNDIDAD DEL CANAL.....	82
FIGURA 60: COEFICIENTE DE BLOQUEO.....	82
FIGURA 61: DIAGRAMA PARA UN TRONCO EMPOTRADO.	84
FIGURA 62: UBICACIÓN DEL PROYECTO.	85
FIGURA 63: ZONA DE ESTUDIO ENTRE EL PUNTO A Y PUNTO B.	86
FIGURA 64: LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA (LNH).	87
FIGURA 65: COLOCACIÓN DE TARUGOS A UNA DETERMINADA COTA.	89
FIGURA 66: CURVA GRANULOMÉTRICA DE UNA MUESTRA DEL LECHO DEL RÍO MADRE DE DIOS, SECTOR LA PASTORA.....	89
FIGURA 67: VISTA DE LA PERMEABILIDAD Y EMPOTRAMIENTO DE LOS ESPIGONES.....	92
FIGURA 68: COLOCACIÓN DE LOS ESPIGONES ELJ EN EL LADO CÓNCAVO DEL CANAL EXPERIMENTAL.....	93
FIGURA 69: VISTA TRASERA DE LOS TANQUES METÁLICOS, VERTEDEROS ABASTECEDORES DEL CANAL EXPERIMENTAL.	96
FIGURA 70: VISTA AÉREA DE LOS TANQUES, POZA DE CALIBRACIÓN Y LIMNIMETRO.....	96
FIGURA 71: PARTE FINAL DEL MODELO. LAS FLECHAS VERDES INDICAN LA RECIRCULACIÓN DEL FLUJO.	97
FIGURA 72: VECTRINO NORTEK.	98
FIGURA 73: LAPTOP CONECTADA AL VECTRINO.	98
FIGURA 74: CÁMARA GOPRO HERO 4.....	98
FIGURA 75: EQUIPO SCANNER 3D.	99
FIGURA 76: EQUIPOS TOPOGRÁFICOS.....	99
FIGURA 77: REGLA PARA COLOCACIÓN DE TARUGOS.	100
FIGURA 78: ZONA DE ESTUDIO “LA PASTORA”.....	103
FIGURA 79: MIGRACIÓN LATERAL DE “LA PASTORA”, LÍNEA ROJA ES DEL AÑO 2000 Y LÍNEA NARANJA ES DEL AÑO 2015.	104
FIGURA 80: COEFICIENTE DE MANNING PARA LA LLANURA DE INUNDACIÓN.	107
FIGURA 81: PASANDO DE SUPERFICIE A DEM EN CIVIL3D.	108
FIGURA 82: GUARDANDO EL ARCHIVO DEM EN UNA CARPETA DE TRABAJO.....	108
FIGURA 83: EXPORTANDO EL ARCHIVO DE SUPERFICIE A DEM.	109
FIGURA 84: ARCHIVO DEM EXPORTADO EN LA CARPETA DESTINADA.....	109
FIGURA 85: CREANDO UN NUEVO PROYECTO EN ARCGIS.....	109
FIGURA 86: IMPORTANDO DEM A ARCGIS.	110
FIGURA 87: CREACIÓN DE SHAPEFILE PARA MANNING.	110
FIGURA 88: POLÍGONO DE MANNING.	111
FIGURA 89: COLOCACIÓN DEL ID PARA IDENTIFICAR EL MANNING EN IBER.....	111
FIGURA 90: CAMBIO DE SHAPEFILE DE MANNING A RASTER.....	112
FIGURA 91: CAMBIO DE RASTER A ASCII.....	112
FIGURA 92: CREANDO UN NUEVO PROYECTO EN IBER.	113
FIGURA 93: IMPORTANDO EL ARCHIVO ASCII EN IBER.....	113
FIGURA 94: ASIGNACIÓN AUTOMÁTICA DE LA RUGOSIDAD.	113
FIGURA 95: COLOCACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONTORNO.	114
FIGURA 96: CONDICIÓN DE ENTRADA.....	114
FIGURA 97: ASIGNACIÓN DEL COEFICIENTE DE MANNING.	114
FIGURA 98: COLOCACIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA.	115
FIGURA 99: TIEMPO MÁXIMO DE SIMULACIÓN Y TIEMPO DE INTERVALO DE RESULTADOS.	115
FIGURA 100: SALIDA DE RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO.....	116
FIGURA 101: UBICACIÓN REFERENCIADA DE LA SECCIÓN DE ESTUDIO DEL IRD.....	117
FIGURA 102: GRÁFICA CAUDAL VS NIVEL DE AGUA DEL RÍO MADRE DE DIOS, ZONA LA PASTORA.....	117
FIGURA 103: SECCIONES DE LECTURA DE VELOCIDADES POR EL LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA.	119
FIGURA 104: RESULTADOS DEL IBER PARA LA SECCIÓN 1 CON UN CAUDAL DE 1178.45 M ³ /s.....	120
FIGURA 105: RESULTADOS DEL IBER PARA LA SECCIÓN 2 CON UN CAUDAL DE 1134.49 M ³ /s.....	121

FIGURA 106: RESULTADOS DEL IBER PARA LA SECCIÓN 3 CON UN CAUDAL DE 1133.62 M ³ /s.....	122
FIGURA 107: RESULTADOS DEL IBER – MAPA DE VELOCIDADES PARA UN CAUDAL DE 14341 M ³ /s.....	123
FIGURA 108: RESULTADOS IBER – MAPA DE TIRANTES PARA UN CAUDAL DE 14341 M ³ /s.....	124
FIGURA 109: SECCIÓN TÍPICA DE LA CURVA DEL MEANDRO.....	125
FIGURA 110: SOCAVACIÓN LOCAL EN EL EXTREMO DEL ESPIGÓN.....	126
FIGURA 111: INTERSECCIÓN DEL FLUJO POR LOS ESTRIBOS O ESPIGONES. MÉTODO DE ARTAMONOV.....	126
FIGURA 112: DIAGRAMA DE FLUJO DEL DISEÑO DE ESTABILIDAD DE GRANDES ESTRUCTURAS DE MADERA.....	131
FIGURA 113: INTERFAZ DEL INICIO DEL PROGRAMA DSLOG.....	132
FIGURA 114: INTERFAZ DEL DISEÑO DE KNUTSON Y FEALKO.....	133
FIGURA 115: ABRIENDO UN ARCHIVO FORMATO .TXT PARA EL LLENADO DE DATOS.....	134
FIGURA 116: CORRIENDO EL PROGRAMA Y CUADRO DE DATOS SUBIDOS CORRECTAMENTE.....	135
FIGURA 117: DESTINO DEL REPORTE DEL DISEÑO DE ESTABILIDAD.....	135
FIGURA 118: REPORTE DE DISEÑO DE KNUTSON Y FEALKO – PARTE 1.....	136
FIGURA 119: REPORTE DE DISEÑO DE KNUTSON Y FEALKO – PARTE 2.....	137
FIGURA 120: REPORTE DE DISEÑO DE KNUTSON Y FEALKO – PARTE 3.....	138
FIGURA 121: REPORTE DE DISEÑO DE KNUTSON Y FEALKO – PARTE 4.....	139
FIGURA 122: REPORTE DE DISEÑO DE KNUTSON Y FEALKO – PARTE 5.....	140
FIGURA 123: INTERFAZ DE DISEÑO DE BROOKS.....	141
FIGURA 124: INTERFAZ DE DISEÑO DE TECHNICAL SUPPLEMENT 14J.....	141
FIGURA 125: INTERFAZ DE DISEÑO DE WRIGHT.....	142
FIGURA 126: INTERFAZ DE DISEÑO DEL LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA.....	142
FIGURA 127: INICIO DEL ENSAYO CON UN CAUDAL DE 64.19 L/s.....	145
FIGURA 128: PLANO EN PLANTA DEL MODELO “LA PASTORA”.....	146
FIGURA 129: UBICACIÓN DEL PUNTO C-1, PARA CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	146
FIGURA 130: PUNTO C-1 EN EL MODELO FÍSICO CALIBRADO.....	147
FIGURA 131: PUNTOS DE REFERENCIAS DEL MODELO FÍSICO.....	148
FIGURA 132: PLANO DE SECCIONES NORMALES, ENSAYO 1.....	149
FIGURA 133: PUNTOS DE LECTURA DE SECCIONES NORMAL – ENSAYO 01.....	150
FIGURA 134: PUNTOS DE LECTURA DE SECCIONES NORMAL – ENSAYO 03.....	151
FIGURA 135: PUNTOS DE LECTURA DE SECCIONES NORMAL – ENSAYO 04.....	152
FIGURA 136: PUNTOS DE LECTURA DE SECCIONES NORMAL – ENSAYO 06.....	153
FIGURA 137: LECTURA DE BM3 PARA LA OBTENCIÓN DE NIVELES DE AGUA EN EL MODELO FÍSICO.....	154
FIGURA 138: PUENTE METÁLICO CON SILLA MOVIBLE.....	154
FIGURA 139: LECTURA DE VELOCIDADES CON VECTRINO.....	155
FIGURA 140: PLANO DE SECCIONES DE MEDICIONES DE VELOCIDADES DE LOS ESPIGONES, ENSAYO3.....	156
FIGURA 141: DETALLE DE LAS SIGLAS DE LAS SECCIONES PARA MEDICIÓN DE VELOCIDADES EN LOS ESPIGONES.....	156
FIGURA 142: PLANO DE SECCIONES DE MEDICIONES DE VELOCIDADES DE LOS ESPIGONES, ENSAYO 4.....	158
FIGURA 143: PLANO DE SECCIONES DE MEDICIONES DE VELOCIDADES DE LOS ESPIGONES, ENSAYO 6.....	159
FIGURA 144: INCORPORACIÓN DE FLUORESCÉINA AL FLUJO.....	160
FIGURA 145: VISTA ÁREA DE LA FLUORESCÉINA PARA VER LA DIRECCIÓN DEL FLUJO.....	160
FIGURA 146: COLOCACIÓN DE TECNOPOR.....	161
FIGURA 147: ARCHIVOS DE DATOS DE VELOCIDADES, PRE-PROCESO.....	162
FIGURA 148: VELOCIDADES PROCESADAS EN LA DIRECCIÓN X Y SU SUAVIZADO.....	163
FIGURA 149: LÍNEA DE FLUJO – ENSAYO 1.....	164
FIGURA 150: LÍNEA DE FLUJO – ENSAYO 3.....	165
FIGURA 151: LÍNEA DE FLUJO – ENSAYO 4.....	166
FIGURA 152: LÍNEA DE FLUJO – ENSAYO 6.....	167
FIGURA 153: LÍNEA DE FLUJO ENTRE ENSAYO 1 Y ENSAYO 3.....	168
FIGURA 154: LÍNEA DE FLUJO ENTRE ENSAYO 1 Y ENSAYO 4.....	170
FIGURA 155: LÍNEA DE FLUJO ENTRE ENSAYO 1 Y ENSAYO 6.....	172
FIGURA 156: LÍNEA DE TENDENCIA DEL TIRANTE.....	175
FIGURA 157: TIRANTES MEDIOS DE CADA ENSAYO.....	177
FIGURA 158: ESPIGONES DESPUÉS DEL ENSAYO 4.....	180

FIGURA 159: ESPIGÓN SOMETIDO A SOCAVACIÓN EN LA PUNTA DE ESTE.	180
FIGURA 160: ICONO DEL PROGRAMA	181
FIGURA 161: ICONO DEL PROGRAMA EN EL ESCRITORIO.	181
FIGURA 162: ICONO DEL PROGRAMA EN EL MENÚ DE INICIO.....	182
FIGURA 163: PANTALLA PRINCIPAL DEL PROGRAMA.	182
FIGURA 164: BARRA DE TÍTULO DEL PROGRAMA.	183
FIGURA 165: BARRA DE MENÚ DEL PROGRAMA.	184
FIGURA 166: MENÚ FILE.	184
FIGURA 167: MENÚ DESIGN.....	185
FIGURA 168: MENÚ HELP.	185
FIGURA 169: MENÚ USER MANUAL.	186
FIGURA 170: HERRAMIENTAS PRINCIPALES DEL PROGRAMA.	186
FIGURA 171: VENTANA DE INSTALACIÓN.	187
FIGURA 172: VENTANA PRINCIPAL DEL PROGRAMA.....	188
FIGURA 173: ICONO DEL PROGRAMA EN EL ESCRITORIO.....	188
FIGURA 174: CAMBIO DE BATIMETRÍA DESPUÉS DEL ENSAYO 4.	189
FIGURA 175: CAMBIO EN FORMA DEL LECHO.....	192

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RIO MADRE DE DIOS.....	23
TABLA 2: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL RIO MADRE DE DIOS.	23
TABLA 3: CAUDALES DE DISEÑO.	25
TABLA 4: FACTOR DE CORRECCIÓN POR TIPO DE PILAR (K_1)	60
TABLA 5: FACTOR DE CORRECCIÓN POR EL ÁNGULO DE FLUJO (K_2)	60
TABLA 6: VALORES DE PESO SECO UNITARIO MEDIO DEL SUELO.	76
TABLA 7: VALORES RECOMENDADOS DE FACTORES DE SEGURIDAD VERTICALES.	78
TABLA 8: COEFICIENTE DE IMPORTANCIA BASADO EN EL RIESGO.	81
TABLA 9: COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LA CIUDAD DE PUERTO MALDONADO.	85
TABLA 10: RELACIONES DE ESCALA MODELO – PROTOTIPO.	87
TABLA 11: COTAS DE LOS BM EN EL MODELO FÍSICO.	88
TABLA 12: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE AMBOS NIVELES TOPOGRÁFICOS PARA EL REPLANTEO DEL LECHO MÓVIL.	99
TABLA 13: COMPOSICIÓN DE BANDAS LANDSAT 7	102
TABLA 14: COMPOSICIÓN DE BANDAS LANDSAT 8	102
TABLA 15: COMBINACIÓN DE BANDAS	103
TABLA 16: COEFICIENTE DE MANNING.....	107
TABLA 17: COMPARACIÓN DE NIVELES DE AGUA ENTRE EL MEDIDO EN CAMPO (IRD*) Y EL SIMULADO EN EL MODELO MATEMÁTICO EN LA SECCIÓN MOSTRADA EN LA FIG. 101.....	118
TABLA 18: DATOS DE VELOCIDADES MEDIDAS EN CAMPO POR EL LABORATORIO NACIONAL DE HIDRÁULICA.....	119
TABLA 19: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES MEDIAS PUNTALES MEDIDAS Y SIMULADAS PARA UN CAUDAL DE 1178.45 m ³ /s.	120
TABLA 20: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES MEDIAS PUNTALES MEDIDAS Y SIMULADAS PARA UN CAUDAL DE 1133.49 m ³ /s.	121
TABLA 21: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES MEDIAS PUNTALES MEDIDAS Y SIMULADAS PARA UN CAUDAL DE 1133.49 m ³ /s.	122
TABLA 22: RESULTADO DE SOCAVACIÓN DE “LA PASTORA”.....	125
TABLA 23: CAUDALES EN PROTOTIPO Y MODELO UTILIZADOS EN LOS ENSAYOS.	145
TABLA 24: COORDENADAS UTM DEL PUNTO C-1 EN PROTOTIPO.....	146
TABLA 25: PUNTOS DE REFERENCIA EN PROTOTIPO.....	147
TABLA 26: DISTANCIA DE LOS PUNTOS PARA CADA SECCIÓN – ENSAYO 1.	150
TABLA 27: DISTANCIA DE LOS PUNTOS PARA CADA SECCIÓN – ENSAYO 3.	151
TABLA 28: DISTANCIA DE LOS PUNTOS PARA CADA SECCIÓN – ENSAYO 4.	152
TABLA 29: DISTANCIA DE LOS PUNTOS PARA CADA SECCIÓN – ENSAYO 6.	153
TABLA 30: VELOCIDADES MEDIAS OBTENIDOS EN EL MODELO FÍSICO – ENSAYO 1.	163
TABLA 31: VELOCIDADES MEDIAS OBTENIDOS EN EL MODELO FÍSICO – ENSAYO 3.	164
TABLA 32: VELOCIDADES MEDIAS OBTENIDOS EN EL MODELO FÍSICO – ENSAYO 4.	165
TABLA 33: VELOCIDADES MEDIAS OBTENIDOS EN EL MODELO FÍSICO – ENSAYO 6.	166
TABLA 34: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE LOS PUNTOS 1 ENTRE EL ENSAYO 1 Y ENSAYO 3.....	169
TABLA 35: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE LOS PUNTOS 1 ENTRE EL ENSAYO 1 Y ENSAYO 4.....	171
TABLA 36: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE LOS PUNTOS 1 ENTRE EL ENSAYO 1 Y ENSAYO 6.....	173
TABLA 37: COMPARACIÓN DE VELOCIDADES DE LOS PUNTOS 1 ENTRE TODOS LOS ENSAYOS.....	173
TABLA 38: COTA DE AGUA DEL PROTOTIPO.	174
TABLA 39: TIRANTE DEL PROTOTIPO Y MODELO.	174
TABLA 40: TIRANTE PROMEDIO DE UNA SECCIÓN DEL MODELO.	175
TABLA 41: TIRANTES DEL MODELO – ENSAYO 1.	175
TABLA 42: TIRANTES DEL MODELO – ENSAYO 3.	176
TABLA 43: TIRANTES DEL MODELO – ENSAYO 4.	176
TABLA 44: TIRANTES DEL MODELO – ENSAYO 6.	177
TABLA 45: FACTORES DE SEGURIDAD ENSAYO 3.	178
TABLA 46: FACTORES DE SEGURIDAD ENSAYO 4.	179
TABLA 47: FACTORES DE SEGURIDAD ENSAYO 6.	179

TABLA 48: ÁREAS DE SEDIMENTACIÓN ENSAYO 1 VS ENSAYO 3.	190
TABLA 49: ÁREAS DE SEDIMENTACIÓN ENSAYO 1 VS ENSAYO 4.	190
TABLA 50: ÁREAS DE SEDIMENTACIÓN ENSAYO 1 VS ENSAYO 6.	191

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ELJs = “Engineering LogJams” (Diseño de Atascos de Troncos de Madera).

LNH = Laboratorio Nacional de Hidráulica.

IRD = Institut de Recherchepour le Development.

NRCS = Natural Resources Conservation Service (Servicio de Conservación de Recursos Naturales).

ASCE = American Society of Civil Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles).

USGS = United States Geological Survey (Servicio geológico de los estados unidos).

DEM = Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevación).

USACE = US Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos).

UTM = Universal Transverse Mercator (Universal Transversal de Mercator).

DSLOG= Design Log (Diseño de troncos)

RESUMEN

En la tesis “Desarrollo de una Herramienta Computacional Para El Diseño De Estabilidad De Grandes Estructuras de Madera Para Defensas Ribereñas Aplicado al Tramo La Pastora del Rio Madre de Dios – Perú”, en cuanto a la migración lateral de ríos, se ha desarrollado un software aplicativo que permite solucionar el problema de erosión que sufre la margen derecha de esta zona de estudio. Esta herramienta realiza el diseño de espigones hechos de troncos de madera denominados “Enginnered LogJams”. Habiéndose realizado una serie de ensayos, observaciones y mediciones en el modelo físico a escala 1/60 que se encuentra en el Laboratorio Nacional de Hidráulica se concluye con los resultados siguientes que las condiciones de erosividad se debe a la velocidad de impacto pero principalmente por el flujo secundario que ocurre en las curvas del meandro, llegando a erosionar un promedio de 2.65m anual entre los años del 2000 y 2016; respecto a las velocidades obtenidas en las mediciones de cada ensayo realizado en el modelo físico se concluye que las velocidades respecto al ensayo 1 varían un 30% respecto a la ensayo 3, en un 50% respecto al ensayo 4 y en un 60% en el ensayo 6, lo que hace que las partículas en suspensión se depositen entre los espigones y aguas arriba de ellos. De acuerdo a todo esto y por las condiciones naturales que presenta el rio Madre de Dios, por la presencia de grandes árboles, es que se propuso emplear una estructura de control de erosión, estas estructuras moderaron la corriente principal, alejando el thalweg de la orilla hacia el centro del río y debilitando la corriente secundaria que se originan en tramos curvos.

El programa se desarrolló bajo la filosofía de la programación orientada a objetos utilizando el lenguaje de programación Visual Basic, trabajando con el Visual Studio 2010.

Palabras Clave: Atascos de Troncos, Espigones Permeables, Estabilidad de troncos, Migración Lateral, Visual Basic.NET.

ABSTRACT

In the thesis "Development of a Computational Tool for the Design of Stability of Large Woody Structures for River Defenses Applied to the La Pastora del Rio Madre de Dios - Peru", regarding the lateral migration of rivers, software has been developed apply that allows to solve the problem of erosion that suffers the right margin of this area of study. This tool performs the design of spurs made of wood logs called "Enginnered LogJams". Having made a series of tests, observations and measurements in the 1/60 scale physical model that is in the National Hydraulic Laboratory concludes with the following results that the conditions of erosivity are due to the speed of impact but mainly by the secondary flow that occurs in the curves of the meander, eroding an average of 2.65 m annually between the years of 2000 and 2016; With respect to the speeds obtained in the measurements of each test carried out in the physical model, it is concluded that the speeds with respect to test 1 vary by 30% with respect to test 3, by 50% with respect to test 4 and by 60% in test test 6, which causes the particles in suspension to deposit between the spurs and upstream of them. According to all this and the natural conditions of the Madre de Dios River, due to the presence of large trees, it is proposed to use an erosion control structure, these structures moderated the main current, moving the thalweg away from the shore towards the center of the river and weakening the secondary currents that originate in curved sections.

The program was developed under the philosophy of object-oriented programming using the Visual Basic programming language, working with Visual Studio 2010.

Key Words: Enginnering LogJams, Permeable Spurs, Stability of logs, Lateral Migration, Visual Basic.NET.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las observaciones de los primeros colonos de Europa y América del norte reconocieron el importante rol de los escombros de madera, como los grandes complejos atascos de troncos “LogJams” del sur este de los Estados Unidos que a menudo crearon vastas redes de aguas retenidas y riachuelos [e.g., Lyell, 1830; Catlin, 1832; Veatch, 1906; Russell, 1909; Dacy, 1921]. Las acumulaciones de troncos naturales tienden a ser las partes más estables de paisajes aluviales dinámicos, y se ha demostrado que es estable durante un máximo de 700 años en América del Norte (Abbe, 2000), y aún más en determinados medios en Australia (Nanson y Barbetti, 1995). Los Engineering LogJams (ELJs) se han construido en numerosos ríos en América del Norte (Shields et al 1995, 2000; Abbe et al 1997, Abbe et al 2003.). En dos experimentos en Australia y en Munni en el Rio William (Brooks et al 2001, Brooks et al., 2006) se usó grandes troncos de madera para construir ELJs el cual es un enfoque relativamente nuevo para proporcionar múltiples beneficios hidráulicos para las condiciones de hábitat, ingeniería, geomorfológico y los objetivos ecológicos.

Algunos de los objetivos de los ELJs incluyen:

- La mejora y restauración de los hábitats acuáticos y de ribera.
- Proporcionar control de la erosión.
- Control de inundaciones.
- El aumento de la retención de sedimentos.

Abbe y Montgomery (1996); en su artículo “Large Woody Debris Jams, Channel Hydraulic and Habitat Formation in Large Rivers”, dice, que en particular un atasco de troncos son un mecanismo principal que controla el rango de alcance de hábitat de diversidad para la formación de piscinas, barras y refugios en bosques de ribera. Los atascos pueden actuar como controladores hidráulicos locales durante varias décadas y posiblemente siglos.

Por lo que da a entender que la nueva tecnología de espigones “LogJams” crea un espacio intersticial para nuevos hábitats de peces y anfibios.

Abbe, Brook y Montgomery (2003); en su artículo “Wood in River Rehabilitation and Management”, indica, que en los proyectos donde se construyeron estas estructuras (Estados Unidos y Australia) han cumplido con los objetivos de protección de riberas, rehabilitación de hábitat, revestimiento de la incisión del canal y reducir los riesgos a los puentes. Y en lugares donde se usó estas tecnologías se tuvo una mayor regulación del uso del suelo en las llanuras de inundación y zonas de migración.

La experiencia hasta la fecha demuestra que en el contexto general de estos enfoques de gestión de ríos, la madera puede ser una parte integral de las estrategias dirigidas a la rehabilitación y el mantenimiento de las condiciones naturales, alcanzando también soluciones de ingeniería fiables a los problemas locales.

A lo que concluimos que el uso de esta tecnología nos proporcionará una solución bioingenieril, que es muy importante para el medio fluvial como para la protección de riberas.

Diversos investigadores lograron sacar sus propios diseños para el análisis de estabilidad de ELJs. Wright en el 2003 logró introducir los conceptos de Fuerza de Flotabilidad, Fuerza de arrastre, Fuerza debido al lastre, Empotramiento de miembros (D’Aoust y Millar, 2000). Mientras que Brooks en el año 2006 logra introducir el concepto de fuerza de fricción (Brooks, et al. ,2006). Luego el Technical Supplement 14J con estudios logró introducir conceptos de Fuerza de elevación, y anclajes. Luego de esto Brooks y Abbe lograron introducir el concepto de fuerzas hidrostáticas e introdujeron al diseño el concepto de pilares (Abbe, Brooks, y Montgomery, 2003). Rafferty en el año 2013 creo una hoja de cálculo, mientras que en el 2014 Knutson y Fealko consolido todos estos conceptos.

1.1.OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta computacional para el diseño de estabilidad de grandes estructuras de madera para defensas ribereñas aplicado al tramo “La Pastora” del Rio Madre de Dios – Perú

1.2.OBJETIVO ESPECIFICO

- Determinar las condiciones erosivas y variaciones en el cauce del Rio Madre de Dios mediante imágenes satelitales.

- Evaluar la hidráulica, transporte de sedimentos y la recolección de datos de la simulación en el modelo físico.
- Proponer la aplicación de defensas ribereñas con estructuras de madera para el Río Madre de Dios.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.GENERALIDADES

Para el desarrollo de esta presente tesis se plantearán preguntas de investigación y sus hipótesis respectivas.

Pregunta General:

- ¿Es posible el desarrollo de una herramienta computacional para el diseño hidráulico de grandes estructuras de madera para protección de riberas aplicado al río Madre de Dios, Perú?

Preguntas Específicas

- ¿El río Madre de Dios, genera caudales que erosionan su cauce y cambian su curso con frecuencia?
- ¿Es posible aplicar defensas ribereñas con estructuras de madera para evitar daños en el cauce y cambios de curso en el Río Madre de Dios?

Hipótesis General

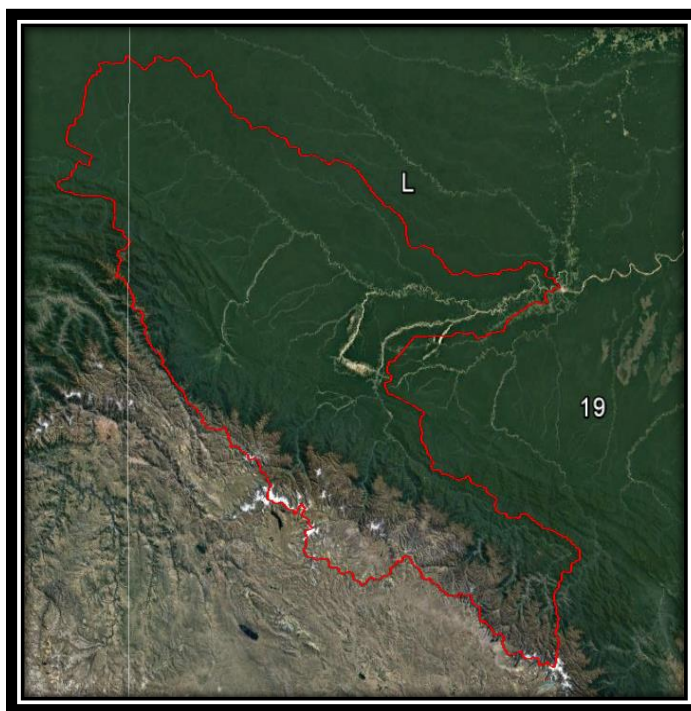
La herramienta computacional para defensas ribereñas de grandes estructuras de madera nos da un óptimo resultado para un diseño de estabilidad aplicado al tramo “La Pastora” del Río Madre de Dios.

Hipótesis Específicas

- Las condiciones erosivas y variaciones en el cauce del Río Madre de Dios generan una migración lateral acelerada.
- La hidráulica y el transporte de sedimentos en conjunto con la simulación del modelo físico demuestra que los espigones generan socavación aguas abajo de la estructura.
- Estas defensas ribereñas hechas de troncos de madera regeneran la ribera, aumentando el hábitat para los peces y recuperando terrenos ocasionados por la migración lateral.

2.2. CUENCA HIDROGRÁFICA

Es un lugar geográfico delimitado por cumbres montañosas altas, la cual tiene un único sistema de drenaje natural. Y está delimitada por la línea de las cumbres, también llamada “divisor de aguas” o “divisoria de aguas”.



*Figura 1: Cuenca del Río Madre de Dios.
Fuente: Elaboración Propia.*

2.2.1. PARÁMETROS FÍSICOS DE UNA CUENCA

Los parámetros que intervienen en los estudios hidrológicos son muy diversos: topografía, geología, climatología, vegetación, etc. La influencia de estos elementos no puede ser reducida a expresiones puramente matemáticas, pero el estudio de ciertas relaciones, denominadas Parámetros Físicos de la cuenca, puede dar una idea cualitativa de estos.

La comparación de estos parámetros (área, perímetro, índice de Gravelius, pendiente media del cauce principal, pendiente de la cuenca, curva hipsométrica, entre otros) permite establecer la afinidad hidrológica entre cuencas.

a) Área de la cuenca (A)

Es la proyección sobre un plano horizontal de la superficie de la cuenca limitada por la divisoria de aguas. Se expresa en km^2 .

b) Perímetro de la cuenca (P)

Es la longitud total de contorno de la cuenca (divisoria de aguas) proyectada sobre un plano horizontal. Se expresa en km.

c) Índice de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)

Nos indica la relación que existe entre el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo cuya área es igual al área de la cuenca.

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

d) Factor de Forma (F_f)

Nos indica la relación que existe entre el área de la cuenca (A) y la longitud de la misma (L), medida desde su salida o desembocadura hasta el límite de la cuenca, siguiendo la dirección del cauce más largo.

$$F_f = \frac{A}{L^2}$$

e) Pendiente media de la cuenca

Para calcular la pendiente media de la cuenca contamos con 3 criterios:

- Criterio del rectángulo equivalente
- Criterio de Alvord
- Densidad de Drenaje

Odebrecht SAC, (2011) realizó un estudio de hidrología donde estudio los parámetros geomorfológicos hasta llegar a obtener los caudales de diseño con diferentes periodos de retornos. Para más detalle ver Anexo 2.

En el siguiente cuadro mostramos el resultado del estudio de los parámetros geomorfológicos de la cuenca del Rio Madre de Dios.

Tabla 1: Parámetros geomorfológicos de la cuenca del Río Madre de Dios.

Parámetros	Cuenca del Río Madre de Dios
Área hasta la zona La Pastora (km ²)	56 553.00
Perímetro (km)	1 929.48
Longitud del Cauce Principal (Km)	817.071
Factor de Forma (adimensional)	0.45
Índice de Compacidad (adimensional)	2.29
Altitud Media (m.s.n.m.)	1442
Pendiente de la Cuenca (%)	0.0031

Fuente: Odebrecht SAC, 2011. "Estudio de Hidrología- Zona La Pastora Km 480 + 910".

Para la obtención de los caudales de diseño contamos con 8 estaciones de trabajo las cuales, solo 5 estaciones disponen de suficiente información pluviométrica para cálculos estadísticos adecuados.

Tabla 2: Estaciones Pluviométricas en la cuenca del Río Madre de Dios.

Estación	Años de Registro	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud (m.s.n.m.)
Puerto Maldonado	1992 - 1995 -1998 - 2010	12° 35´	69° 12´	256
Salvación*	1987 – 2001 - 2005	11° 21´	69° 35´	520
Pakitza*	2002 - 2005	11°56´	71° 16´	350
San Gabán	1965 -1988 –1993– 2010	12°35´	69° 12´	635
Quincemil	1964 - 1977 -1997 - 2010	13°13´	70° 45´	651
Rocotal*	2000 – 2002-2005 - 2007	13°06´	71° 34´	2010
Limbani	1964 – 1977 - 1986 2004- 2006 - 2010	14° 07´	69° 41´	3183
Ollachea	1963 - 1984 -1986 -1993 - 2010	13°48´	70° 29´	3420

Fuente: Odebrecht SAC, 2011. "Estudio de Hidrología- Zona La Pastora Km 480 + 910".

Para las estaciones con escasa información pluviométrica, fue posible la obtención de sus valores de precipitación máximas de 24 horas, con diferentes periodos de retorno, con la ayuda del Estudio Hidrológico del Perú, del convenio IILA-SENAMHI-UNI.

Para la obtención de los caudales de diseño para diferente periodo de retorno, como primer paso se realizó la subdivisión de la cuenca mediante el polígono de Thiessen.

Una vez dividida la cuenca, se hace la subdivisión nuevamente de las cuencas subdivididas mediante el método de Pfafstetter obteniendo la siguiente división.

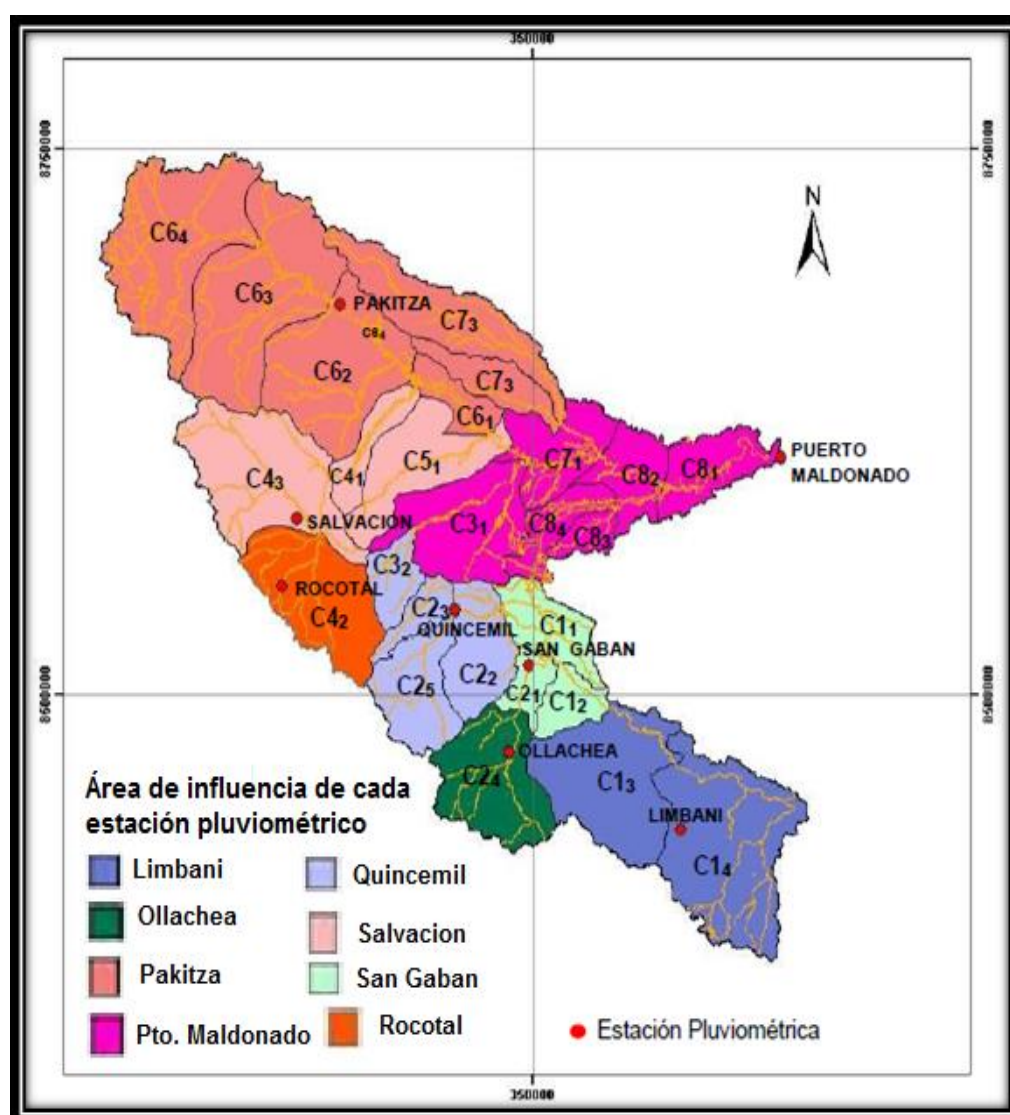


Figura 2: Subdivisión de las subcuencas con el método de Pfafstetter-
 Fuente: Odebrecht SAC, 2011. "Estudio de Hidrología – Zona La Pastora Km 480 + 910".

Una vez determinado las características de las subcuencas ahora pasamos al siguiente paso que es hacer el modelamiento hidrológico para ello necesitamos los siguientes requisitos:

- Modelo Hidrograma Unitario
- Distribución temporal de tormenta: SCS
- Separación de escorrentía: Método del SCS
- Transformación:
 - Hidrograma Unitario de Snyder
 - Tiempo de concentración según Snyder que incluye el factor de pendiente.
 - Método de enrutamiento de Muskingum – Cunge.

Una vez modelado y cumpliendo los requisitos anteriores, obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3: Caudales de diseño.

Periodo de Retorno T (años)	Q Max (m ³ /s)
2.2	8003
25	12997
50	14341
100	15789

Fuente: Odebrecht SAC, 2011. "Estudio de Hidrología – Zona La Pastora Km 480 + 910".

2.3. CONCEPTOS DE HIDRÁULICA FLUVIAL

2.3.1. TIPOS DE FLUJOS

a) Flujo Permanente

El flujo permanente ocurre en canales prismáticos muy largos donde una velocidad terminal puede mantenerse. Por eso implica que la pérdida debido al flujo turbulento es balanceada exactamente con la reducción en energía potencial debido a la reducción uniforme en la elevación de la base del canal, por lo tanto, el tirante, área del flujo y la velocidad en cada sección son constantes.

$$\frac{\partial y}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} = 0; \quad \frac{\partial A}{\partial t} = 0; \text{ etc.}$$

Este tipo de flujo se fundamenta en la Ecuación de la Energía, que se utiliza en un procedimiento iterativo llamado Método del Paso Estándar (Estandar Step Method). Para ello se utiliza la siguiente expresión que representa la ecuación de la energía:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

Z_1, Z_2 = Elevación del fondo del canal en las secciones 1 y 2.

Y_1, Y_2 = Altura de agua en las secciones 1 y 2.

V_1, V_2 = Velocidad media (caudal/área)

g = Aceleración de la gravedad

h_e = Perdidas de energía entre la sección 1 y 2.

α_1, α_2 = Coeficiente de variación de la velocidad en la sección transversal o coeficiente de Coriolis.

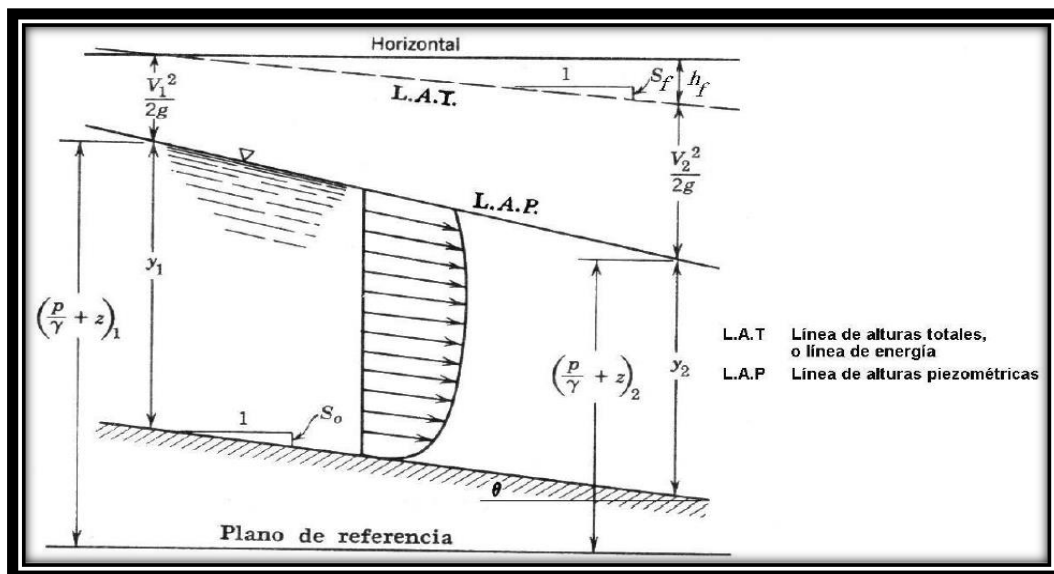


Figura 3: Conservación de la Energía en el punto A y B.
Fuente: Elaboración Propia.

Para que un flujo sea permanente debe cumplir estas condiciones:

- Continuidad: Conservación de la masa $Q=V*A$
- Conservación de la Energía: La energía en la sección 1 (aguas abajo) es la energía en la sección 2 (aguas arriba) menos las pérdidas que se generan entre la sección 1 y 2.

b) Flujo No Permanente

A diferencia del flujo permanente, el flujo no permanente se da cuando las propiedades del fluido (masa, peso específico, presión, velocidad, viscosidad, entre otros) si varían con el tiempo. Este es el régimen que se acerca más al comportamiento de los ríos y por ende su modelación es compleja. (Fuente: Fernández, 2015).

$$\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \quad \frac{\partial A}{\partial t} \neq 0; \quad \text{etc.}$$

Las estimaciones a lo largo de estos cauces o ríos pueden obtenerse utilizando el modelo de transito hidráulico. Este tipo de modelos está basado en ecuaciones diferenciales parciales (ecuaciones de Saint-Venant) que permiten el cálculo del caudal y del nivel de agua como funciones del espacio y del tiempo.

El cálculo en régimen no permanente engloba ecuaciones diferenciales de conservación de masa (continuidad) y el principio de conservación de momento.

2.3.2. MORFOLOGÍA DE RÍOS

La morfología de ríos o morfología fluvial estudia la estructura y forma de los ríos, como puede ser su cauce, la geometría de las secciones transversales, el lecho y las características del perfil. (Gracia Sánchez y Maza Álvarez, 1997). Los cauces de los ríos cambian constantemente y son el resultado de la interacción de muchas variables (caudal, ancho, profundidad, velocidad, pendiente, rugosidad del material del lecho, tamaño de la carga de sedimento). Cambios pequeños en una variable llegan a afectar el cauce con consecuencias para el entorno (Arbeláez, 2003).

a) Clasificación tradicional de los ríos

Los ríos se clasifican a grandes rasgos; para entender el comportamiento que presentara con respecto a su apariencia.

Tomaremos en cuenta que los ríos se pueden clasificar por varios puntos de vista: por tramos, por su edad, condición de estabilidad, según el grado de libertad, por el material de las márgenes y el fondo, condición de transporte y por su geomorfología. Se considera en importancia en esta tesis que la clasificación por geomorfología es importante y la cual contamos con tres grandes grupos:

a.1) Ríos Rectos:

Los ríos rectos o de baja sinuosidad son difíciles de encontrar, puede ocurrir en pequeños tramos y son transitorios, ya que suelen transformarse en otro tipo de río.



Figura 4: Río Recto.
Fuente: Elaboración Propia.

a.2) Ríos trenzados:

Este río se caracteriza por tener varios cauces que se dividen y se entrelazan y se vuelven a separar. Son amplios y tienen las márgenes no definidas, generalmente tienen pendientes altas, la profundidad baja, el material es grueso y llegan a ellos grandes cantidades de sedimentos.



Figura 5: Río Trenzado.
Fuente: Elaboración Propia.

a.3) Ríos Meándricos

Estos ríos presentan una sinuosidad mayor de 1.5. La dinámica de cauces meándricos indica que pueden presentar erosión y altas velocidades en las márgenes exteriores de las curvas. Las pendientes son más bajas que en los ríos trenzados y la carga de sedimentos está compuesta por material fino.



Figura 6: Río Meandro.
Fuente: *Elaboración Propia.*

b) Clasificación de ríos según David L. Rosgen

Rosgen (1994) utilizó 450 ríos de Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda para clasificar a los ríos en siete corrientes principales que se diferencian en el atrincheramiento, el gradiente, la proporción de profundidad y la sinuosidad en diversas formas de relieve, y dentro de cada categoría principal hay seis tipos adicionales para cada material dominante del canal.

La clasificación que hace Rosgen consta de cuatro niveles que comprenden desde una descripción cualitativa detallada hasta una evaluación cuantitativa detallada.

En el nivel 1 “*caracterización geomorfología del valle*” se realiza la descripción general del perfil, planta y sección transversal, también de las características fluviales usando sensores remotos e inventarios existentes de geología, evolución de la morfología del terreno, morfología del valle, historia sedimentológica y pendientes asociadas del río, relieve y patrones utilizados para las categorías generalizadas de los principales tipos de ríos e interpretaciones asociadas.

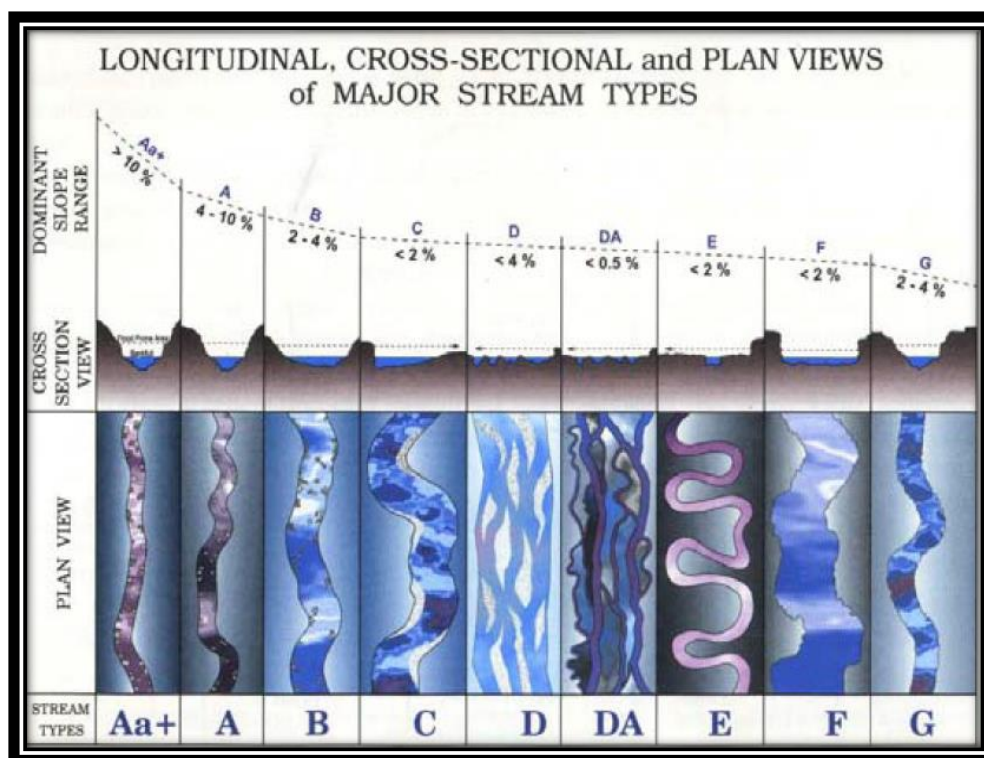


Figura 7: Clasificación general de ríos.
Fuente: Rosgen, 1994.

En el Nivel 2 “*Descripción morfológica del cauce*” en este nivel describimos cuantitativamente algunas variables morfométricas (Arbeláez, 2003).

- Sección transversal: Relación de atrincheramiento, relación ancho/profundidad y características de los materiales dominantes.
- Perfil Longitudinal: Pendiente, formas del lecho
- Forma en planta: sinuosidad, relación ancho a banco lleno (bankfull) / ancho meandro.

Relación de Atrincheramiento: El atrincheramiento es la relación entre el ancho del cauce correspondiente al nivel del agua en la llanura de inundación correspondiente a una avenida extraordinaria y el ancho del cauce correspondiente al nivel de la superficie del agua para avenidas ordinarias.

Relación Ancho / Profundidad: La relación ancho / profundidad describe la dimensión y el factor de forma como la relación entre el ancho del cauce al nivel correspondiente a la superficie del agua para avenidas ordinarias (ancho máximo del canal) y la profundidad media de dicho nivel. La geometría hidráulica y las relaciones correspondientes al transporte de sedimentos dependen mucho de la frecuencia y la magnitud de la descarga.

Sinuosidad: es la relación entre la longitud del río y la longitud de onda. Se realiza mediante fotografías aéreas.

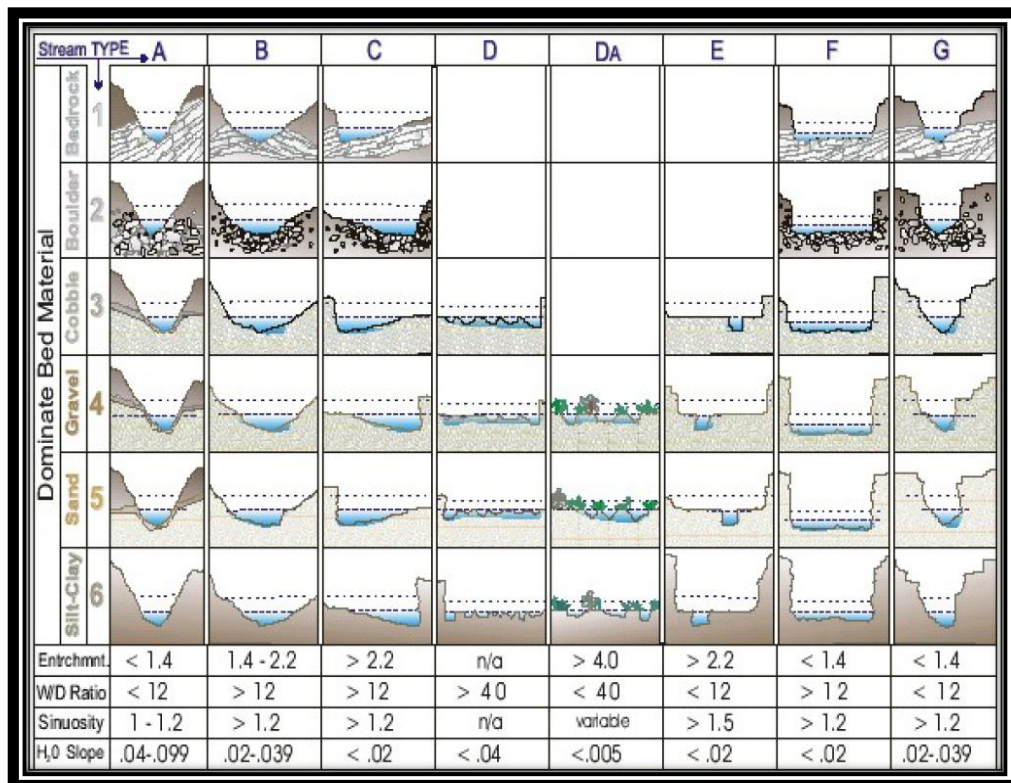


Figura 8: Esquema para la descripción morfológica (cuantitativa).
 Fuente: Rosgen, 1994.

En el nivel III “Estado o condición del río”, en este nivel la información requerida es la vegetación riparia, patrones de deposición, patrones de meandros, características de confinamiento, índices de hábitat de los peces, régimen del flujo, categoría del tamaño del río, ocurrencia de escombros, índice de estabilidad del cauce, erosibilidad de las orillas. Esto proporciona información muy detallada y la predicción / interpretación asociada (tal como cálculo de la erosión de las orillas).

En el nivel IV “Nivel de verificación”, este nivel involucra mediciones: observaciones directas del transporte de sedimentos, velocidad de erosión de las orillas, procesos de agradación-degradación, geometría hidráulica, datos biológicos tales como biomasa de los peces, insectos acuáticos, evaluación de la vegetación riparia.

Obteniendo una clasificación final, como se muestra en la siguiente figura:

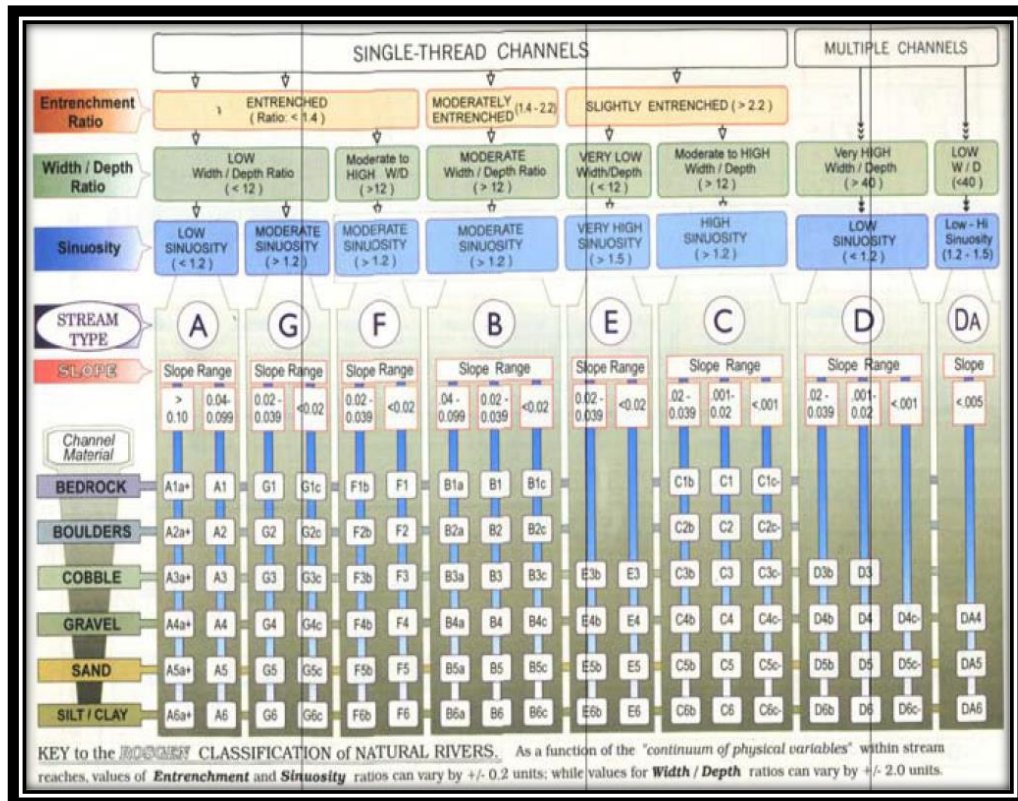


Figura 9: Clasificación de Corrientes.
Fuente: Rosgen, 1994.

2.3.3. EQUILIBRIO DE UN RÍO

Para hablar de equilibrio de un río o decir que un río está en equilibrio es cuando las variables de perfil de fondo, permanecen invariable a largo plazo, sin agradación ni degradación. También tenemos que tener en cuenta la sección transversal del río (ancho y profundidad) tienen que estar invariables al tiempo, por último tener en cuenta que el recorrido del cauce en planta no cambia con el tiempo.

a) Estabilidad del canal

Para analizar la estabilidad de un canal nos centraremos en las fuerzas que actúan sobre este, para eso nos vamos a imaginar dos secciones cualesquiera a una distancia Δs . La componente de peso de la masa fluida, en la dirección del escurrimiento es:

$$\rho * g * A * S * \Delta s$$

Donde ρ es la densidad del fluido, g es la aceleración de la gravedad, A es el área de la sección transversal y S es la pendiente del canal.

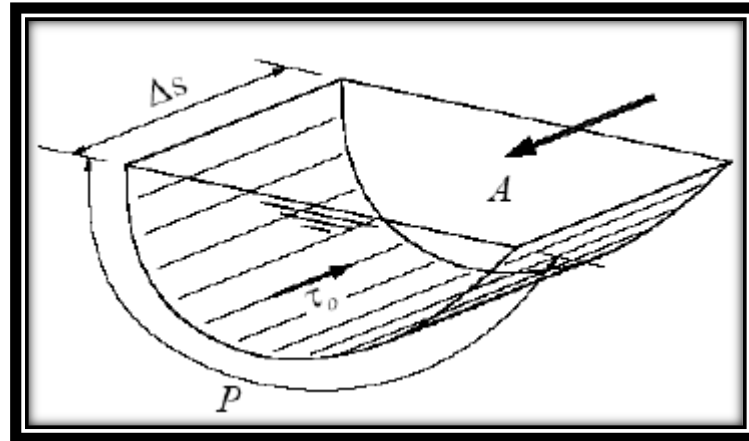


Figura 10: Esquema de un canal cualquiera.

Fuente: Elaboración Propia.

Esta fuerza debe ser equilibrada por el corte total, como sabemos que el esfuerzo de corte sobre el fondo no es constante, entonces tenemos la siguiente expresión:

$$\left[\int^P \tau_o dP \right] \Delta s$$

Donde P: es el perímetro mojado,

τ_o = es el esfuerzo cortante sobre el fondo

Asumiendo que esta expresión puede representarse por un “esfuerzo promedio” = $P \bar{\tau}_o \Delta S$ e igualando el peso y el esfuerzo de corte total se obtiene:

$$\bar{\tau}_o = \rho g \frac{A}{P} S$$

De donde se obtiene nuevamente que:

$$\bar{\tau}_o = \gamma R S$$

Esto significa que el esfuerzo medio de corte sobre el fondo de un canal es igual al producto del peso específico del fluido, por el radio hidráulico y por la inclinación de la línea de energía.

Esto nos lleva a conocer sobre el criterio de Shields, él demostró que la partícula sólida, puede iniciar su movimiento como la relación entre los dos parámetros adimensionales: Índice de Movilidad (Parámetro de Shields) e Índice de Inestabilidad.

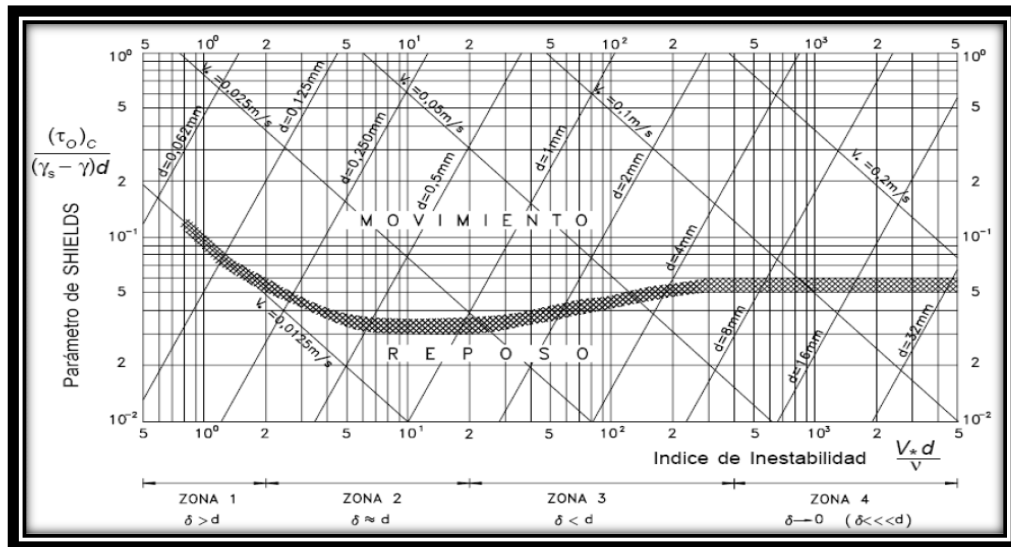


Figura 11: Diagrama del Parámetro de Shields.

Fuente: Rocha, 1998.

El Índice de Movilidad se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$Fr_{cr}^* = \frac{\tau_{oc}}{(\gamma_s - \gamma)d}$$

Donde:

τ_{oc} = Esfuerzo Cortante Crítico

γ_s = Peso específico de la Partícula Solida

γ = Peso específico del agua

d = Diámetro Medio de la Partícula

El Índice de Movilidad relaciona la resistencia de la partícula a ser movida con su peso sumergido.

El índice de Inestabilidad refleja como cociente el valor relativo de las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas en el entorno de un grano, es decir el grado de turbulencia cerca del lecho.

Esto se puede determinar de la siguiente manera:

$$Re^* = \frac{V^* * d}{\nu}$$

Donde:

V^* = Velocidad de corte

d = Diámetro de partícula

ν = viscosidad cinemática del agua

El empleo del diagrama de Shields conduce a la obtención del índice de movilidad Fr_{cr}^* y a partir de este a la obtención del esfuerzo cortante crítico mediante $\tau_{oc} = Fr_{cr}^*(\gamma_S - \gamma)d$.

Bonnefille (1963) y Yalin (1972) mostraron que la curva de Shields podía ser expresada con las formulas siguientes:

$$Fr_{cr}^* = 0.24 D_*^{-1} \quad \text{Si } 1 < D_* \leq 4;$$

$$Fr_{cr}^* = 0.14 D_*^{-0.64} \quad \text{Si } 4 < D_* \leq 10;$$

$$Fr_{cr}^* = 0.04 D_*^{-0.1} \quad \text{Si } 10 < D_* \leq 20;$$

$$Fr_{cr}^* = 0.013 D_*^{0.29} \quad \text{Si } 20 < D_* \leq 150;$$

$$Fr_{cr}^* = 0.055 \quad \text{Si } D_* > 150;$$

Donde:

$$Fr_{cr}^* = \frac{\tau_{oc}}{(\gamma_S - \gamma)d} \quad \text{Es el parámetro de Shields Critico y}$$

$$D_* = \left(\frac{\rho' * g}{\nu^2}\right)^{1/3} * d \quad \rho' = (\rho_f - \rho)/\rho \quad \text{Es el parámetro de la partícula}$$

Finalmente:

$$\tau_{oc} = Fr_{cr}^*(\gamma_S - \gamma)d$$

b) Equilibrio en ríos curvos

El equilibrio en ríos curvos se basa en la circulación del flujo secundario que se generan a través de un cambio en la orientación del canal aguas abajo. Las líneas de corriente cerca de la superficie se desvían hacia la margen exterior, mientras que las cercanas al lecho se desvían hacia a la margen interior. La velocidad cercana al lecho, el esfuerzo tangencial del corte del lecho y el arrastre sobre las partículas del lecho se dirige comúnmente hacia el banco interior. El flujo en curvas se analiza en coordenadas cilíndricas. La aceleración radial indica que la aceleración centrífuga se contrarresta por el gradiente de presión y la tensión de corte radial, como lo sugiere Rozovskii (1957):

$$\frac{v^2}{r} = gS_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_r}{\partial z}$$

Donde la velocidad local aguas abajo v , la tensión radial de corte τ_r y la pendiente radial de la superficie del agua S_r varían con la elevación vertical z y/o el radio de curvatura r . En la siguiente figura 12, la tensión de corte transversal τ_{rR} en el punto R_A , la pendiente radial de la superficie S_{rA} , en el punto A, el radio de curvatura R en el mismo punto, la profundidad de flujo media h , y ancho del canal superior W sirven como factores de escala.

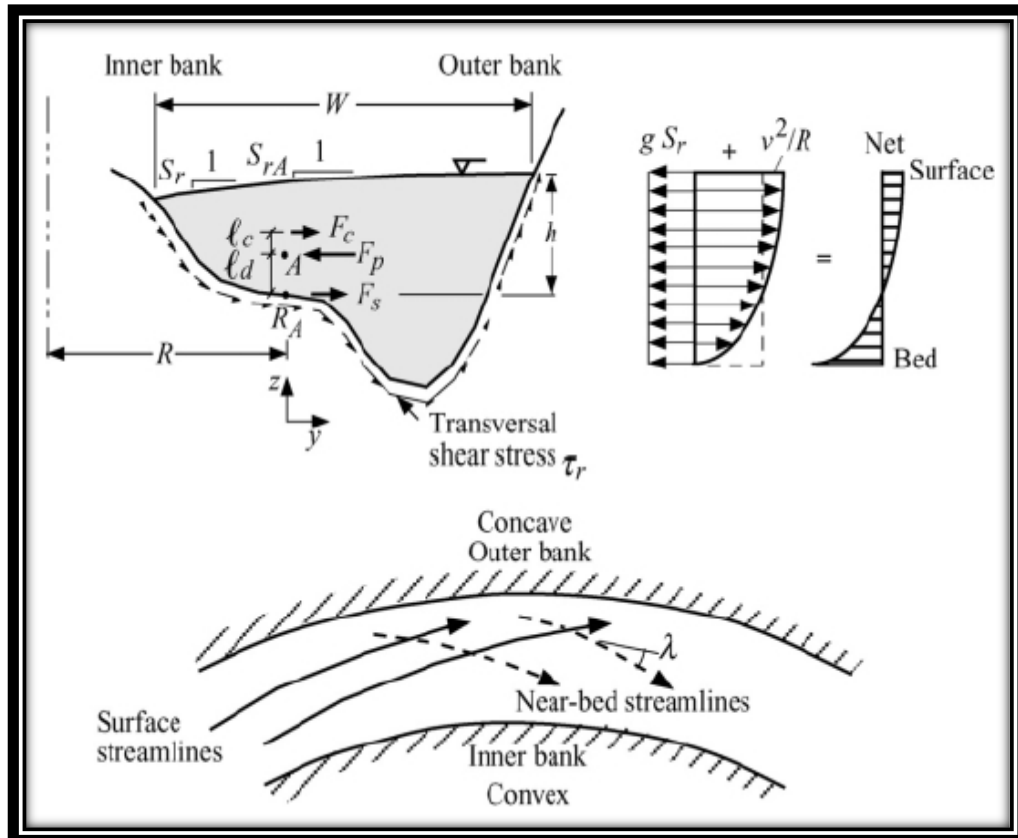


Figura 12: Flujo en ríos curvos.
Fuente: Julien, 1994.

La ecuación anterior se multiplica por ρ y dV , se reduce en forma adimensional, y luego se integra sobre el volumen adimensional V^* . La ecuación de impulso adimensional resultante en la dirección radial es:

$$dV^* = dV / W \cdot R_h$$

$$\rho W h v^2 \int_{V^*} \frac{v^{*2}}{r^*} dV^* = \rho g R W h S_{rA} \int_{V^*} S_r^* dV^* - R W \tau_{rR} \int_{V^*} \frac{\partial \tau_r^*}{\partial Z^*} dV^*$$

Donde el término de la izquierda es la fuerza centrífuga (F_C), el primer término de la derecha es la fuerza de presión (F_P), y el último término representa la fuerza de corte (F_S).

Como vemos la fuerza de presión equilibra a la suma de fuerza centrífuga con la fuerza de corte, ejercida a una distancia l_c , por encima del punto A. El equilibrio del momento alrededor del punto A da:

$$\Omega_R = \frac{\rho h V^2}{R \tau_{rR}} = \frac{l_d \int_{V^*} \frac{\partial \tau_r}{\partial z^*} dV^*}{l_c \int_{V^*} \frac{v^{*2}}{r^*} dV^*}$$

La relación entre la tensión de corte radial τ_{rR} y la tensión de corte de lecho aguas abajo τ_θ define el ángulo de desviación λ de las líneas de corriente cerca del lecho.

$$\tan \lambda = \frac{\tau_{rR}}{\tau_\theta} = \left[\frac{a^2}{\Omega_R} \left(\frac{h}{d_s} \right)^{2m} \right] \frac{h}{R}$$

Rozovskii, 1957 encontró que el valor dentro de los corchetes es aproximadamente igual a 11. El ángulo de desviación depende de la relación de la profundidad y el radio de curvatura. Las curvas pronunciadas exhibirán flujos secundarios más fuertes.

También es importante tener en cuenta que el cambio en la geometría de la sección transversal depende de la magnitud del ángulo de desviación de la línea de corriente λ . De la ecuación anterior obtenemos que el ángulo λ aumenta con la profundidad de flujo h . En flujos altos, esperamos encontrar los flujos secundarios más fuertes con el potencial de socavación máximo cerca del banco exterior. La asimetría en la geometría de la sección transversal se debe observar durante las inundaciones. En flujos bajos, valores bajos del ángulo λ tenderán a acercar la posición del thalweg más cerca de la línea central del canal y la geometría de la sección transversal debería ser más simétrica.

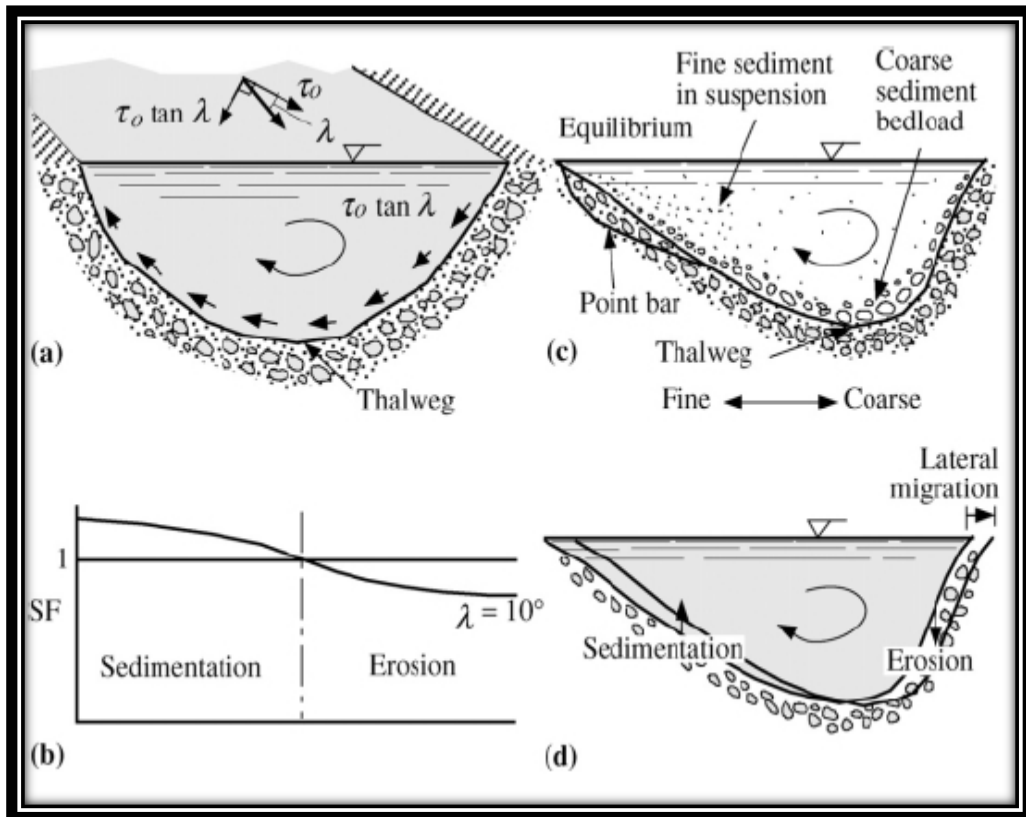


Figura 13: Estabilidad y equilibrio en ríos curvos.
Fuente: Julien, 1994.

c) Ríos Meandricos

Un meandro consiste en un par de bucles en direcciones opuesta. El meandro es básicamente un problema de mecánica de fluidos en el que la vorticidad juega un papel principal.

Se definen dos sistemas de coordenadas: uno rectilíneo y otro curvilíneo. El eje descendente X define el sistema rectilíneo a lo largo de la línea central del patrón serpenteante aguas debajo de la pendiente del valle. En el sistema curvilíneo, el eje sinuoso x sigue la línea central del camino serpenteante del río. El ángulo θ separa las direcciones x y X a lo largo de la trayectoria del flujo.

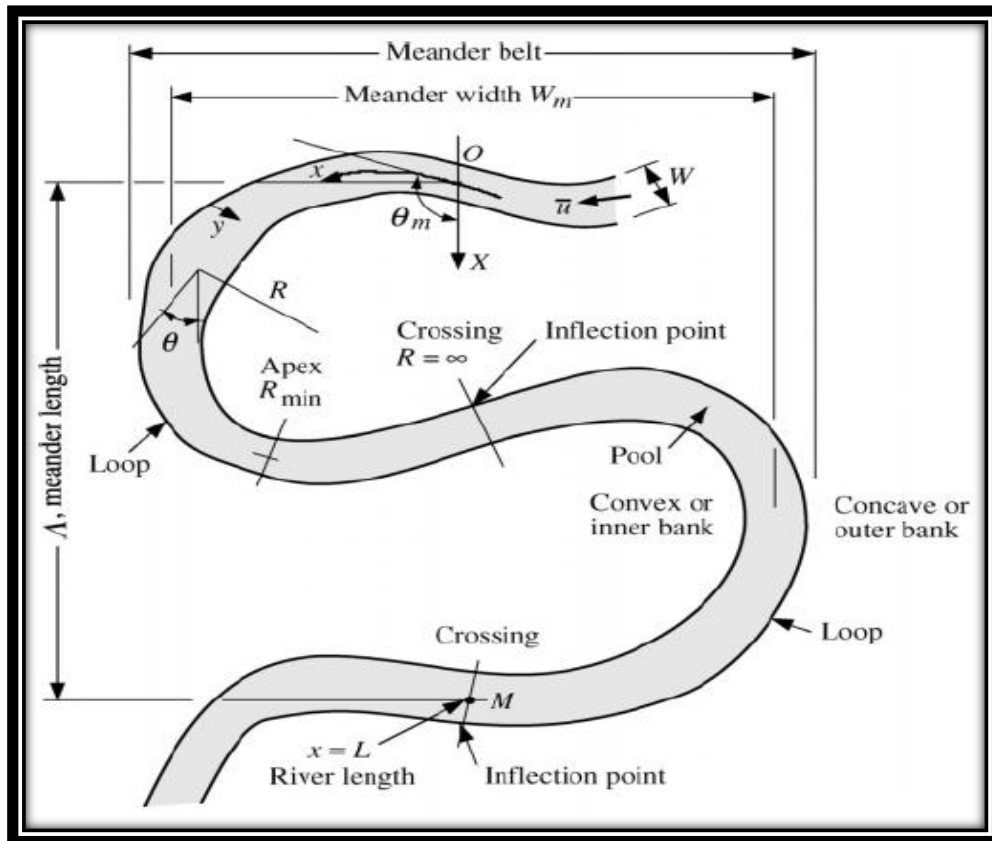


Figura 14: Definición esquemática de un río meándrico.
Fuente: Julien, 2002.

Al trazar el ángulo de orientación θ en función de la distancia aguas abajo x , Langbein y Leopold (1966) encontraron que θ es una función del ángulo máximo θ_m establecido en el origen, la distancia aguas abajo x y la longitud del río L :

$$\theta = \theta_m \cos \frac{2\pi x}{L}$$

Esta curva generada por el seno se compara con un patrón de meandro observado en la figura 15.

La longitud del meandro Λ se calcula a partir de la siguiente relación:

$$\Lambda = \int_0^L \cos \theta \, dx = \int_0^L \cos \left[\theta_m \cos \left(\frac{2\pi x}{L} \right) \right] dx$$

La sinuosidad Ω , Definida como $\Omega = L / \Lambda$, aumenta gradualmente con θ_m en radianes, como se ilustra en la figura 15:

$$\Omega \equiv \frac{L}{\Lambda} = \frac{L}{\int_0^L \cos \theta \, dx} \cong 1 + \left(\frac{2\theta_m}{\pi} \right)^5 = 1 + 0.1\theta_m^5$$

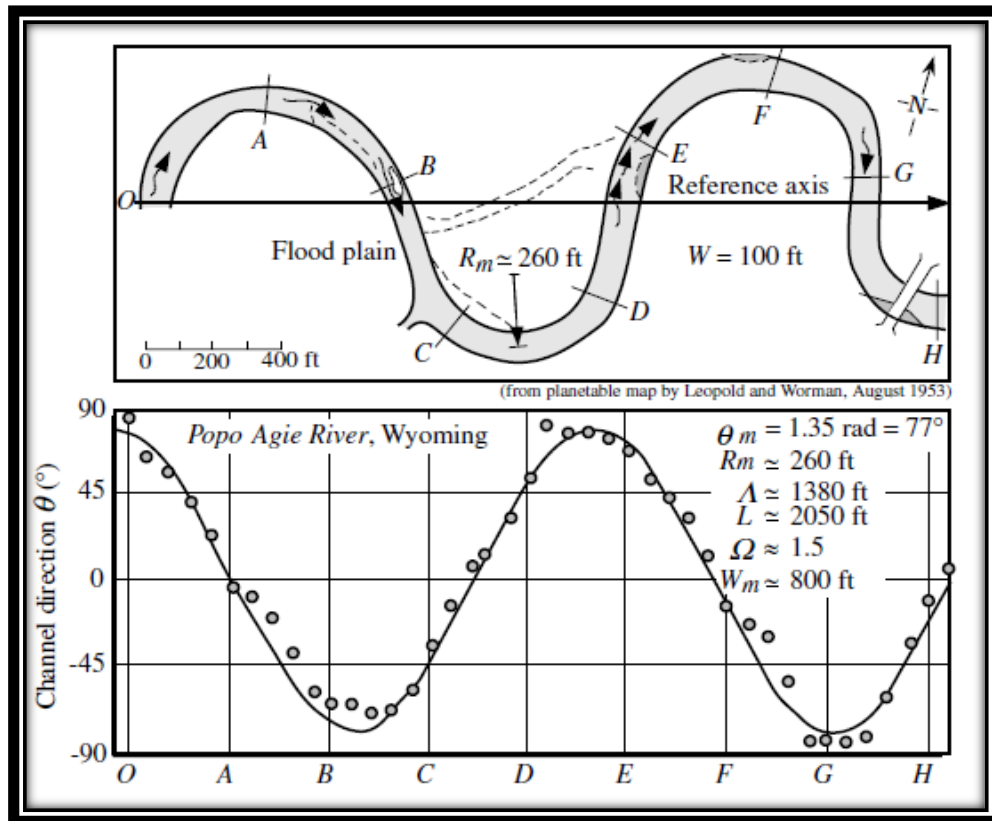


Figura 15: Forma en planta de un meandro.

Fuente: Julien, 2002.

El radio de curvatura R puede obtenerse de $dx = R d\theta$; combinando esto con Eq. de θ da:

$$R = \frac{L}{2\pi\theta_m} \csc\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

El radio mínimo de curvatura R_m en el ápice se obtiene cuando $\csc [(2\pi x) / L] = 1$ o:

$$R_m = \frac{L}{2\pi\theta_m}$$

Leopold (1960) observo empíricamente que la longitud del meando Λ es aproximadamente 10 veces el ancho del canal W , como se muestra en la figura 16. Las mediciones de campo de Leopold y Wolman (1960) indican una proporción promedio de 4.7, como se muestra en la figura 17. De lo que obtenemos:

$$\frac{R_m}{W} \cong \frac{5\Omega}{\pi\theta_m}$$

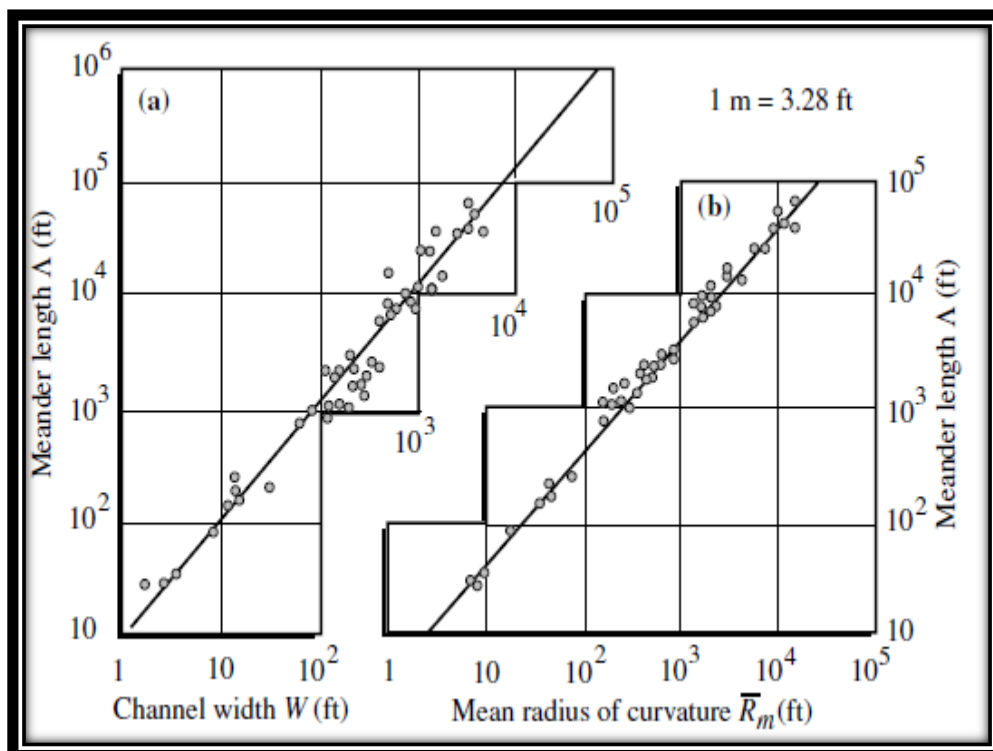


Figura 16: Geometría empírica de meandros – Diagrama de Leopold, 1960.
Fuente: Julien, 2002

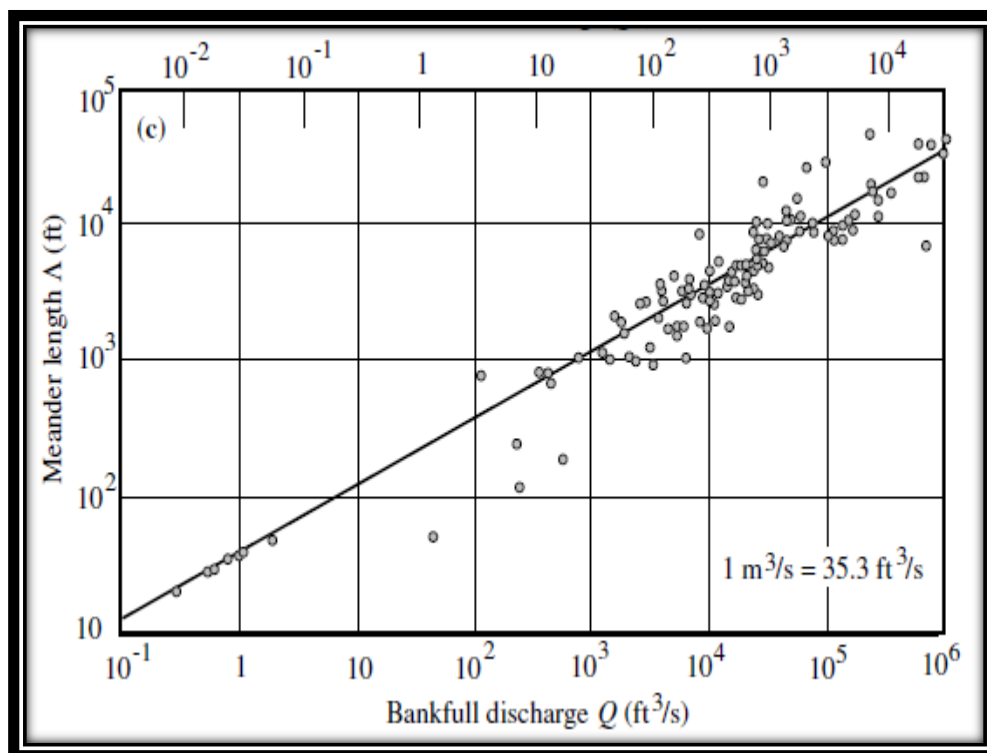


Figura 17: Geometría empírica de meandro – Diagrama de Ackers y Charlton, 1970.
Fuente: Julien, 2002

d) Migración Lateral

Desde el punto de vista de la hidráulica fluvial, todos los ríos están sujetos en mayor o menor grado a procesos de erosión o degradación, equilibrio y sedimentación o agradación (Figura 18). Un río se considera en estado de equilibrio cuando no varía el perfil del fondo y de las márgenes del cauce y, por lo tanto, existe compensación entre los sedimentos que son transportados hacia el sitio y desde el sitio. Una importante variedad de problemas de ingeniería hidráulica requiere de una descripción apropiada de estos procesos morfológicos (Rocha, 2009; Chang, 1988).

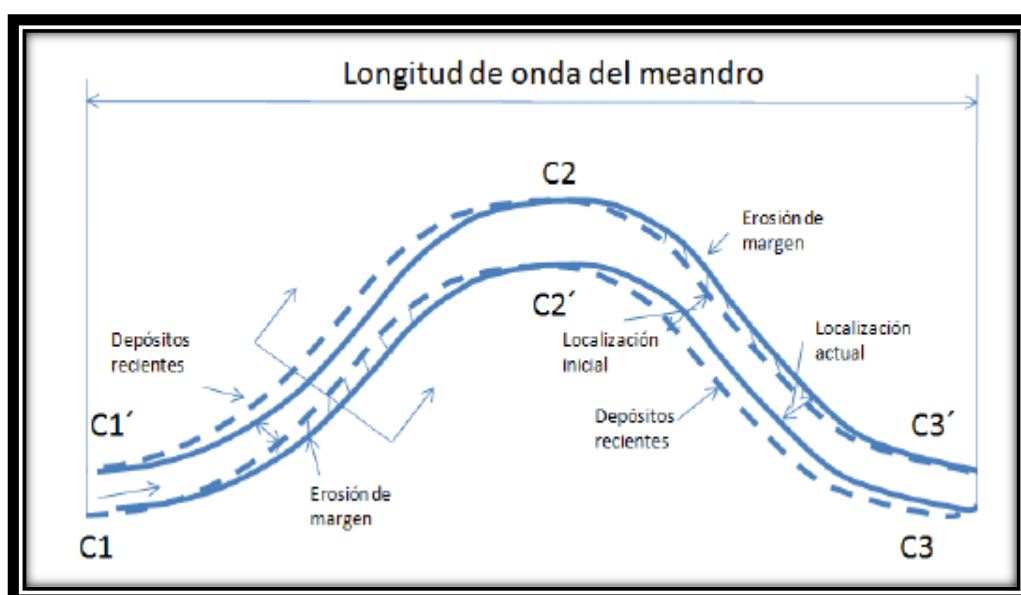


Figura 18: Migración de un meandro – vista en planta.

Fuente: Farias, 2015.

Julien, 2002, dice que la influencia de la sinuosidad, ancho del canal, profundidad, velocidad y el parámetro de Shields aplicada en la ecuación de Manning – Strickler con $m=1/6$, cuando se compara con un canal recto, un canal serpenteante con sinuosidad $\Omega = 2$ tendría una profundidad de flujo de 12% más grande y un ancho de 16% más grande, la velocidad disminuiría en un 24% y la tensión de corte disminuirá en un 44%. La sinuosidad aumenta así el área de la sección transversal y disminuye la velocidad del flujo y transporte de sedimento.

Se ha demostrado que el esfuerzo cortante transversal es proporcional a $\tan\lambda$ y al cuadrado de la velocidad.

$$\tau_{to} \sim \frac{hV^2}{R}$$

Donde τ_{t_0} es la tensión de corte del lecho en dirección transversal. La tensión de corte transversal máximo $\tau_{t_{max}}$ corresponde al valor mínimo del radio curvatura $R_m = \Omega\lambda / 2\pi\theta_m$.

La migración lateral en ríos serpenteantes resulta de la erosión del banco externo combinada con la sedimentación cercana del banco interno.

Este proceso se ilustra en la figura 19, (a) En los ríos naturales, las tasas de erosión son variables y también dependen de la fuerza del banco, la cohesión y la vegetación. (b) El ensanchamiento es el resultado de la erosión en un banco en exceso de la sedimentación cerca del banco opuesto.

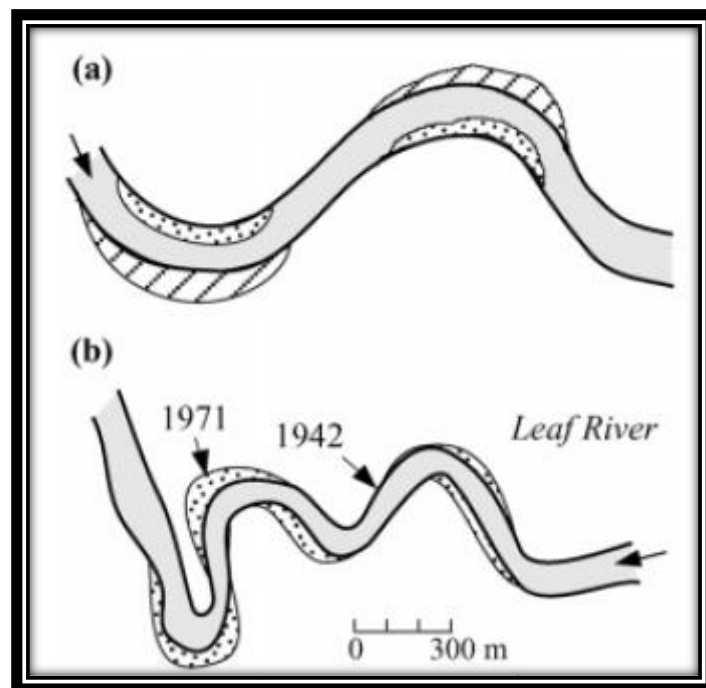


Figura 19: Erosión y sedimentación en ríos meandros.
Fuente: Julien, 2002

La relación entre el radio de curvatura y el ancho puede ser una herramienta útil para predecir las tasas de erosión en los sistemas fluviales. Julien, 2002 nombro a Biedenharn, 1989 que estudio los efectos de R_m / W y del material del banco sobre las tasas de erosión de 160 curvas al largo del Rio Rojo en Louisiana y Arkansas. Como se indica en la figura siguiente, los valores R_m / W superiores a 5, las tasas de erosión fueron generalmente bajas de 3 – 10 metros por años sin una tendencia apreciable de aumento o disminución. Las tasas de erosión máximas se observaron en el rango R_m / W de 2 a 4.

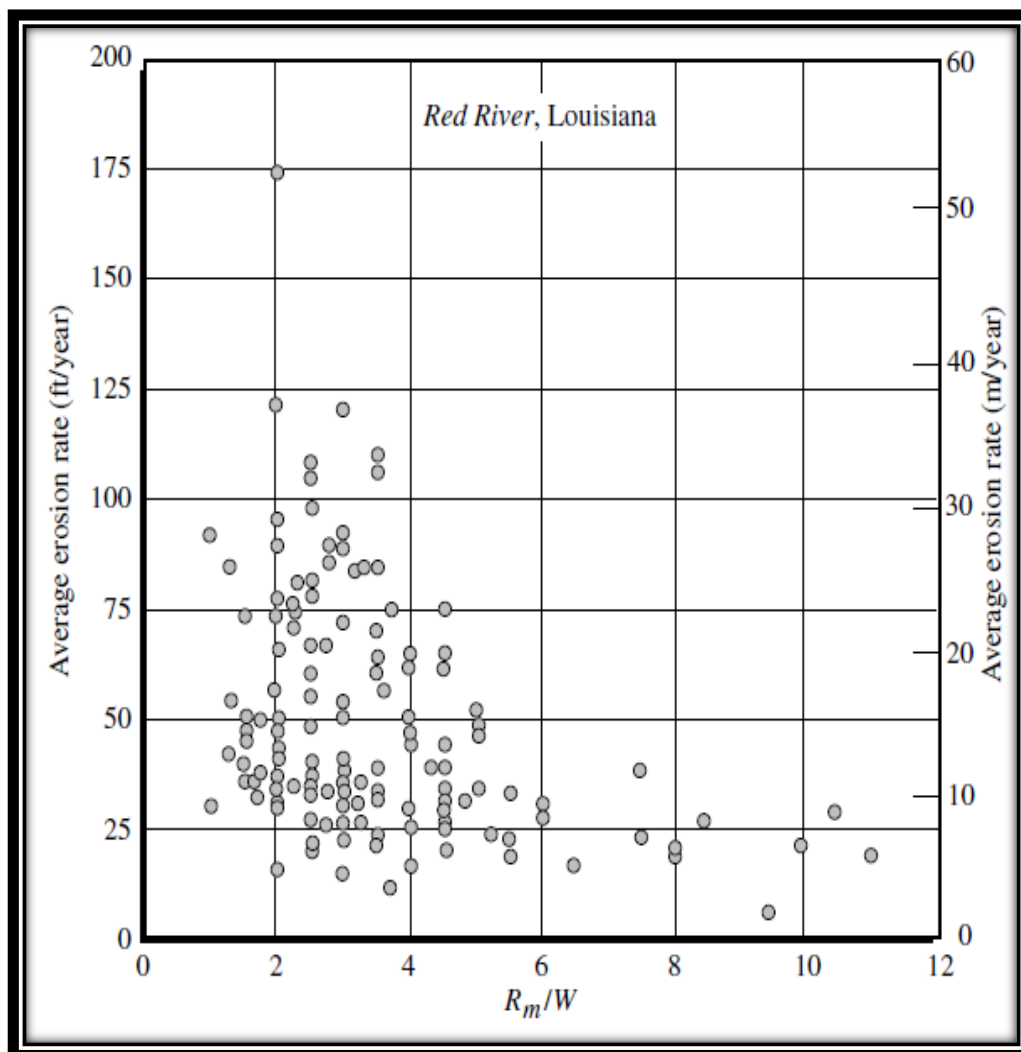


Figura 20: Relación de migración lateral.
 Fuente: Julien, 2002

La tasa de migración relativa, definida como la tasa de migración anual dividida por el ancho del canal. Nanson y Hickin ,1986 estudiaron 18 ríos del oeste de Canadá, su estudio se indicó que la velocidad de migración de los meandros se maximiza a $2 < R_m / W < 4$.

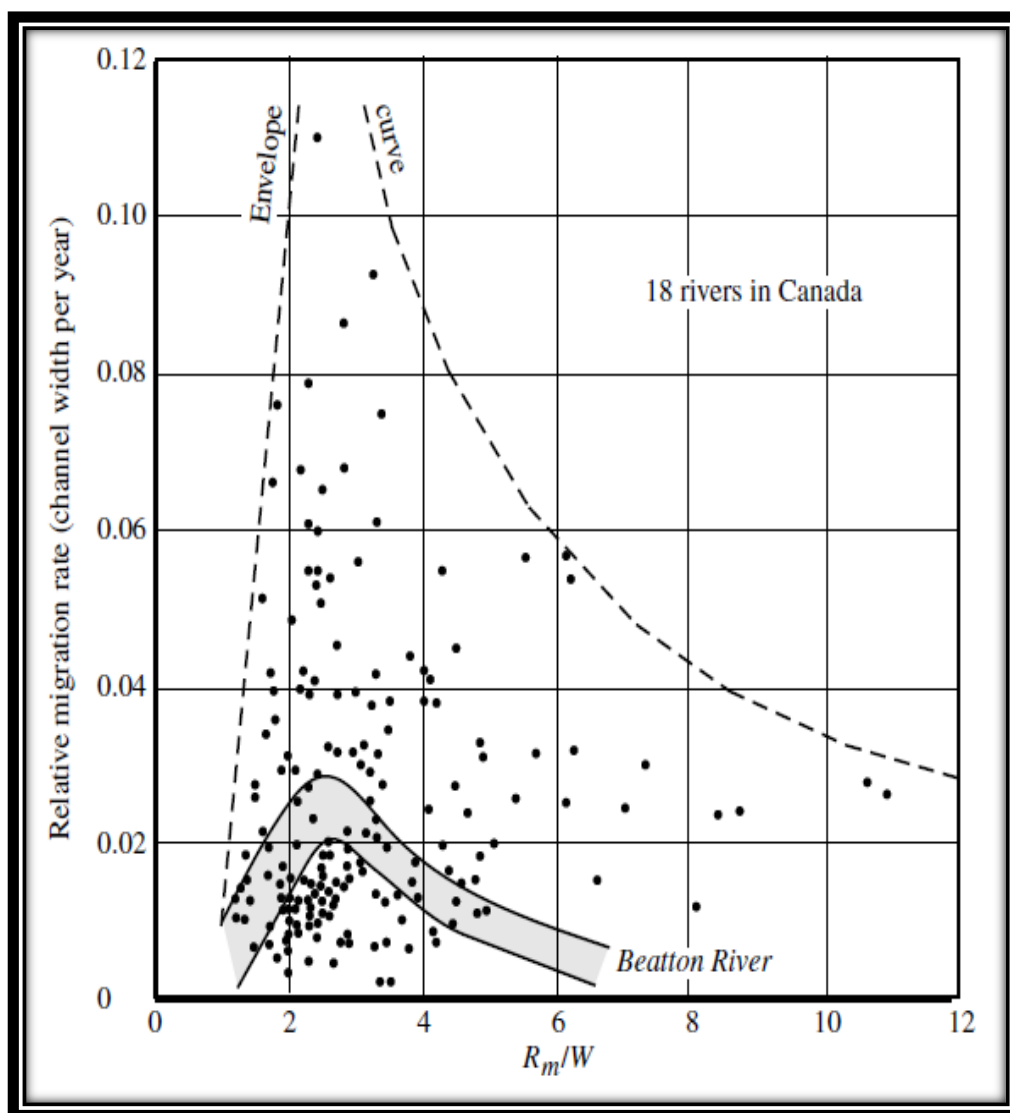


Figura 21: Tasas de migración relativa.

Fuente: Julien, 2002.

2.3.4. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Existen canales ideales y naturales. Los canales ideales tienen un flujo ideal que es bidimensional (2D) y los canales naturales tienen un flujo real que es tridimensional (3D). Esta diferencia, añadida a otros factores hace que la teoría (2D) sea muy diferente a la realidad (3D).

Las partículas en el fondo de un cauce ruedan o se deslizan a lo que se llama “transporte de fondo” o “arrastre”, existiendo también el “transporte por suspensión” y el “transporte por saltación”.

En el transporte por arrastre el material se desliza o rueda dependiendo de su diámetro y forman rizos, dunas y barras. La velocidad de la partícula es menor a la velocidad del fluido.

Las partículas en suspensión mayormente constituidas por partículas finas que se encuentran en toda la sección transversal. La velocidad con la que avanza la partícula en suspensión es casi igual a la velocidad del fluido. (Arturo Roca, Hidráulica Fluvial)

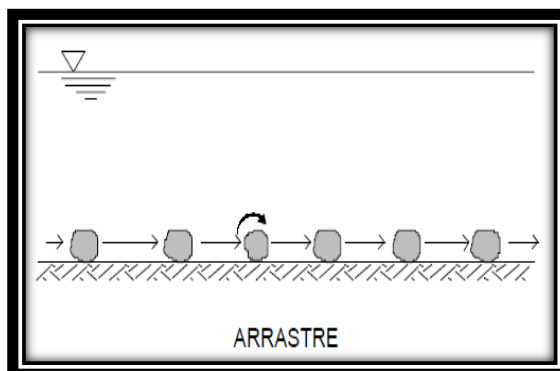


Figura 22: Transporte de fondo o por arrastre.
Fuente: Rocha, 1998.

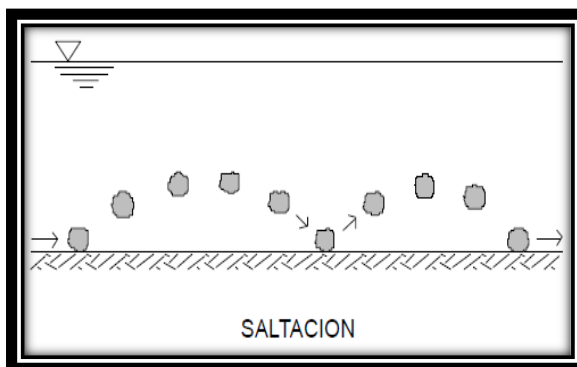


Figura 23: Transporte por salto.
Fuente: Rocha, 1998.

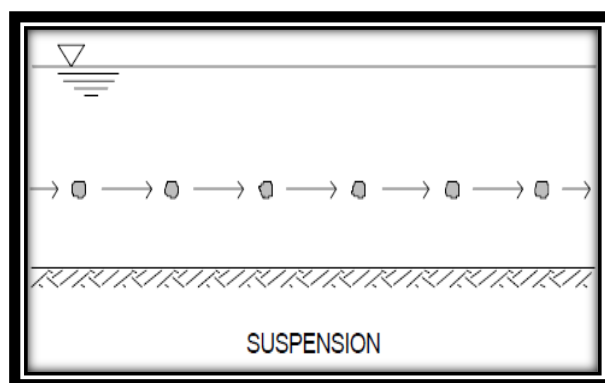


Figura 24: Transporte de suspensión.
Fuente: Rocha, 1998.

a) Fuerza Tractiva

Es la fuerza que ejerce la corriente sobre el fondo por unidad de área se denomina fuerza tractiva o esfuerzo cortante (τ_0).

El movimiento de las partículas del lecho se inicia cuando $\tau_o > \tau_{oc}$ (Fuerza tractiva crítica o esfuerzo cortante critico).

La fuerza tractiva critica es la mínima fuerza necesaria para poner en movimiento las partículas de lecho.

Si $\tau_o < \tau_{oc}$ el lecho se comporta como un lecho rígido.

Si $\tau_o = \tau_{oc}$ es el punto de inicio del movimiento.

τ'_{oc} Corresponde al valor de τ_o para el que las partículas se ponen en suspensión y viajan distribuidas en la sección transversal.

Para que inicie el transporte de fondo se requiere que:

$$\tau_{oc} < \tau_o < \tau'_{oc}$$

b) Iniciación de movimiento

Los ríos pueden ser erosionados por el paso de las aguas, ya que los materiales que los constituyen no son capaces de resistir la fuerza de arrastre, la cual se genera por el movimiento o escurrimiento del agua. Por tal motivo, la acción que hace que las partículas se arrastren o inicien su movimiento se denomina movimiento incipiente. El movimiento incipiente es una situación instantánea en que una o varias partículas comienzan a moverse.

Determinar esta condición crítica de movimiento es importante en la ingeniería de ríos, esto permite inferir condiciones que originan el acarreo o transporte de partículas o bien las que favorecerían su depósito. (Comisión Nacional del Agua, UNAM, 1996).

c) Ángulo de reposo

La estabilidad de una sola partícula sobre una superficie horizontal plana se muestra en la figura 25 para formas simples. La condición de iniciación de movimiento se obtiene cuando el centro de partículas de masa G esta verticalmente por encima del punto de contacto C . El ángulo α 180 dividido por el número de lados del polígono; por ende, podemos saber que el ángulo de reposo de las partículas aumenta con la angulosidad.

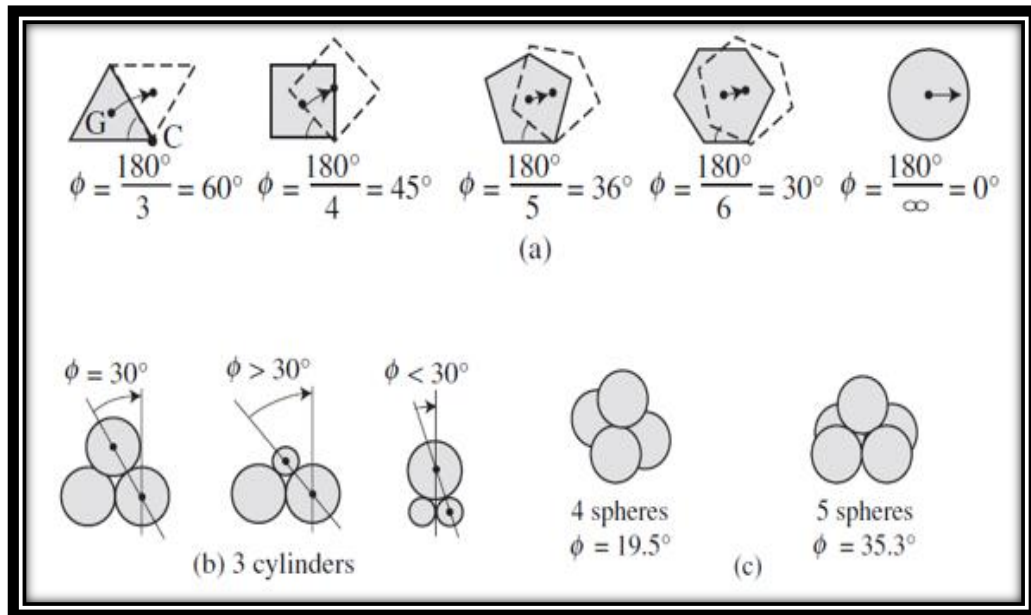


Figura 25: Ángulo de reposo para formas simples.
Fuente: Julien, 2002.

En la figura 26, una partícula no tiene necesariamente un valor único de ángulo de reposo. Por lo que podemos ver que el ángulo de reposo no es tan solo una función de la partícula, sino, depende también de la interacción de la partícula con la superficie de contacto.

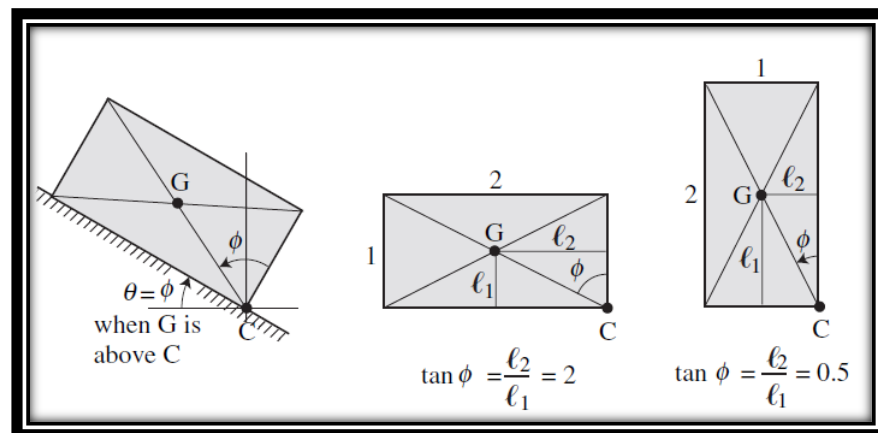


Figura 26: Ángulo de reposo dependiendo de la orientación de la partícula.
Fuente: Julien, 2002.

En el caso de cilindros largos que permanecen apilados uno encima de otros (figura 27) descansan con un ángulo de reposo $\phi=30^\circ$. Pero también vemos que en la figura 25 que para una esfera con tres puntos de contacto $\phi=19.5^\circ$ y para cuatro puntos de contactos $\phi = 35.3^\circ$. Por lo que el ángulo de reposo depende de la interacción de la partícula con la superficie de contacto.

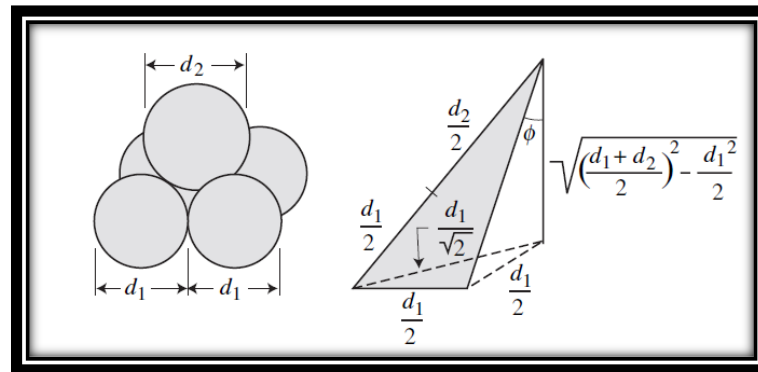


Figura 27: Ángulo de reposo para diámetros de esferas diferentes.
Fuente: Julien, 2002.

Para el caso de partículas con material diferente, considere una esfera de diámetro d_2 que descansa encima de cuatro esferas idénticas de diámetro d_1 , como se muestra en la fórmula 01. El ángulo de reposo está dado por:

$$\tan\phi = \frac{d_1}{\sqrt{(d_1 + d_2)^2 - 2d_1^2}} = \sqrt{\frac{1}{(1 + \frac{d_2}{d_1})^2 - 2}}$$

2.3.5. ESTABILIDAD DE RÍOS

Las estructuras de estabilización de ríos están diseñadas para proteger las orillas de los ríos y evitar la migración lateral. Los métodos de estabilización de ríos se pueden clasificar en (1) fortalecimiento de los bancos y (2) reducción de las fuerzas hidrodinámicas.

a) Estabilidad de bancos de ríos

a.1) Revestimiento con Escollera

Son los más usados en el área de protección de riberas. Los elementos o escollos se colocan sin ligante de manera que la unidad no es monolítica. Su estabilidad se debe al peso propio de sus elementos. Los taludes donde se colocan deben ser estables geotécnicamente (la escollera no resiste el empuje de tierras). Una ventaja es su flexibilidad como conjunto o agrupación.

La roca para este tipo de estructura debe cumplir con ciertos requisitos: a) Densidad: el peso específico más común es 2.65 ton/m^3 . b) Fragilidad o susceptibilidad a la rotura por lugares débiles. c) resistencia a la meteorización, importante para la integridad y durabilidad de la escollera. Es importante evitar las formas planas de la roca.

Para un buen diseño de escolleras se debe proteger la cabeza y el pie de la escollera. La escollera necesita un filtro para impedir la migración y pérdida de material del substrato bajo la acción hidrodinámica.

Los criterios de diseño para protección con escolleras son:

- Velocidad (magnitud y dirección) o esfuerzo de corte
- Talud geotécnicamente estable
- Angulo de reposo de la roca
- Espesor del manto
- Filtro entre escollera y talud

a.2) Vegetación

Es el método más natural para protección de bancos de ríos, mejora las condiciones ambientales para la vida silvestre.

La vegetación puede proteger el banco de dos formas:

- a) Las raíces mantienen al suelo junto y esto ayuda a la estabilidad del talud y también absorbe agua y permite mayor infiltración en el suelo.
- b) Los tallos, las ramas expuestas al flujo proporcionan una resistencia al flujo haciendo que el flujo pierda energía haciendo que pierda su velocidad y potencia la deposición de detritos.

La vegetación que está encima del talud impide la erosión provocada por la lluvia. En bancos muy altos, las raíces de los árboles no siempre penetran hasta la punta del banco.

Si se erosiona el pie del banco el peso de la vegetación puede causar el colapso del banco.

Para utilizar esta metodología tenemos que tener en cuenta las siguientes limitaciones:

- a) Tiempo de crecimiento
- b) Sujetos a socavar
- c) No soportar periodos alternos de secado o humedecimiento
- d) Pueden sufrir congelación o descongelación

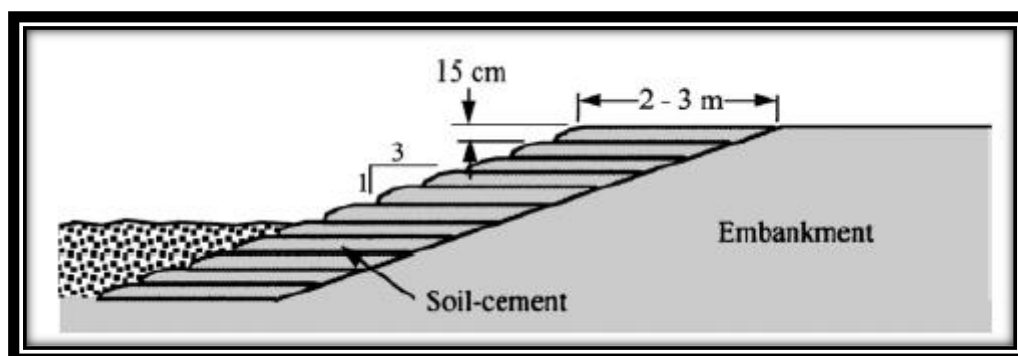
Se recomienda que el banco a ser sembrada tenga una pendiente estable y menor de 1V:2H.

a.3) Suelo – Cemento

Esto se aplica cuando el enrocado es difícil de colocar, también puede resultar mucho más barato. Su uso es especialmente cuando el talud está constituido de suelos limosos y arcillosos y en ríos con crecientes de poca duración. Estos tipos de suelos son resistentes al corte cuando están secas, pero muy poco si están saturados. Se puede colocar este tipo de protección en pendiente de hasta 1V:2H, buenos resultados sean encontrado en pendientes 1V:3H. El suelo – cemento tiene tres inconvenientes:

- impermeabilidad
- baja resistencia
- susceptibilidad a las variaciones de temperatura.

Si el banco se satura no podrá drenarse entonces se produce el colapso de la estructura.



*Figura 28: Protección con suelo – cemento.
Fuente: Julien, 2002.*

a.4) Sacos y Bloques

Este método de protección ha sido muy utilizado, alrededor de estructuras hidráulicas como medida de protección de emergencia contra avenidas. Usualmente son saco de arpillera lleno de tierra o arena-cemento. Estos sacos se dañan con el tiempo. La facilidad de este método es que puedes conseguir el material en la misma zona con mayor facilidad.

Los orificios de drenaje se deben incluir en el diseño de revestimiento para permitir el drenaje y evitar la acumulación de presión que podría provocar el fallo del revestimiento.

Ventajas de este tipo de protección:

- Colocación en pendientes pronunciadas
- Utilización de material disponible de la zona
- Colocación por adoquinado es más estético

Desventajas a comparación con una escollera de piedras.

- Mucha mano de obra
- Actúa en forma monolítica, no tiene flexibilidad
- Sacos de tamaño uniforme no son eficaces contra la erosión y filtración como las piedras bien graduadas
- Bolsas sintéticas son vulnerables al fuego o hielo.

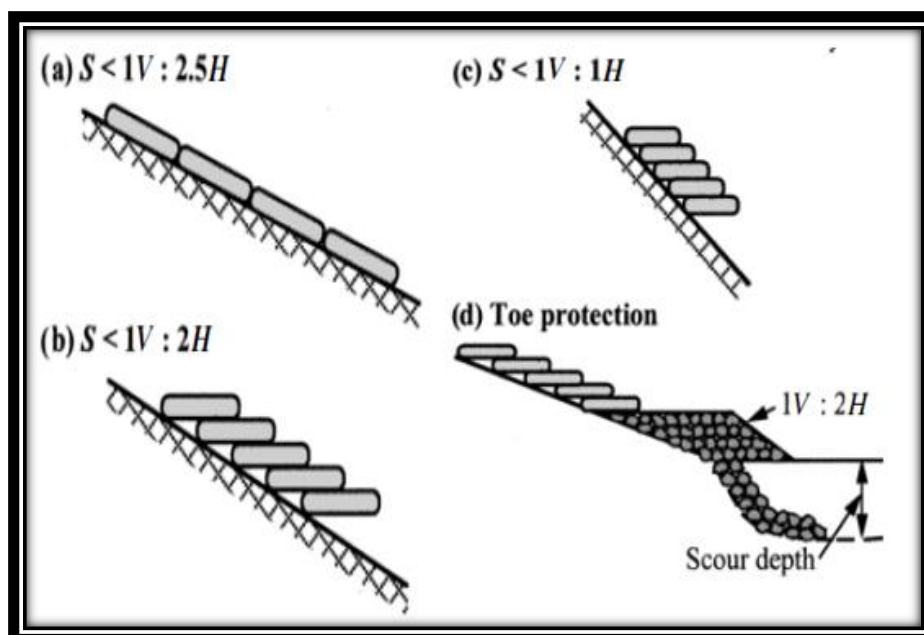


Figura 29: Protección con sacos y bloques.

Fuente: Julián, 2002.

b) Estructuras de control de flujo

b.1) Fajos de raíces (Root Wads)

Los Root Wads son fajos de raíces incluyendo una pequeña porción de tronco; esta estructura sirve para desviar el flujo lejos del banco. Ayudan a la estabilización del banco, mejoran el hábitat para los peces u otros animales acuáticos y suministran de comida para insectos acuáticos.



Figura 30: Protección con fajo de raíces.

Fuente: Doll Barbara, 2016.

b.2) Vanes

Los vanes son estructuras que pueden ser construidos de grandes troncos de árboles o rocas, pero más se construyen con rocas. Tenemos 4 tipos de vanes: Vane simple, Vane Ala – J, Vane transversales y W –weir.

Los Vane simple y Vane Ala – J, protegen el banco y direccionan el thalweg lejos del banco hacia el centro del canal, por tal mejoran el hábitat acuático y crean piscinas.

Los Vanes transversales tienen el mismo comportamiento y ejercen el mismo control incluso en meandros.

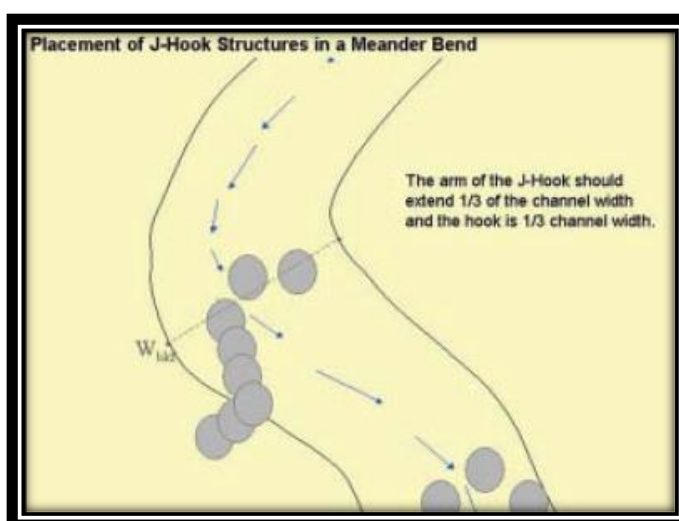


Figura 31: Protección con Vane – Forma Vane Ala J.

Fuente: Doll Barbara, 2016.

b.3) Retards

Es una estructura de baja permeabilidad situada cerca de la punta de la pendiente del banco paralela al flujo de la corriente, como se muestra en la figura siguiente.

Su función es disminuir la velocidad detrás de la estructura y eliminar las corrientes secundarias erosivas, induciendo a la deposición y crecimiento de la vegetación.

Su mejor funcionamiento es en ríos de tienen gran carga de sedimentos.

Ventajas de este tipo de protección:

- Se adapta a una amplia gama de condiciones.
- Puede mejorar la alineación del canal.
- Es menos costoso que una estructura como dique.

Desventajas a comparación con una escollera de piedra.

- No mejora la pendiente en corto plazo.
- Reduce la capacidad del canal a largo plazo
- Traslada la erosión aguas abajo de la ribera a proteger.

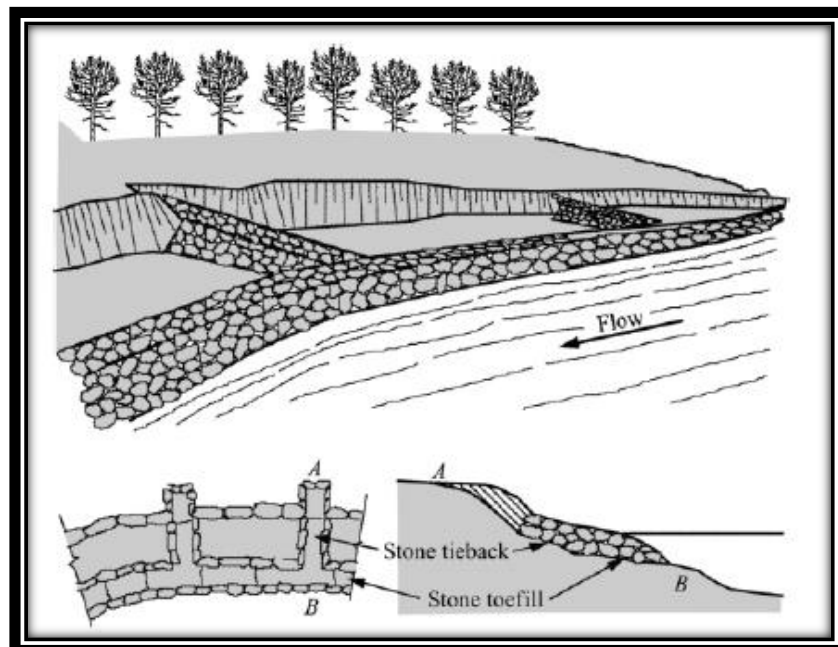


Figura 32: Protección con Retards.
Fuente: Julien, 2002.

b.4) HardPoints

Los Hardpoints son estructuras colocadas a lo largo de la ribera a proteger. Estas estructuras sobre salen una distancia corta en el cauce del río.

La mayor parte de la estructura no puede ser visto ya que la parte inferior consta de roca colocada bajo el agua y la parte superior se cubre con tierra vegetal y se siembra vegetación.

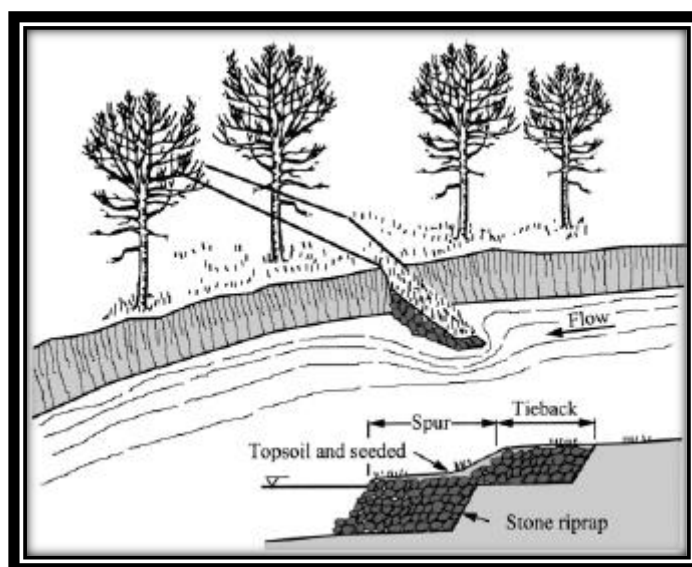


Figura 33: Protección con HardPoint.

Fuente: Julien, 2002.

b.5) Espigones

Son estructuras que sobre salen grandes longitudes sobre el cauce del canal. Lo cual hace que se aleje el thalweg de la orilla, haciendo que se logren depositar sedimentos (de suspensión como de fondo) en la orilla a proteger. Estas estructuras pueden ser construidas de madera, acero, piedra o concreto. Estas estructuras también pueden ser permeables que mayormente son hechos de madera o acero.

El espigón hace que la socavación en la punta se incremente lo que causa la deflexión del flujo por lo tanto incrementa la protección del banco.

A mayor reducción del espaciamiento, también se reduce la socavación en la punta del espigón y hace que el thalweg migre lejos de la zona cóncava hacia el centro del canal.

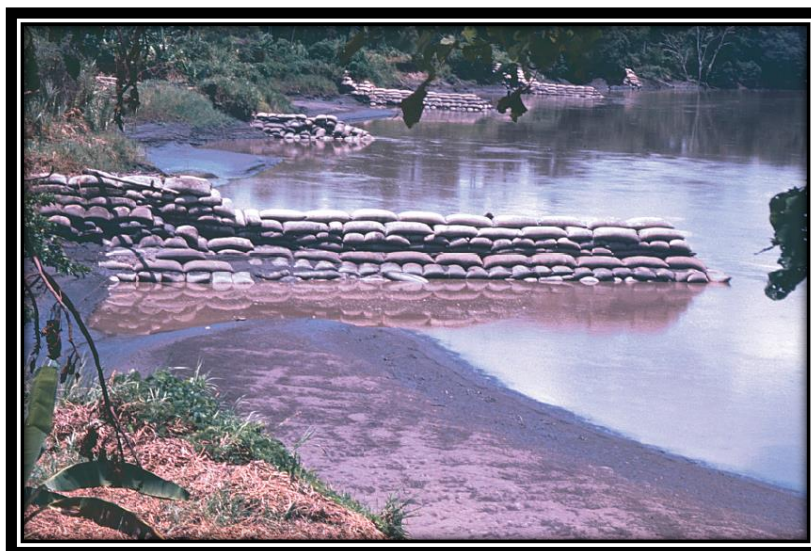


Figura 34: Protección con espigones.
Fuente: Suarez, 2001.

- **Espigones Permeables:** Debido a su espaciamiento permite el paso del agua, pero se origina remanso aguas arriba, se incrementan las pérdidas de energía, haciendo que ocurran sedimentaciones aguas arriba de los espigones.

Son efectivos en los ríos que tiene mayor cantidad de carga de fondo y altas concentraciones de sedimentos, debido a que esos facilitan la sedimentación.

El espigón puede ser de alta o baja permeabilidad. Su función es la de retardar el flujo y disminuir la velocidad cerca de las márgenes. Generalmente están más espaciados que los impermeables. Son considerados “retardadores”.

- **Espigones Impermeables:** Se pueden considerar “Deflectores”. Se usan cuando se trata de ríos navegables en la que se trata de mantener una sección hidráulica central con un determinado tirante.

b.6) Engineering Logjam (ELJ)

El término “LogJam” fue presentado por el Dr. Tim Abbe para describir una estructura de tipo espigón de tronco de madera diseñado principalmente con una medida de control de erosión (Abbe et al. 1997, Abbe 2000).

Los materiales utilizados en ELJs son principalmente (pero no se limitan) tallos de árboles con o sin su fajo de raíces adjunto. Una estructura ELJ puede consistir en una docena de troncos o varios cientos de troncos.

El objetivo de cualquier estructura ELJ es primero en imitar las funciones de los atascos de troncos naturales, tales como la alteración de los patrones de flujo, la captura de sedimentos, o la creación de socavación en piscinas, y en segundo lugar de hacerlo de una manera que emula más de cerca las características naturales de los logjams. (Herrera, 2006).



Figura 35: Protección de atasco natural.
Fuente: Brooks, 2006.

2.3.6. SOCAVACIÓN

Para la estimación de erosiones y socavaciones, a producirse en las inmediaciones de una estructura hidráulica como es el caso de puentes, la mayoría de fórmulas existentes para lechos granulares (no cohesivos) requieren como dato principal el diámetro representativo del lecho; para lechos finos (cohesivos) predomina el dato de peso específico.

Siendo la profundidad de socavación la profundidad total de la socavación de todas sus componentes.

a) Socavación General

Es el descenso generalizado del fondo del río como consecuencia de una mayor capacidad de la corriente para arrastrar y transportar sedimentos del lecho en suspensión durante crecientes.

b) Socavación Local

Se refiere a la remoción del material que circunda pilares, estribos, diques o terraplenes de acceso a un puente. Esta causada por el cambio de dirección de las líneas de corriente, la turbulencia, la aceleración del flujo y los vórtices resultantes inducidos por la obstrucción al flujo.

- ***Socavación local en pilares.***

El mecanismo que produce la socavación está asociado a la separación tridimensional del flujo en la cara arriba del pilar y a un vórtice periódico al pie de ella, (Dargahi, B. 1990). La acumulación de agua hacia aguas arriba de la obstrucción produce una especie de onda en la superficie y un flujo vertical hacia abajo que crea un fuerte gradiente de presiones lo que ocasiona separación del flujo, como consecuencia de lo cual se origina un sistema de vórtices al pie de la pila llamados vórtices de herraduras que son los principales causantes de la socavación.

El flujo hacia arriba combinado con los vórtices de herradura que se forman en la base del pilar remueven el material de lecho y la tasa de transporte de sedimentos desde la zona de obstrucción es mayor que el aporte de sedimentos proveniente de aguas arriba, se crea el hueco de socavación.

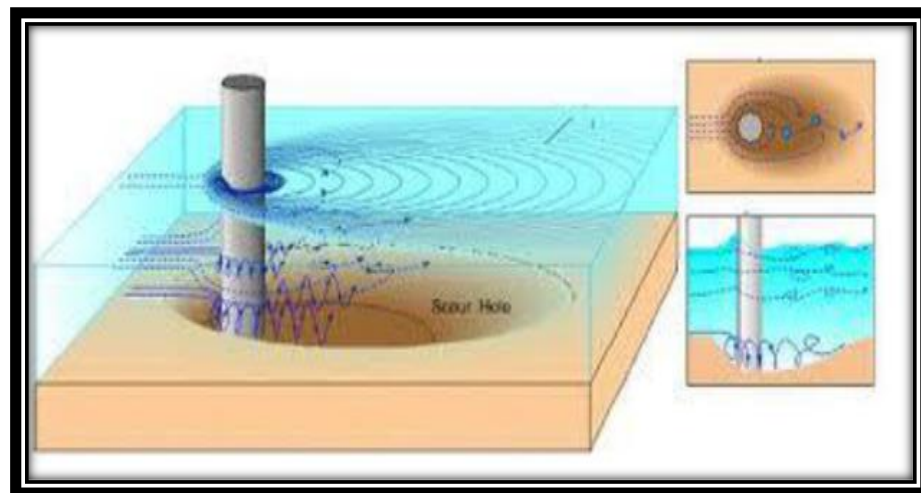


Figura 36: Socavación en pilares.

Fuente: HEC-18, 2001.

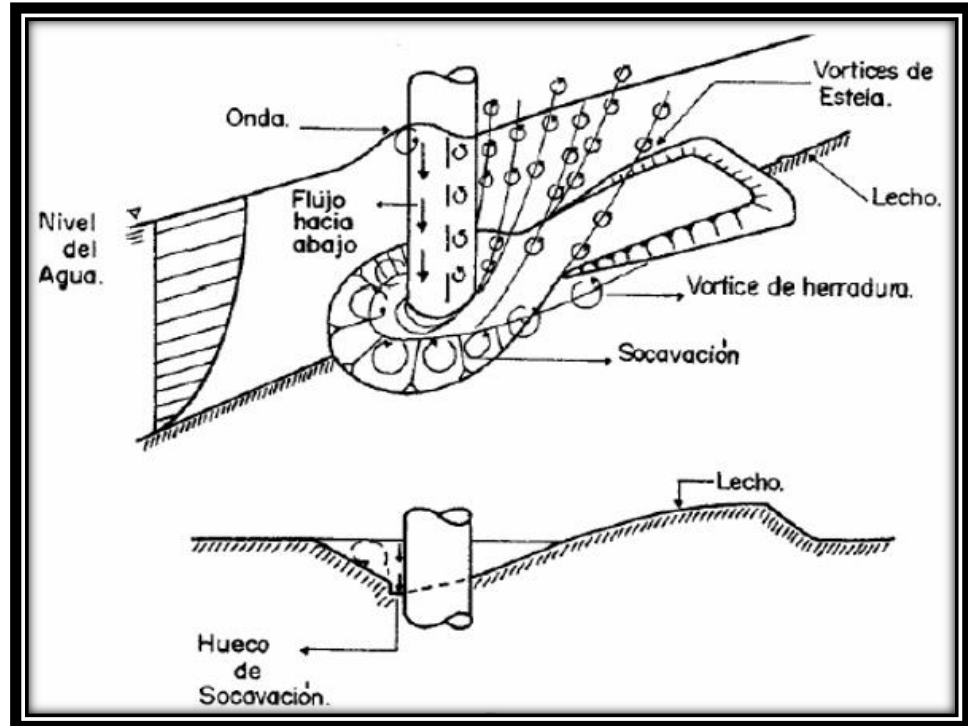


Figura 37: Vórtice de herradura y vórtice de estela.
Fuente: HEC-18, 2001.

Se alcanza la socavación cuando las velocidades de transporte que entran y salen del orificio de socavación son iguales.

La universidad de Colorado (CSU) calcula la socavación en pilares con la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta z}{h_1} = 2.0K_1K_2\left(\frac{a}{h_1}\right)^{0.65}Fr_1^{0.43}$$

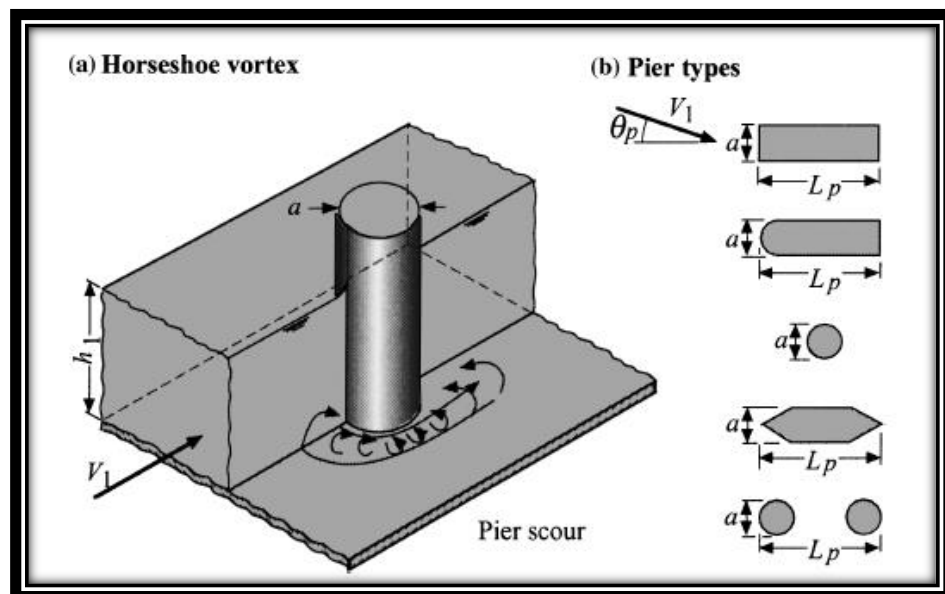


Figura 38: Tipos de pilares.
Fuente: Julien, 2002.

Donde:

Δz es la profundidad de socavación

h_1 es la profundidad de flujo justo aguas arriba del pilar

K_1 es la corrección para la forma del pilar de la tabla 9.1

K_2 es la corrección del ángulo de ataque de flujo de la tabla 9.2

a es el ancho del pilar

Fr_1 es el número de Froude aguas arriba

Tabla 4: Factor de Corrección por tipo de pilar (K_1)

Tipo Pilar	K_1
Rectangular	1.1
Nariz redonda	1
Circular	1
Grupo de Cilindros	1
Forma Aguda	0.9

Fuente: Julien, 2002.

Tabla 5: Factor de Corrección por el ángulo de Flujo (K_2)

Ángulo (grados)	$L / a = 4$	$L / a = 8$	$L / a = 12$
0	1.00	1.00	1.00
15	1.50	2.00	2.50
30	2.00	2.75	3.50
45	2.30	3.30	4.30
90	2.50	3.90	5.00

Fuente: Julien, 2002.

Donde:

$L =$ Longitud del pilar

$a =$ ancho del pilar

Como regla general, la profundidad de socavación es aproximadamente dos veces el ancho del pilar. En las corrientes cargadas de escombros o cuando se pueden esperar atascos de hielo en el sitio del puente, la socavación local real puede ser considerablemente mayor que el determinado por la ecuación.

- **Socavación local en Estribos**

Se piensa que está afectada por los mismos fenómenos que causan la socavación local en pilares como la separación de flujo y vórtices de herradura que remueven partículas locales. La socavación local que se produce en los estribos que obstruyen el paso del agua. Esta obstrucción

forma un vórtice de eje horizontal que empieza en la parte aguas arriba y corre a lo largo del pie de la estructura y un vórtice de eje vertical al final de la misma. El vórtice al pie del estribo es muy similar al vórtice de herradura de las pilas y el vórtice al final es similar a los vórtices de estela más débiles que se forman aguas abajo. La socavación local en los estribos depende de la cantidad de flujo interceptada por los estribos del puente. La profundidad de la socavación en el estribo en un flujo subcrítico es:

$$\frac{\Delta z}{h_1} = 1.1 \left(\frac{L_a}{h_1} \right)^{0.4} Fr_1^{0.33}$$

Donde:

Δz es la profundidad de la socavación en el estribo

h_1 es la profundidad promedio de flujo aguas arriba en el canal principal

L_a es la longitud del estribo

Fr_1 es el número de Froude aguas arriba

Si el estribo termina en una pared vertical y la pared en el lado aguas arriba también es vertical, entonces el agujero de socavación en la arena calculado casi se duplica (Liu et al., 1961 y Gill, 1972):

$$\frac{\Delta z}{h_1} = 2.15 \left(\frac{L_a}{h_1} \right)^{0.4} Fr_1^{0.33}$$

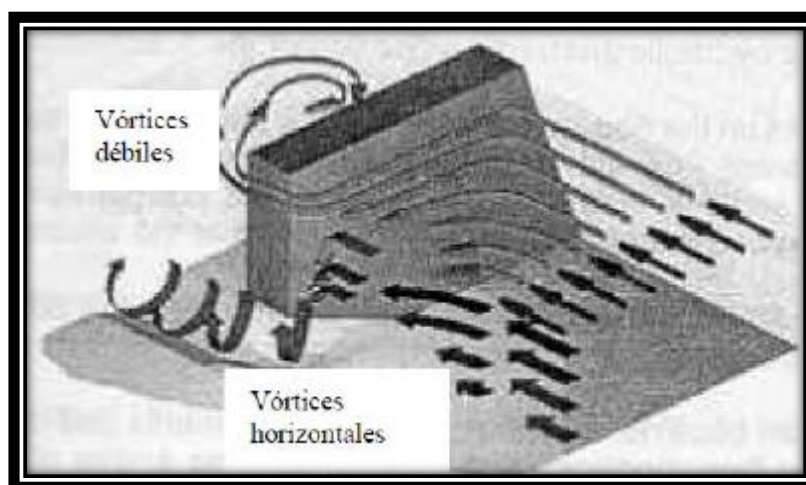


Figura 39: Vórtices que ocasionan la socavación en estribos.
Fuente: HEC-18, 2001.

c) Socavación por contracción

La socavación por contracción es causada principalmente por la disminución del ancho del flujo ya sea por causas naturales o artificiales o por el cambio en el control aguas debajo de la elevación de la superficie del agua.

Una disminución en la sección mojada implica aumento de la velocidad media del agua y del esfuerzo cortante.

2.4.CRITERIOS DE DISEÑO PARA ESTRUCTURAS DE CONTROL DE FLUJO

2.4.1. ESTRUCTURAS TRADICIONALES

a) Consideraciones de Diseño

Los espigones tienen como objetivos fijar el thalweg, también pueden producir efectos de desplazar el thalweg en dirección hacia la orilla izquierda del río Madre de Dios.

Siempre se tienen que tener en cuenta que tales estructuras son obstáculos en el flujo natural del río por lo que puede haber reacción. Es por eso que deben tener la separación adecuada.

Para el diseño del espigón debemos tener en cuenta las siguientes variables:

- Variable del flujo
 - a. Profundidad de agua mínima, normal y máximas.
 - b. Cantidad de carga suspendida con relación a la carga de fondo.
- Parámetro del cauce
 - c. Pendiente y velocidad del río
 - d. Características del material de fondo
- Posibilidad de avalanchas y otras amenazas
 - e. Conocimiento del régimen hidráulico del río.
 - f. Cálculo de socavación del cauce con el espigón.
 - g. Diseño de la cimentación con la profundidad adecuada.
 - h. Diseño hidráulico del espigón
 - i. Diseño estructural del espigón

b) Localización en Planta

Al proyectar una obra de defensa, se requiere trazar en planta el eje del río, y en las orillas delinear una frontera, generalmente paralela a dicho eje, a lo cual llegarán los extremos de los espigones.

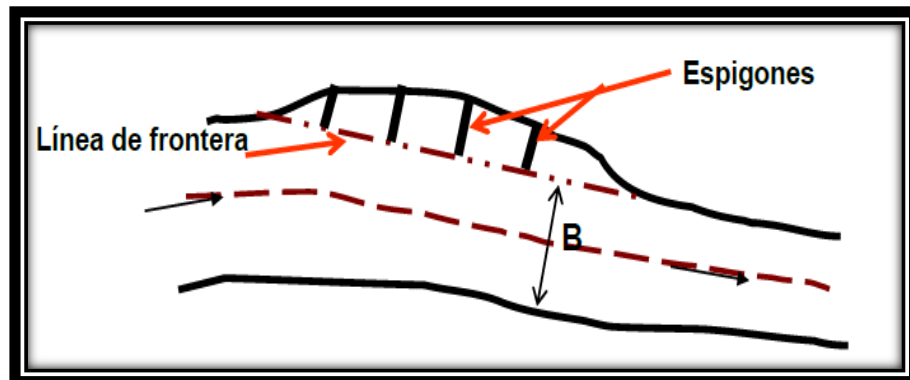


Figura 40: Localización de espigones en planta.

Fuente: PRZ Ingenieros, 2011.

La longitud de cada espigón estará dada por la distancia de la orilla real a esa línea delineada.

La separación entre las nuevas orillas (B), estará dado por el estudio de estabilidad de la corriente.

Cuando se trata de ríos curvos tenemos que tener en cuenta que el radio de curvatura debe tener la siguiente longitud:

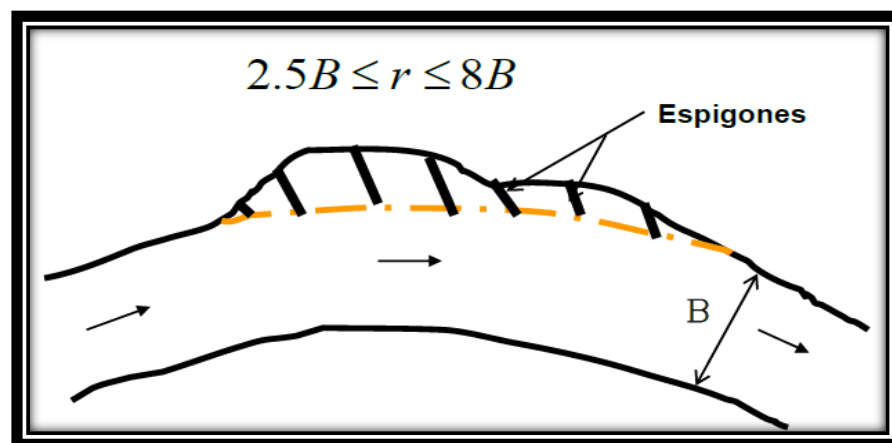


Figura 41: Separación entre espigones.

Fuente: PRZ Ingenieros, 2011

Dónde: B ancho medio de la superficie libre en los tramos rectos en metros.

Al proteger una curva, los primeros 3 espigones aguas arriba deben tener longitud variable: el primero será el de menor longitud posible (igual al tirante) y los otros dos aumentarán uniformemente, de tal manera que el cuarto ya

tenga la longitud del proyecto. La pendiente longitudinal de la corona debe ser uniforme en todos ellos. El mayor espigón debe tener una mayor inclinación.

c) Longitud y separación de espigones

c.1) Longitud del espigón

La longitud total de un espigón se divide en una longitud de empotramiento (L_A), y una longitud de trabajo (L_T).

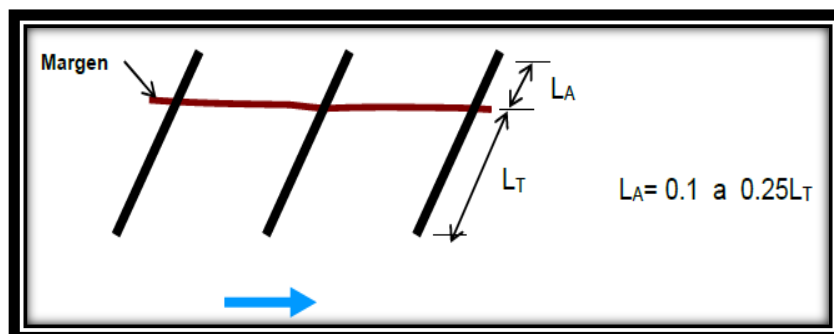


Figura 42: Longitud de trabajo (L_T) y longitud de Empotramiento (L_A).
Fuente: PRZ Ingenieros, 2011

Se recomienda que la longitud de trabajo esté dentro de los siguientes límites:

$$y < L_T < B/4$$

$$L_A < L_T/4$$

Donde B = ancho medio del cauce (m) y = tirante medio

Los valores de B , y del tirante deben ser correspondientes al gasto formativo, o aquel gasto que, de permanecer constante a lo largo del año, transportara la misma cantidad de material de fondo que el hidrograma anual (Caudal dominante).

c.2) Separación de espigones

Se mide en la orilla entre los puntos de arranque de cada uno.

Separación en curvas:

- Si la curva es regular, la separación recomendable es:

$$S_P = 2.5 L_T \quad \text{a} \quad 4 L_T$$

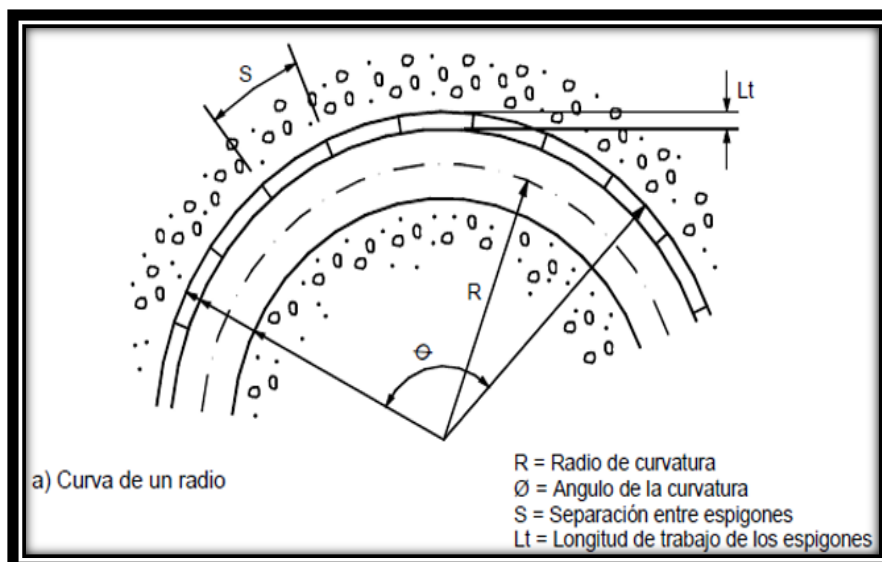


Figura 43: Separación de espigones en curvas regulares.

Fuente: Suarez, 2001.

En curvas, la separación entre espigones depende del radio de curvatura. A menor radio menor separación. En algunas curvas con radios menores de $1.5B$ los espigones a quedar tan juntos y tan orientados hacia aguas abajo que, por economía, es preferible hacer un recubrimiento marginal.

Cuando una curva tiene un radio igual o mayor a 4 veces el ancho del río, $4B$, la práctica usual consiste en colocar los espigones con una separación igual a $4L_T$. Si al proteger una curva siguiendo esta recomendación uno de ellos llega a fallar, se efectúa la reparación ya mencionada, para mayor seguridad se podrá construir otro espigón aguas arriba del fallado, a una separación igual a $2L_T$.

- Si la curva es irregular hay que ajustarse a los diferentes radios de curvatura.

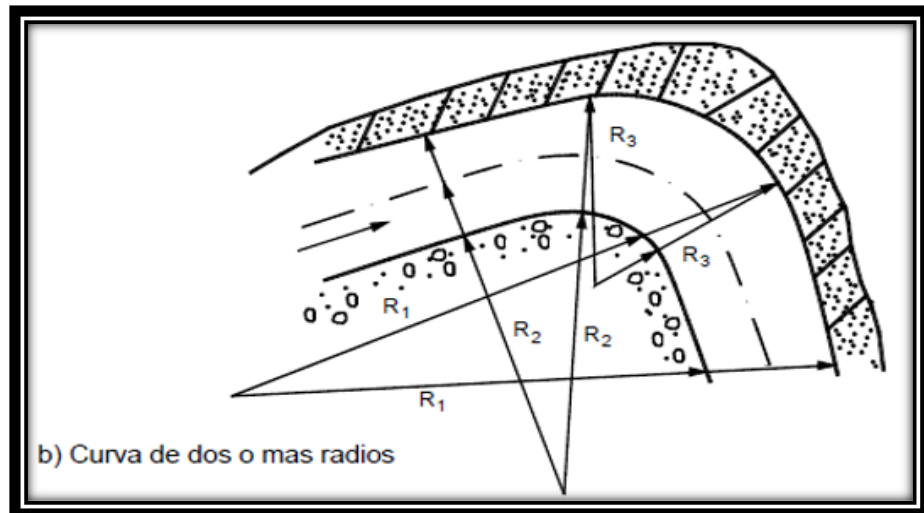


Figura 44: Separación de espigones en curvas de dos o más radios.
Fuente: Suarez, 2001.

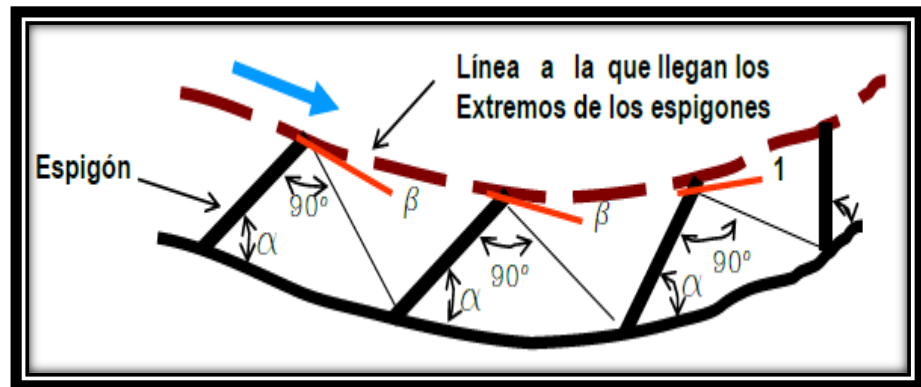


Figura 45: Ángulo de desviación (β) entre espigones.
Fuente: PRZ Ingenieros, 2011

Para la localización de espigones en curva Maza (1989) recomienda suponer un ángulo β de 9° a 14° de desviación de la corriente para la colocación del siguiente espigón. La separación S_p , entre espigones colocados en curva, conviene controlarla gráficamente como se indica en la siguiente figura 46. Para radios de curvaturas mayores de cuatro B se han usado separaciones de $4L_T$. Si la curva es irregular o con radio de curvatura pequeña la separación de espigones necesariamente debe encontrarse en forma gráfica.

El procedimiento consiste en lo siguiente:

- a) Trazar en la punta del espigón una tangente a la línea extrema de defensa.
- b) Con respecto a esa línea, y hacia aguas abajo medir el ángulo β que se haya seleccionado,

$$9^\circ < \beta < 14^\circ$$

- c) Con ese ángulo trazar una línea hacia aguas abajo hasta que intersecte la margen.
- d) En el punto de intersección con la margen trazar un nuevo espigón al que se le dará el ángulo de orientación α deseado, ($60^\circ < \alpha < 90^\circ$) y se prolongará hasta alcanzar la línea extrema de defensa. En ese punto se traza la tangente a dicha línea y con respecto a esa tangente se mide nuevamente en ángulo de expansión β , para repetir el procedimiento ya descrito.

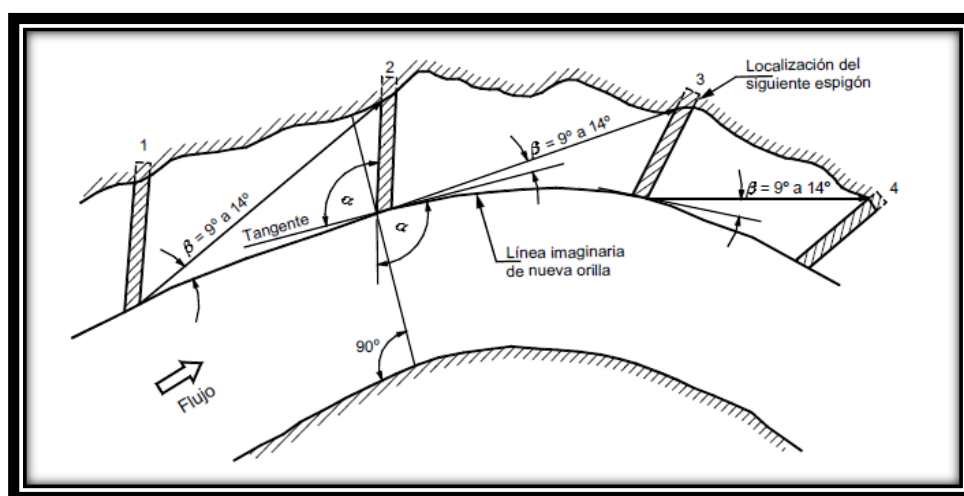


Figura 46: Método para determinar el espaciamiento entre espigones en orillas curvas.

Fuente: Suarez, 2001.

c.3) Altura de los espigones

Los espigones pueden ser sumergidos y no sumergidos. Los espigones sumergidos presentan una mayor socavación aguas abajo del espigón, la socavación en la punta es menor y se adapta mejor a las condiciones de inundaciones. Sin embargo, algunos autores recomiendan que los espigones permeables o sólidos trabajen en condiciones no sumergidas para disminuir la socavación lateral la cual puede destruir los espigones (Przedwojski 1995).

La altura de los espigones será el nivel del agua determinada en la modelación numérica más un borde libre.

c.4) Orientación de los espigones

La orientación se define como el ángulo α formado hacia aguas abajo por el eje del espigón y la tangente de la margen en el punto de arranque del espigón.

Lo espigones pueden estar dirigido hacia aguas abajo o aguas arriba, o también ser normales a la corriente.

La experiencia ha demostrado que el relleno más rápido tiene lugar en espigones con inclinación.

Se recomienda orientaciones de espigones hacia aguas arriba en ríos grandes y anchos, y hacia aguas abajo en ríos relativamente angostos.

- **Espigón a ángulo recto**

Se usan generalmente como espigones impermeables para favorecer la formación de un canal central de navegación en un río. Pueden ser normales a la orilla o a la dirección de la corriente.

- **Espigón inclinado hacia aguas abajo ($\alpha < 90^\circ$)**

Suarez Díaz cito a Przedwojski diciendo que los espigones inclinados hacia aguas abajo “atraen el flujo hacia la orilla y por lo tanto nunca deben colocarse en la parte cóncava de las orillas”

Sin embargo, Maza recomienda “En un tramo recto, en una curva regular, conviene que los espigones formen un ángulo de 70° con la dirección de la corriente. Si la curva es irregular y, a un más, si tiene un radio de curvatura menor a $2.5B$, los ángulos de orientación serán menores de 70° y pueden alcanzar valores hasta de unos 30° ”.

- **Espigón Orientado hacia aguas arriba**

Son los espigones que producen mejor efecto a la sedimentación de sólidos y a desvió de la corriente. Los ángulos recomendados están entre 100° y 120° .

El ángulo que tengan los espigones influye en su espaciamiento y en su efectividad.

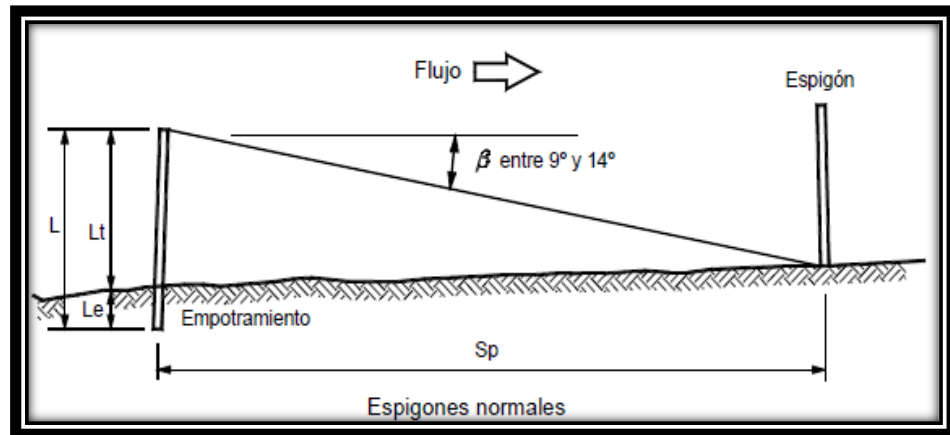


Figura 47: Espigón en ángulo recto.

Fuente: Suarez, 2001.

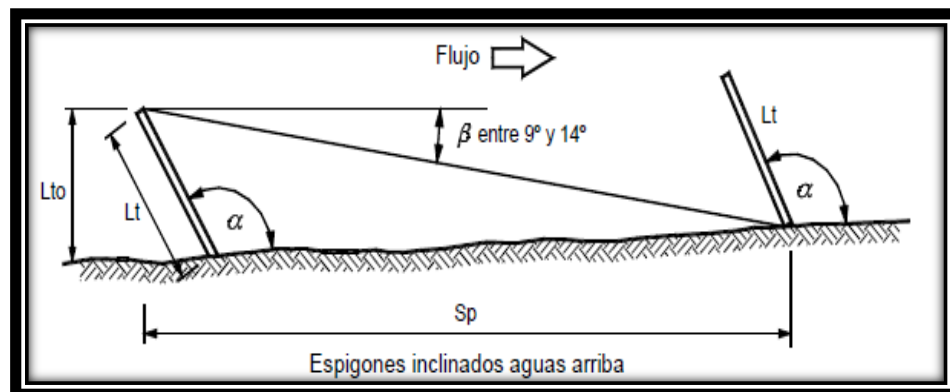


Figura 48: Espigón con inclinación aguas arriba.

Fuente: Suarez, 2001.

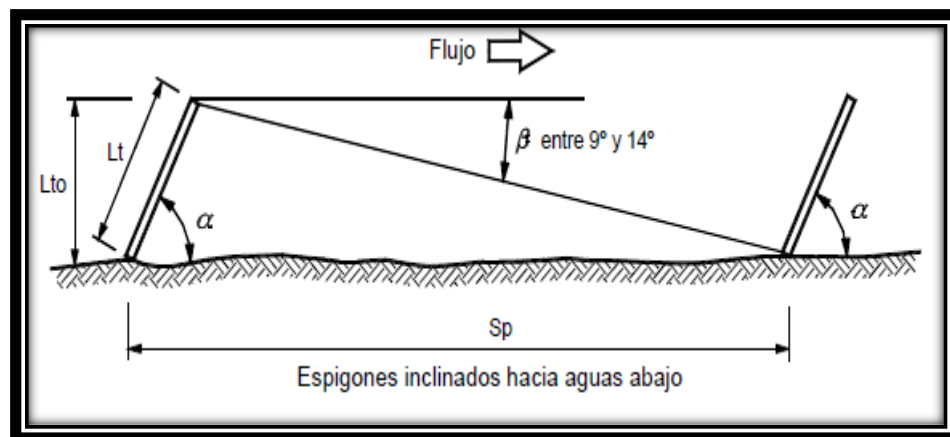


Figura 49: Espigón con inclinación aguas abajo.

Fuente: Suarez, 2001.

2.4.2. ENGINEERING LOGJAMS (ELJ)

La tecnología de ELJ se basa en la premisa de la manipulación de entornos fluviales, ya sea para problemas tradicionales en ingeniería fluvial (por ejemplo, control de inundaciones, protección de bancos) o para la restauración de hábitat, es más probable que sea sostenible si se hace de una manera que emula procesos del paisaje natural. El concepto de ELJs comenzó con la observación de que los

atascos de troncos naturales pueden formar "Hardpoints" que proporcionan refugios forestales a largo plazo (Abbe y Montgomery, 1996).

a) Tipos de Estructuras

Las estructuras ELJ se dividen en dos grandes grupos las cuales son estructuras simples que son estructuras con un solo tronco y en estructuras múltiples que son estructuras que contienen hasta ciento de troncos con o sin fajo de raíces.

a.1) Estructuras Simples

Hay 4 configuraciones de estructuras simples que son común en proyectos de rehabilitación de ríos: Fajo de raíces, deflectores de tronco, vertedero de tronco y revestimiento con árboles.

- **Fajo de raíces:** como se describió en el capítulo de protección de ríos esta estructura consta de un fajo de raíz pegado de un pedazo pequeño de tronco, el cual esta empotrado en el canal.

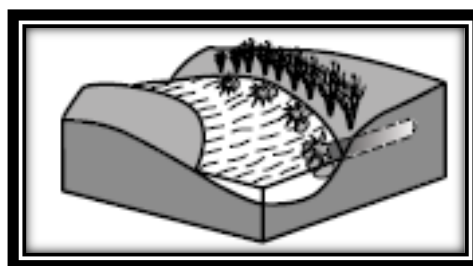


Figura 50: Fajo de raíces.

Fuente: Technical Supplement TS 14J

- **Deflectores de tronco:** es una pequeña estructura que esta empotrada al lecho sobresaliendo del banco y orientada hacia aguas arriba. También son llamadas log bendway weir.

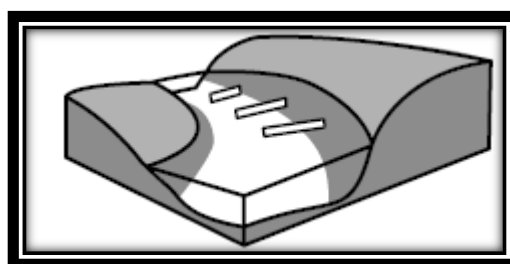


Figura 51: Deflectores de tronco.

Fuente: Technical Supplement TS 14J

- **Vertedero de tronco:** es una estructura tipo vertedero la cual se encuentran en pequeños arroyos.

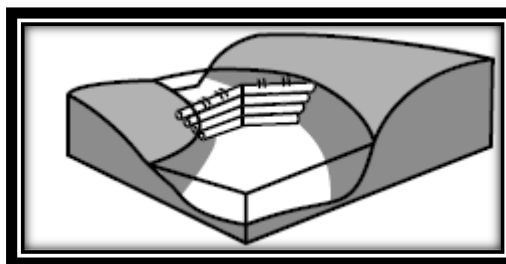


Figura 52: Vertedero de troncos.

Fuente: Technical Supplement TS 14J.

- **Revestimiento con árboles:** Árboles enteros colocados a lo largo de la orilla paralelo a la corriente. Los árboles se solapan y se anclan firmemente.

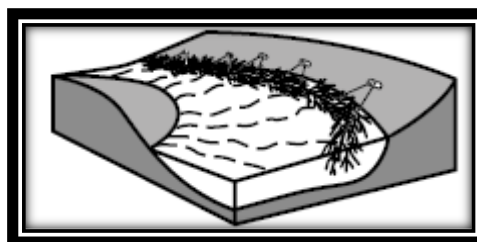


Figura 53: Revestimiento con árboles.

Fuente: Technical Supplement TS 14J.

a.2) Estructuras de Múltiples Troncos

Tenemos dos tipos de grandes estructuras de madera (múltiples troncos) los cuales son estructuras de control de gradiente y deflexión de flujo.

Las estructuras de control de gradiente son predominantemente encontradas en canales pequeños a moderados donde la longitud del tronco iguala o excede el ancho del canal. En estos sistemas, la madera puede ser un importante componente estructural en disipación de energía y captura de sedimentos.

Entre estas estructuras tenemos dos tipos: Step Jams y el Valley Jams.

El Step Jams se utiliza en ríos donde la complejidad de hábitat y el riesgo es menor.

El Valley Jams es utilizado en ríos donde la complejidad de hábitat y el riesgo es mayor.

Las estructuras de deflexión de flujo son típicamente usadas en grandes sistemas aluviales donde el ancho del canal excede a la longitud del leño. Uso es primordialmente en ríos que sufren una migración lateral. Estas estructuras de deflexiones de flujo se dividen en dos tipos: a)

Estructuras de protección de bancos y b) estructuras de desviación de flujo.

- **Estructuras de protección de bancos (control de erosión)**

En este tipo tenemos dos estructuras características los Bench Jams y Flow Deflection Jams que son utilizados en ríos donde la complejidad de hábitat y el riesgo es menor.

- **Estructuras de desviación de flujo (control de erosión, retención de detritos de madera)**

En este tipo tenemos dos estructuras características los Bar Apex Jams y Meander Jams, que son utilizados en ríos donde la complejidad de hábitat y el riesgo es mayor.

Mostramos estos tipos de estructuras en las siguientes figuras:

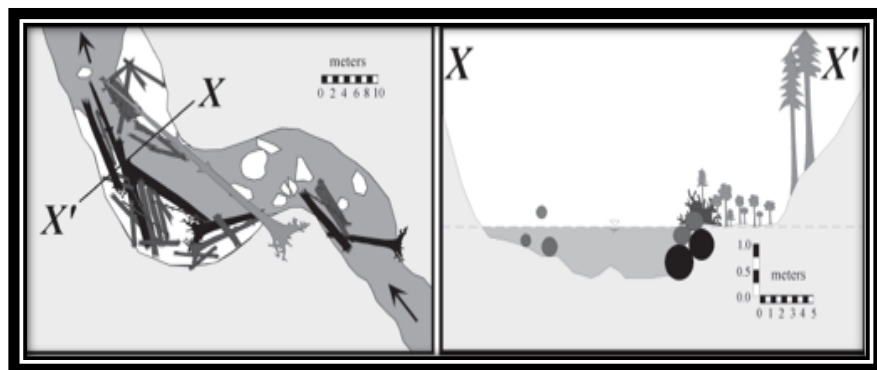


Figura 54: Los Bench Jams dentro de un río meandrónico.

Fuente: Herrera, 2006.

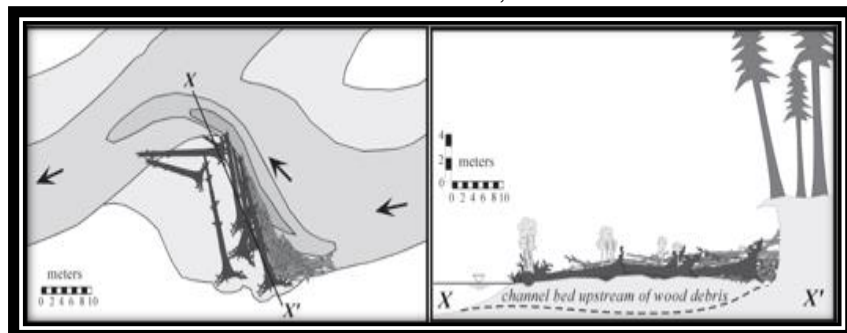


Figura 55: Los atascos de deflexión de flujo.

Fuente: Herrera, 2006.

Estos se encuentran en canales grandes con pendientes moderados.

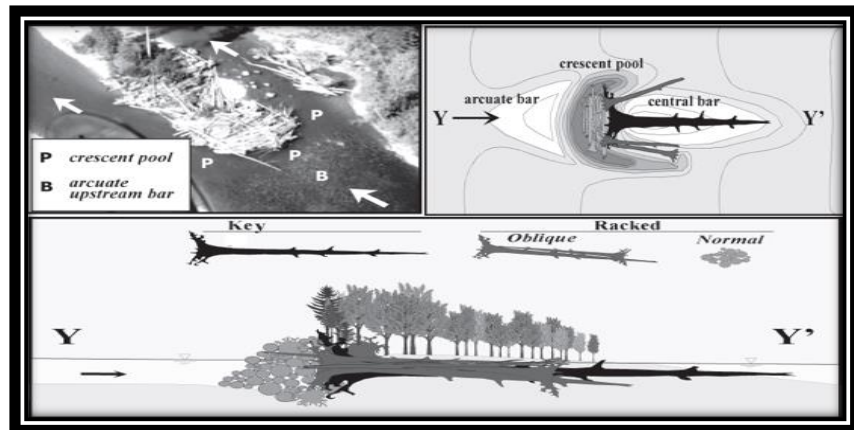


Figura 56: Atascos de Bar Apex Jams.
Fuente: Herrera, 2006.

Son estructuras bidireccionales de desvío de flujo encontradas en canales grandes con pendiente bajas a moderadas.

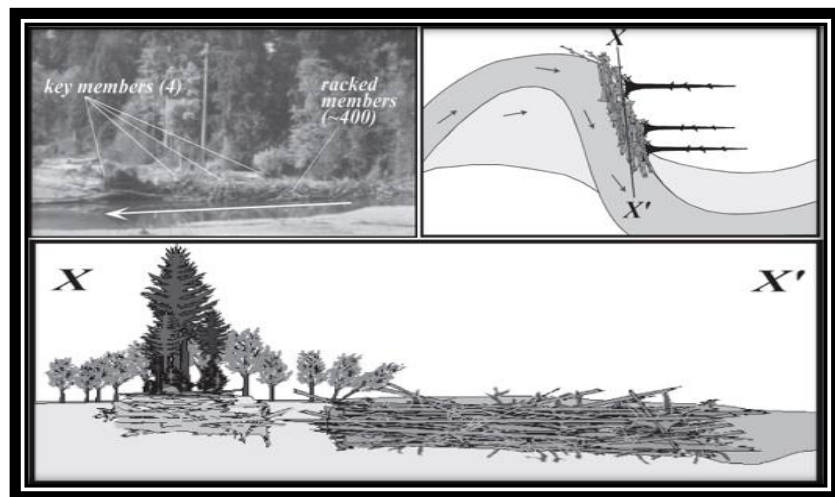


Figura 57: Desviadores de flujo.
Fuente: Herrera, 2006.

b) Componentes estructurales

Para el análisis estructural del sistema de ELJ, los conceptos se toma referencia dada por Knutson y Fealko, Douglas Shields, y del manual de guía Technical Supplement 14J “Use of large Woody material for hábitat and bank protection” y el diseño de guía “Application of engineered logjams”.

b.1) Fuerzas verticales

- **Fuerza de Flotabilidad**

Esta fuerza se debe al peso de la estructura (empuje), es la fuerza vertical que es producto del volumen del agua desplazada por la colocación de los troncos de madera. Shields, et.al, 2004, dice que es

la fuerza principal que causa que una estructura pueda moverse y volverse inestable.

Para el cálculo de esta fuerza se recomienda trabajar con el peso específico seco de la madera.

Si la fuerza sumergida es negativa, la estructura flotara.

Si la fuerza sumergida es positiva, la estructura permanece estable.

La fuerza sumergida se calcula de la siguiente manera:

$$F_{LWM_S} = V_{LWM_S} * (\gamma_{madera} - \gamma_{agua})$$

Donde:

F_{LWM_S} = Es la fuerza sumergida

V_{LWM_S} = Es el volumen sumergido de la estructura

γ_{madera} = Peso unitario de la madera

γ_{agua} = Peso unitario del agua

La fuerza no sumergida se calcula se la siguiente manera:

$$F_{LWM_D} = V_{LWM_D} * \gamma_{madera}$$

Donde:

F_{LWM_D} = Es la fuerza no sumergida (seca)

V_{LWM_D} = Es el volumen no sumergido de la estructura

- **Fuerza de Elevación**

Esto es debido a la distribución de presión alrededor de la estructura. Esta fuerza de elevación es mayor cuando la madera está en contacto con el lecho y declina hasta cero cuando el espacio entre el fondo del tronco y el lecho excede la mitad del diámetro del tronco (Alonso, 2004).

Se calcula de la siguiente manera:

$$F_L = - \frac{C_L * A_{LWM} * \gamma_{madera} * U_{up}^2}{2 * g}$$

Donde:

F_L = Es la fuerza de elevación

A_{LWM} = Es el área perpendicular al flujo

U_{up} = Velocidad aguas arriba en pleno evento de diseño

- **Fuerza debido al lastre**

O mayormente llamado fuerza debido a la roca, esta fuerza es usada para mejorar el factor de seguridad, ya que contrarrestan a la fuerza de flotabilidad.

$$F_{ROCA} = F_{ROCA_S} + F_{ROCA_D}$$

Donde:

F_{ROCA} = Fuerza total debido a la roca

F_{ROCA_S} = Fuerza debido a la roca sumergida

F_{ROCA_D} = Fuerza debido a la roca no sumergida

La fuerza debido a la roca sumergida se halla con la siguiente formula:

$$F_{ROCA_S} = N_{roca_S} * \frac{\pi}{6} * d_{roca}^3 * (\gamma_{roca} - \gamma_{agua})$$

La fuerza debido a la roca no sumergida se halla con la siguiente fórmula:

$$F_{ROCA_D} = N_{roca_D} * \frac{\pi}{6} * d_{roca}^3 * \gamma_{roca}$$

- **Fuerza debido al relleno**

Esta fuerza es debido a que los miembros que son incrustados al banco obtienen una resistencia estructural adicional. Este material extra se coloca entre capa y capa de cada tramo.

El peso seco unitario medio del suelo lo podemos obtener a partir de la siguiente tabla:

Tabla 6: Valores de peso seco unitario medio del suelo.

Tamaño del grano (mm)	Clase de Sedimento	Ángulo de fricción interna	Promedio de peso unitario seco (N/m ³)
> 2048	Bedrock	---	25919.49
256-2048	Boulder	42	22934.82
128-256	Large Cobble	42	22306.47
64-128	Small Cobble	41	21521.03
32-64	Very coarse gravel	40	20578.50
16-32	Coarse gravel	38	19793.06
8-16	Medium gravel	36	18850.53
4-8	Fine gravel	35	18065.09
2-4	Very fine gravel	33	17122.57
1-2	Very coarse sand	32	16180.05
0.5-1	Coarse sand	31	15394.61
0.25-0.5	Medium sand	30	14766.26
0.125- 0.25	Fine sand	30	14609.17
0.063-0.125	Very fine sand	30	14452.08
0.004-0.063	Silt	30	12881.20
<0.004	Clay	25	12252.85

Fuente: Knutson y Fealko, 2014

El suelo que se colocará en la estructura estará totalmente saturado, y el suelo que está por encima del espejo de agua se supone que está seco.

Para calcular la fuerza del relleno de suelo se hace con la siguiente fórmula:

$$F_{suelo} = \sum_i^n V_{suelo\ sumer_i} * \gamma'_{suelo} + V_{suelo\ seco_i} * \gamma_{suelo}$$

$$V_{suelo\ sumer_i} = L_{em_i} * d_{tronco_i} * h_{carga\ sumer_i}$$

$$V_{suelo\ seco_i} = L_{em_i} * d_{tronco_i} * h_{carga\ seco_i}$$

$$\gamma_{suelo} = 99.2 + 18.6 \log d_{50}$$

d_{50} = Es el diámetro medio de las partículas en mm.

$$\gamma'_{suelo} = \gamma_{sat} - \gamma_{agua}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(SG_{rock} + e) * \gamma_{agua}}{1 + e}$$

$$e = \frac{SG_{rock} * \gamma_{agua}}{\gamma_{suelo}} - 1$$

SG_{rock} = densidad relativa de la roca generalmente 2.65

- **Fricción de piel de pilares**

Al momento de colocar un pilar en la estructura existe una fuerza de fricción de piel entre la estructura y el pilar, en el perímetro del pilar.

Para la longitud de empotramiento del pilar tenemos que tener en cuenta la socavación total.

La fuerza de fricción de piel se determina con la siguiente formula:

$$F_{pilar-v} = N_{pilar} * \pi * d_{pilar} * L_{empi} * \left(k_s * tg \frac{2}{3} \phi * \sigma' + \frac{d_{pilar}}{4} (\gamma_{madera} - \gamma_{agua}) \right)$$

k_s = Coeficiente de presión lateral

ϕ = ángulo de fricción del suelo

$$\sigma' = L_{pilar} (\gamma_{sat} - \gamma_{agua})$$

- **Equilibrio de fuerzas verticales**

La suma de fuerzas verticales, actuando sobre las grandes estructuras de madera se encuentran restando las fuerzas impulsoras (flotabilidad, elevación) de las fuerzas de resistencia (gravedad, lastre, anclaje).

Si la suma de las fuerzas en la dirección vertical es positiva, la estructura es probable que sea estable en la descarga de diseño. El peso resultante de la estructura ejercerá una fuerza sobre el lecho y/o orillas, y la fuerza de resistencia se conoce como la fuerza normal, F_n . Si la suma de fuerzas verticales es negativa, la estructura será probable que

flote, y la fuerza normal es igual a cero. Si este es el caso, las fuerzas de anclaje adicional deben aplicarse a una estructura diseñada para asegurar que la estructura sea estable.

- **Factores de Seguridad Vertical**

El factor de seguridad se determina dividiendo las fuerzas impulsoras entre las fuerzas resistentes. En el caso que el factor de seguridad sea menor a uno se recomienda aplicar fuerza debido al lastre para aumentar la seguridad.

Tabla 7: Valores recomendados de factores de seguridad verticales.

Riesgo de Seguridad Pública	Riesgo de daño a la propiedad	Periodo de retorno	Factor de Seguridad Vertical	Factor de Seguridad Horizontal
Alto	Alto	100 años	2	1.75
Alto	Moderado	50 años	1.75	1.5
Alto	Bajo	25 años	1.75	1.5
Bajo	Alto	100 años	2	1.75
Bajo	Moderado	50 años	1.75	1.5
Bajo	Bajo	25 años	1.5	1.25

Fuente: Knutson y Fealko, 2014.

$$FS_{vertical} = \frac{F_{LWM_D} + F_{ROCA} + F_{SUELO} + F_{pilar-v}}{F_{LWM_S} + F_L}$$

b.2) Fuerzas Horizontales

- **Fuerza de arrastre**

Es la fuerza del flujo que arrastra la estructura que depende del área y la velocidad del flujo.

Para esta fuerza se debe tener en cuenta que dicha estructura atrapa escombros cómo es posible que retenga hielo, etc.

$$F_d = \frac{C_D * A_{LWM} * \gamma_{agua} * U_C^2}{2 * g}$$

C_D = Coeficiente de arrastre

U_C = Velocidad en la sección contraída

A_{LWM} = Área normal a la dirección del flujo

El coeficiente de arrastre varia de una estructura a otra, oscila entre 0.3 y 1.5 (NRCS, 2007a)

Parola 2000, dice que el coeficiente de arrastre se puede obtener a partir de las siguientes ecuaciones.

$$B = \frac{A_b}{A_b + A_c}$$

B = Relación de obstrucción

A_b = Área de la estructura

A_c = Área del canal en la sección del espigón

$$Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{g * Y_c}}$$

V_c = Velocidad en la sección contraída

Y_c = Profundidad promedio en la sección contraída

$C_d = 1.8$ Si $B < 0.36$ y $Fr_c < 0.4$

$C_d = 2.6 - 2 * Fr_c$ Si $B < 0.36$ y $0.4 < Fr_c < 0.8$

$C_d = 1.0$ Si $B < 0.36$ y $Fr_c > 0.8$

$C_d = 3.1 - 3.6 * B$ Si $0.36 < B < 0.77$ y $Fr_c < 1.0$

$C_d = 1.4 - 1.4 * B$ Si $B > 0.77$ y $Fr_c < 1.0$

Parola 2000, también nos proporciona una gráfica para poder determinar C_d .

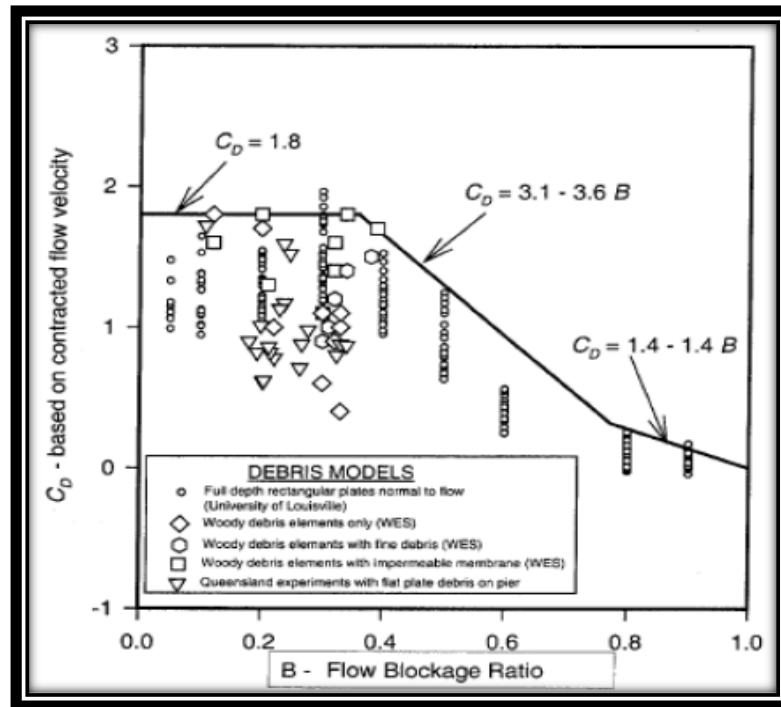


Figura 58: Variación del coeficiente de arrastre vs relación de bloqueo.
Fuente: Knutson y Fealko, 2014.

Ahora el coeficiente de arrastre aplicado será el siguiente:

$$C_{d-aplicado} = \frac{C_d}{(1 - B)^2}$$

- **Fuerzas Hidrostáticas**

Esta fuerza actúa aguas abajo y aguas arriba de una estructura, por lo general son iguales.

Fuerza hidrostática aguas arriba:

$$F_{h_{up}} = \frac{1}{2} * \gamma_{agua} * Y_{up} * A_{up}$$

Fuerza hidrostática aguas abajo:

$$F_{h_{down}} = -\frac{1}{2} * \gamma_{agua} * Y_{down} * A_{down}$$

Y_{down} = Tirante aguas debajo de la estructura

Y_{up} = Tirante aguas arriba de la estructura

A_{down} = Área aguas debajo de la estructura

A_{up} = Área aguas arriba de la estructura

- **Fuerza de Impacto**

Es con la fuerza que llega a impactar a la estructura, se supone que la velocidad que tiene los escombros al impactar a la estructura que se supone que es la misma velocidad superficial del río.

Mientras menor es el tiempo de impacto, mayor es la fuerza de impacto.

$$F_i = \frac{\pi * W_{escombros} * V_r * C_i * C_o * C_D * C_b * R_{max}}{2 * g * \Delta t}$$

$W_{escombros}$ = Peso de escombros

V_r = Velocidad en el río

C_i = Coeficiente de importancia

C_o = Coeficiente de orientación = 0.8

C_D = Coeficiente de profundidad

C_b = Coeficiente de bloqueo

R_{max} = Respuesta para cargas impulsoras = 0.8

Δt = tiempo de impacto

Para los valores de coeficiente de importancia basado en el riesgo.

Tabla 8: Coeficiente de importancia basado en el riesgo.

Riesgo de Seguridad Publica	Clasificación de riesgo de daño a la propiedad	Coeficiente de Importancia
Alto	Alto	1.0
Alto	Medio	0.9
Alto	Bajo	0.8
Bajo	Alto	0.7
Bajo	Medio	0.6
Bajo	Bajo	0.5

Fuente: Knutson y Fealko.

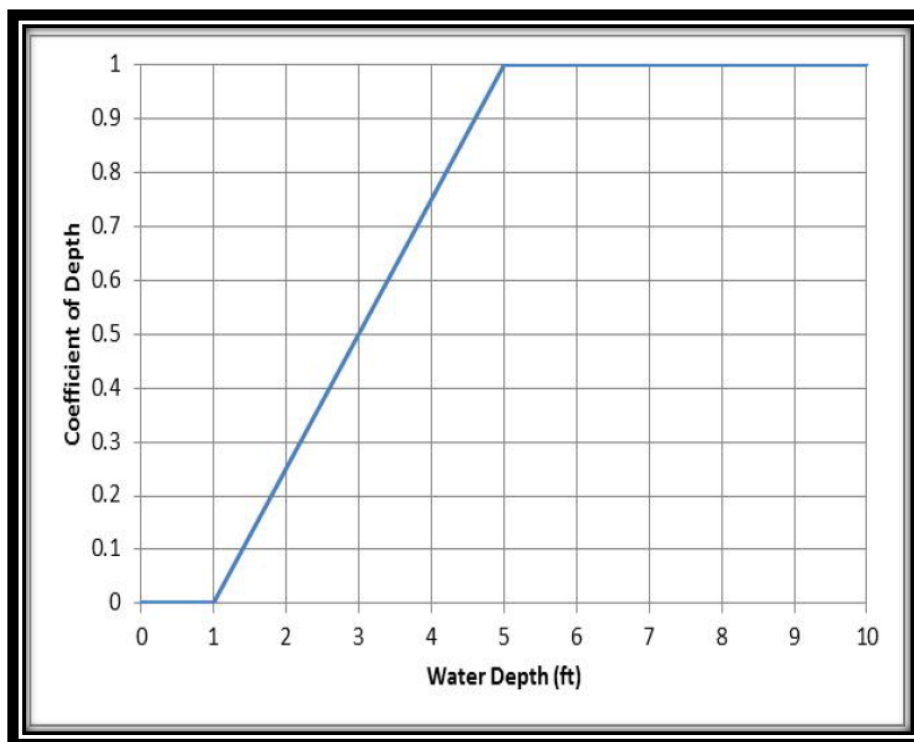


Figura 59: Coeficiente de profundidad debido a la profundidad del canal.
 Fuente: Knutson y Fealko, 2014

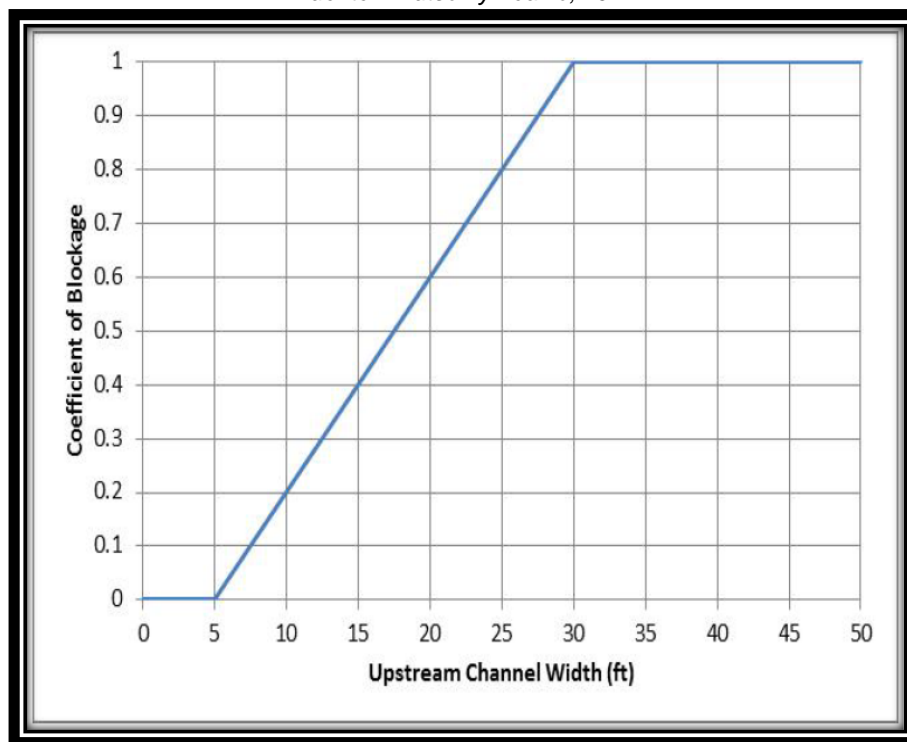


Figura 60: Coeficiente de bloqueo.
 Fuente: Knutson y Fealko, 2014

Investigaciones recientes indican que el tiempo de impacto es de 0.01 a 0.05 s. (FEMA 2009). De acuerdo al ASCE 7 – 05 “Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras” (2006), usar $\Delta t = 0.03$ seg.

- **Fuerza de Fricción**

Es la resistencia al movimiento que se da entre la estructura y el lecho. Es la resultante de la fuerza vertical (sin pilares) multiplicada por el coeficiente de fricción (μ_{bed}).

Si la fuerza vertical es negativa, lo que significa que la estructura es flotante, no hay fuerza de fricción ($F_f = 0$). El coeficiente de fricción es la tangente del ángulo de fricción interno para los sedimentos del lecho.

$$F_f = -\mu_{bed} * (F_b - F_{pilar-v})$$

$$\mu_{bed} = tg\phi$$

- **Fuerza Pasiva**

Esta fuerza actúa contra la fuerza de arrastre. Las fuerzas de resistencia debido a la presión pasiva del suelo actúan sobre partes enterradas del tronco son reacciones directas a las fuerzas del fluido. El análisis adjunto de la fuerza de presión del suelo tiene los siguientes supuestos.

- El bando (orilla) se compone de suelo homogéneo, isotrópico.
- La elevación del nivel freático en el bando es aproximadamente igual a la elevación de la superficie del río.
- La fricción entre el suelo y el tronco es ignorada
- El diámetro del fajo de raíz se estima conservadoramente igual al diámetro del tronco.
- Los suelos son conservadoramente asumidos para ser granular y por lo tanto su cohesión es igual a cero ($c=0$ para suelos cohesivos saturados) NRCS, 2007.

$$F_{pasiva} = -0.5 * K_p * \sum_i^n \sigma_{v_i} * L_{em_i} * d_{tronco_i}$$

$$K_p = \frac{1 + \text{sen}\phi}{1 - \text{sen}\phi}$$

$$\sigma_{v_i} = (D - D_w) * (\gamma_{sat} - \gamma_{agua}) + D_w * \gamma_{suelo}$$

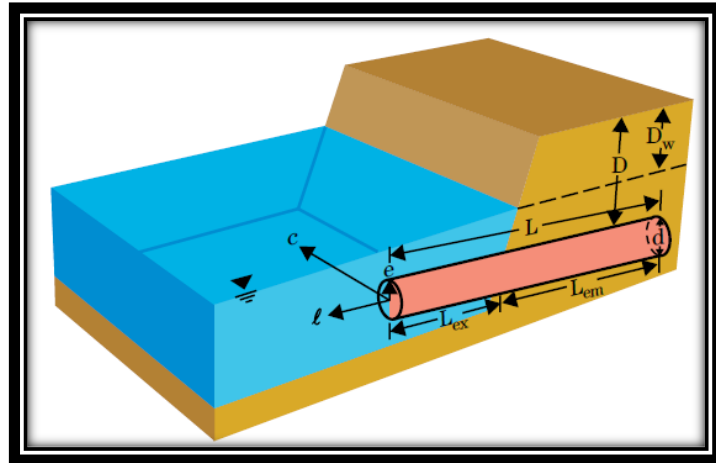


Figura 61: Diagrama para un tronco empotrado.
Fuente: Abbe, 2007

Donde:

$D - D_w$ = Profundidad del suelo sumergido sobre el tronco i

D_w = Profundidad del suelo seco sobre el tronco i

L_{em_i} = Longitud de empotramiento del tronco i

d_{tronco_i} = diámetro del tronco i

- **Resistencia Lateral por Pilares**

Los pilares son un componente opcional para los ELJs, estos pueden aumentar considerablemente el factor de seguridad.

$$F_{pilar-h} = -N_{pilar} * \frac{L_{pilar}^3 * 0.5 * \gamma_e * d_{pilar} * K_p}{h_{load} + L_{pilar}}$$

$$\gamma_e = \gamma_{suelo} - \gamma_{agua}$$

N_{pilar} = Numero de pilares

h_{load} = carga encima de la profundidad de socavación total.

γ_e = Peso unitario efectivo del suelo

- **Factores de seguridad Horizontal**

Para obtener el factor de seguridad se tiene que dividir las fuerzas resistentes entre las fuerzas desestabilizadoras.

$$FS_{horizontal} = \frac{F_{h_{down}} + F_f + F_{pilar-h} + F_{pasiva}}{F_d + F_{h_{up}} + F_i}$$

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está ubicada en el departamento de Madre de Dios en las siguientes coordenadas:

TABLA 9: Coordenadas geográficas de la ciudad de Puerto Maldonado.

Zona	19 L
ESTE	477458.21 m
NORTE	8609249.08 m

Fuente: Elaboración Propia.

La ciudad de Puerto Maldonado se encuentra circundada por el cuello del meandro, y debido al aumento demográfico y los problemas de migración lateral erosiva con el paso de los años en la margen derecha, que han visto afectado la carretera interoceánica.

Las coordenadas geográficas de la ciudad de Puerto Maldonado son: Longitud 69°10'04'' W, latitud 12°30'34'' S y altitud 210.000 m.s.n.m.



Figura 62: Ubicación del proyecto.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 63: Zona de estudio entre el punto A y punto B.

Fuente: Elaboración Propia.

El meandro en estudio presenta una longitud de 1.543 km, tirantes que varían en un promedio de 10 m en épocas de sequía a 22 m en avenidas máximas, un espejo de agua en estiaje que varía de 200 m a 290 m y que llega hasta 430 en máximas (Odebrecht SAC, 2012).

3.2. MODELO FÍSICO Y DESCRIPCIÓN DE INSTALACIONES

3.2.1. UBICACIÓN DEL MODELO FÍSICO

El modelo físico se ubica en el área de modelamiento físico del Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH) de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El modelo físico representa un tramo curvo de un meandro del Rio Madre de Dios de la zona “La Pastora” a una escala de 1/60, que tiene una longitud de lecho de 25.72 m de longitud.



Figura 64: Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH).
Fuente: Elaboración Propia.

Para la realización del modelo físico se utilizara las siguientes relaciones de escala.

Tabla 10: Relaciones de Escala Modelo – Prototipo.

MAGNITUD	SÍMBOLO	VALOR NUMÉRICO
Longitud	$L_p/L_m = L^{1.0}$	60
Velocidad	$V_p/V_m = L^{0.5}$	7.746
Tiempo	$T_p/T_m = L^{0.5}$	7.746
Caudales	$Q_p/Q_m = L^{5/2}$	27885.48
Rugosidad	$n_p/n_m = L^{1/6}$	1.979
Transporte de sedimentos	$T_{sp}/T_{sm} = L_x L_y L_z$	7.746
Descarga unitaria de sedimentos	$q_{sp}/q_{sm} = L_z L_x L_y / (T_{sp}/T_{sm})$	464.76

Fuente: Estudio De Línea de Base – FINCyT.

Dónde:

- L_p, L_m : Longitudes en prototipo y modelo respectivamente
- V_p, V_m : Velocidades en prototipo y modelo
- T_p, T_m : Tiempos en prototipo y modelo
- Q_p, Q_m : Caudales en prototipo y modelo
- n_p/n_m : Rugosidades en prototipo y modelo
- T_{sp}/T_{sm} : Tasas de transporte de sedimentos en prototipo y en modelo.
- L_x, L_y, L_z : Relaciones de escala en la dirección X, en la dirección Y, y relación de pesos específicos (prototipo a modelo).

3.2.2. REPLANTEO DEL LECHO MÓVIL

Antes de iniciar un ensayo es necesario que se replante el lecho, esto se hacía gracias a los datos de batimetría que nos otorgó ODEBRECHT, los pasos que se realizó fueron los siguientes:

Paso 1: Humedecer el lecho cada 6 horas o dependiendo del avance de cada sección.

Paso 2: Se colocó el nivel de ingeniero y se niveló.

Paso 3: Se lecturo el BM más próximo a la zona de trabajo, para luego introducirlo a una hoja de Excel.

Tabla 11: Cotas de los BM en el modelo físico.

Punto	Cota Prototipo (m)
BM1	156.891301
BM2	152.653101
BM3	211.859438
BM4	207.612472
BM5	203.351358
BM6	151.511358

Fuente: Elaboración Propia.

Paso 4: Ahora nos ubicamos en la sección de trabajo, en la cual se colocaba una regla de aluminio que va de margen a margen.

Paso 5: Nos ubicábamos en la distancia que nos decía los datos de batimetría y comenzamos a perforar los tarugos a la cota indicada por dichos datos.

La ecuación que se aplicó para el replanteo es la siguiente:

$$\text{Cot. pto}_p = \text{Cot. BM}_p + (\text{Lect. BM} - \text{Lect. pto}) 0.60$$

Donde:

Lect. BM : Lectura sobre el punto BM_p (cm)

Lect. pto : Lectura sobre el punto pto_p (cm)

Cot. BM_p : Cota del BM en prototipo (m)

Cot. pto_p : Cota del punto en prototipo (m)

Cada sección en prototipo se ubica a 60 m en los tramos rectos y a 30 m en el tramo curvo siguiendo el eje.



Figura 65: Colocación de tarugos a una determinada cota.
Fuente: Elaboración Propia.

Las partículas que componen el lecho del cauce principal de los ríos de llanura amazónica adoptan la forma de rizos, dunas y dunas – rizos. En el río Madre de Dios, se observa en la distribución granulométrica un gran porcentaje de partículas menores de 0.5 mm (ver figura 66) y debido al tamaño de los granos se forman fuerzas convectivas (microrugosidad). Para mayor detalle ver Anexo 3.

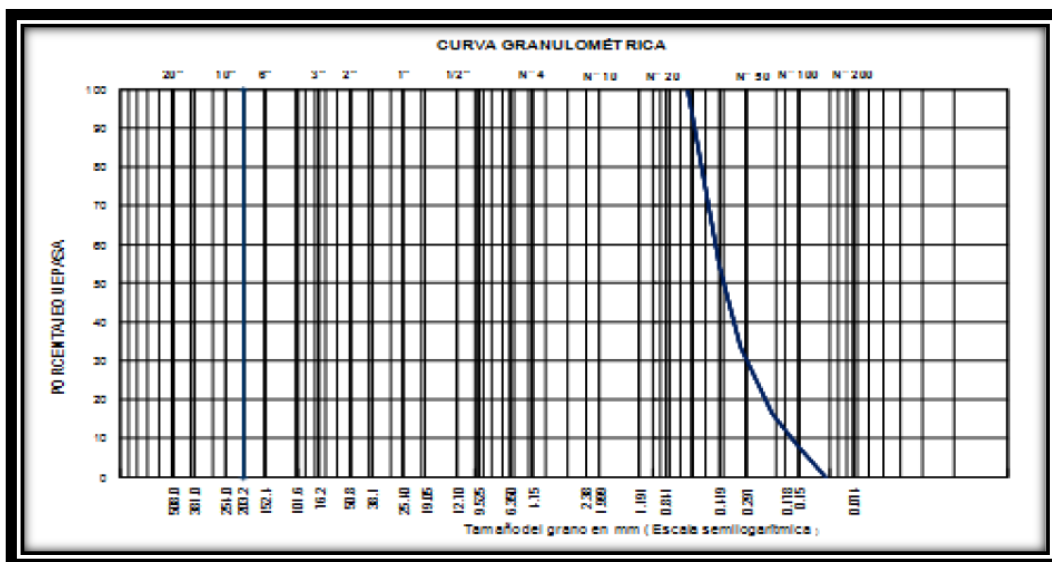


Figura 66: Curva granulométrica de una muestra del lecho del río Madre de Dios, Sector La Pastora.
Fuente: PRZ Ingenieros, 2011.

3.2.3. ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE ELJS

El diseño necesitó adaptarse en base a la forma y disposición de troncos disponibles en la zona de estudio; por lo cual, se optó los siguientes criterios de diseño:

a) Elección del tipo de madera:

La elección fue de acuerdo al tipo de madera más abundante en las zonas aledañas al punto de estudio por cuestión de costos. También, las propiedades físicas y mecánicas se tuvieron en cuenta; ya que mientras más densa sea una madera mayor será su dureza y menor la capacidad de absorción de agua que podría alterar su densidad. Esto es crítico a la hora de hacer un balance de fuerzas, porque la madera es más resistente a los agentes biológicos y menor flotabilidad. Teniendo en cuenta lo mencionado, para el diseño se optó por escoger la madera de nombre común “Capirona”, cuyo nombre científico es *Calycophyllum spruceanum* Benth. Este tipo de árbol crece en el Amazonas, San Martín, Huánuco, Loreto, Madre de Dios y Ucayali. Su densidad básica es de 0.76 gr/cm³, lo cual la hace una madera relativamente pesada. La altura de este árbol oscila entre 15 a 35 m y de 0.6 m de diámetro.

Es importante mencionar que la madera bajo el nivel de agua en ríos puede durar por mucho tiempo (hasta casi 100 años), dependiendo de las especies de árboles y condiciones de preservación; pero la madera situada por encima de la superficie de agua estará sujeta a descomposición biológica y la ruptura física asociada con humectación, secado y abrasión por transporte de sedimentos (Abbe y Brooks, 2010).

b) Disposición del entramado:

En el entramado se colocaron troncos con fajos de raíces apuntando hacia aguas arriba, con el fin de aprovechar la captura de sedimentos y detritos. El entramado constó de tres tipos de troncos denominados: troncos principales orientados perpendicularmente al flujo (key members), troncos secundarios orientados en dirección del flujo (racked members) y pilotes; pero sólo a los árboles que sirven de pilotes se les despojó de sus raíces. Las dimensiones del tipo de árbol seleccionado para el diseño pueden ser representado por esta geometría: diámetro de la troza, diámetro promedio del fajo de raíz, longitud promedio del fajo de raíz y altura de la troza. Con estas dimensiones pudimos

generar una disposición del entramado adecuado y así poder calcular la permeabilidad.

b.1) Geometría del Espigón

Los espigones tuvieron una forma cubica para fomentar la estabilidad y así poder evitar su vuelco debido a los momentos que producen la fuerza de arrastre y las presiones hidrostáticas.

El espigón contó con una altura H_{sum} (altura de sumergimiento) para un caudal con un periodo de retorno de 100 años, más un borde libre de aproximadamente 2 m. La profundidad y ancho del espigón tendió a aproximarse a la longitud H_{sum} por efectos de trabajo, creación de habitas y estabilidad. La longitud del espigón fue la suma de su longitud de trabajo y la longitud de empotramiento, la primera estructura dependió del alineamiento que se da al trazo en planta del lecho; y la segunda fue un porcentaje de la longitud de trabajo, en este caso es de alrededor del 10-15 % y la inclinación del talud donde se trabajó. La estructura fue de tipo escalonado en el extremo anclado a la orilla, esto se debió a la inclinación del talud. Por último, se sumergió en el lecho una profundidad aproximada de 5 cm para cubrir los efectos de socavación de los espigones.

Los espigones ELJ empleados en el modelo constaron de capas de troncos principales y secundarios que fueron ubicados alternadamente. Cada capa de troncos principales constaron de 3 y 4 unidades, y las capas secundarias variaron ascendentemente en función al talud. El ensamble de los troncos fue tal como se detalla a continuación: Primero se tuvo una capa de 4 troncos principales, sobre esta capa se ubicaron los troncos secundarios con una cantidad necesaria hasta que llegó completamente al talud, después de esto se colocó otra capa de troncos principales de 3 unidades, luego fue otra capa de elementos secundarios, se continuó otra vez con 4 elementos principales y así sucesivamente se repite el proceso hasta alcanzar la altura de diseño. En dos capas continuas no pueden ir la misma ubicación y cantidad de troncos, esto se tuvo que variar continua y alternadamente. Con respecto a las medidas, las varillas de madera tuvieron un diametro de 1 cm, los discos de madera que simularon las raices fueron de un diametro de 2.5 cm y un espesor de 1.25 cm. Las

medidas de los espigones variaron, llegando los mas grandes a medir hasta 1m de longitud, 45 cm de alto y 33 cm de ancho.

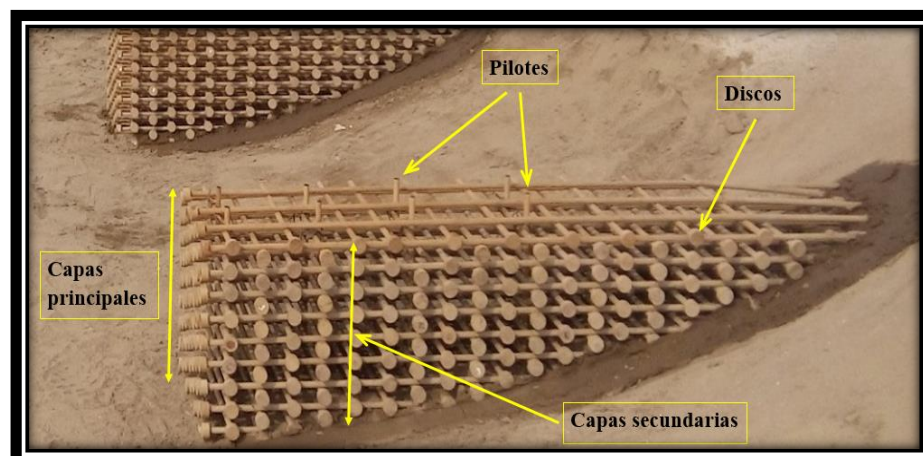


Figura 67: Vista de la permeabilidad y empotramiento de los espigones.
Fuente: Elaboración Propia.

La permeabilidad fue considerada como un porcentaje de área libre con respecto al área perpendicular al flujo y fue sujeta a la disposición del entramado. Con el fin de disponer de permeabilidades que disminuyan conforme se acercaran al talud, se dispuso de hasta tres tramos diferentes con distintas permeabilidades en un espigón. Esto fue con el propósito de disminuir la erosión en la punta del espigón y evitar en la zona cercana al anclaje la producción de un flujo acelerado que pudiera erosionarlo de forma lateral. Esto fue tomado como ejemplo de una investigación realizada en China en el 2013 titulada: *The Design and Application of Permeable Groynes* (Yongtao Cao, Peiqing Liu, Enhui Jiang).

b.2) Trazo en Planta de los Espigones, Orientación y Espaciamiento

A partir de investigaciones desarrolladas por Brown demostró que la permeabilidad adecuada para espigones fue de alrededor del 35%; por lo que se asumió esta permeabilidad y un ángulo inicial de desviación de flujo de 17° grados que nos dio de forma conservadora espaciamientos pequeños. Mientras mayor es el ángulo de desviación de flujo, las estructuras tenderán a acercarse mucho más; sin embargo, un ángulo de desviación de flujo mucho menor, espaciaría en una mayor distancia a los espigones. En este último podría introducirse flujo dentro de la zona de campos de espigones que favorece la erosión, haciendo que estos no funcionen adecuadamente. No obstante, la forma del río presencia de estructuras como puentes y puntos rígidos, que funcionan como

desviadores de flujo, condiciona la ubicación en planta de los espigones. Es así que pudimos disponer y cambiar los ángulos de desviación de flujo para poder espaciar los espigones adecuadamente en la extensión de trabajo. Por eso se consideró los criterios de diferentes investigadores en cuanto a espaciamento de espigones como respaldo a los espaciamentos asignados.



Figura 68: Colocación de los espigones ELJ en el lado cóncavo del canal experimental.
Fuente: Elaboración Propia.

c) Estructuras Auxiliares

Las estructuras auxiliares nos permitieron manipular y controlar las condiciones de entrada y salida del modelo, y así lograr que los fenómenos hidrodinámicos sean lo más similar posible a los desarrollados en prototipo.

c.1) Sistema de bombeo

La alimentación de agua se realizó desde una cisterna de 80 m^3 , ubicada debajo del edificio de didáctica, hacia un reservorio elevado mediante un sistema de bombeo. El abastecimiento de agua del modelo fue impulsado a través las bombas 1 y 2 hacia un reservorio elevado rectangular de 5 m^3 de capacidad; cuyo espejo de agua del reservorio está a 5 m del nivel del suelo. Las bombas 3, 4 y 5 impulsaron el agua directamente desde la cisterna hacia los tanques vertedores de metal ubicados al inicio del modelo físico. Todas las electrobombas en teoría deberían impulsar un caudal total aproximado de 740 l/s , pero esto no sucedió debido a las deficiencias por desgates, averías entre otros que estas han sufrido con el paso del tiempo. Sin embargo, las electrobombas llegaron a cubrir

suficientemente el flujo requerido de 514.28 l/s para simular las avenidas máximas, que fluyen a lo largo del meandro de estudio del río Madre de Dios.

El LNH dispone de cuatro electrobombas con las siguientes características:

- ✓ Bomba 1:
 - Serie: L386284
 - Altura: 9 m
 - Caudal: 200 l/s
 - Potencia: 50 HP
- ✓ Bomba 2:
 - Serie: L386285
 - Altura: 9 m
 - Caudal: 200 l/s
 - Potencia: 50 HP
- ✓ Bomba 3:
 - Serie: 122764M
 - Altura: 10 m
 - Caudal: 200 l/s
 - Potencia: 50 HP
- ✓ Bomba 4:
 - Serie: 122831M
 - Altura: 10 m
 - Caudal: 80 l/s
 - Potencia: 20 HP
- ✓ Bomba 5:
 - Serie: 117013M
 - Caudal: 60 l/s

c.2) Pozas como apoyo para la carga de agua

El modelo necesitó de gran cantidad de agua para lograr su equilibrio en la recirculación, y así se evitó alteraciones del caudal en el modelo a causa de lo siguiente: Al iniciar el bombeo parte del agua se mantuvo en el reservorio elevado, tuberías, tanques vertedores de metal, poza de disipación y transición, pozas de decantación, canal de retorno, y sobre todo en la saturación total del lecho arenoso del canal experimental curvo. Por otro lado, se tuvo las pérdidas de agua a lo largo de la recirculación (detectables), en las uniones de la base de concreto con muros cubiertos por lecho arenoso (no detectables) entre otros. Por tal motivo, el volumen de agua de 80 m³ que posee la cisterna subterránea no fue suficiente frente a estos inconvenientes, así que se tuvo la necesidad de usar la carga de agua de las dos pozas siguientes:

c.3) Poza calibradora de correntómetros

La poza ocupa todo un edificio ubicado en la parte norte-oeste del modelo, cuya función es específicamente para otros tipos de ensayos. Las

dimensiones de esta poza son de 3 m de ancho, 5 de profundidad y 60 m de largo; por consiguiente, su nivel de agua aporta bastante a mantener el equilibrio estable del nivel de agua, requerido por el sistema de bombeo, en la cisterna. La poza se conecta a la recirculación a través de un canal de 0.5 m x 0.5 m.

c.4) Poza de suministro a instrumentos didácticos

El volumen de agua de esta poza es usado para el suministro de instrumentos de laboratorio con fines didácticos, pero en este caso se emplea su volumen para ayudar a mantener el nivel de agua estable de la cisterna de bombeo. Esta poza está ubicada por debajo del edificio de didáctica de la misma manera que la cisterna, pero al extremo opuesto dentro del edificio. Las medidas de la poza son 2.5 m de ancho, 4 de profundidad y 19 m de largo. El agua de la poza se bombea a un reservorio elevado ubicado dentro del edificio y esta envía el agua hacia la cisterna donde operan las 5 electrobombas ya descritas.

Nota: Además de estas dos pozas, antes de iniciar los ensayos se abren todos los grifos de agua presentes en el canal de retorno y pozas.

c.5) Tuberías de conducción, tanques vertedores y pozas de disipación y transición

El reservorio elevado ubicado en el exterior del edificio de didáctica alimentó de agua a los tanques vertedores mediante una tubería metálica de color azul de 356 mm (14") de diámetro. La bomba 3 impulsó el agua directamente desde la cisterna por medio de una tubería de PVC de 356 mm (14") de diámetro; del mismo modo, las bombas 4 y 5 alimentaron los tanques por medio de una tubería metálica de color azul y de PVC de 153 mm (6") de diámetro cada una respectivamente. Los flujos de cada tubería se manipularon y controlaron mediante válvulas de compuerta (Figura 69). El flujo turbulento acarreado por las tuberías llega por la parte posterior de los tanques vertedores metálicos, luego la turbulencia fue disipada por mallas metálicas antes de ser vertidos a la poza de disipación.



Figura 69: Vista trasera de los tanques metálicos, vertederos abastecedores del canal experimental.

Fuente: Elaboración Propia.

Los limnímetros se colocaron cerca del vertedor rectangular de cada tanque para cuantificar el caudal de diseño; cuya cantidad se obtuvo mediante la manipulación de las válvulas compuerta colocadas en las tuberías, y válvulas globo colocadas debajo de los vertederos. Las medidas de los vertedores rectangulares fueron de 1 m x 0.5 m y 1.2 m x 0.5 m (ver figura 69); luego, se ubicó la poza de disipación que conectó a la poza de transición por medio de filtros colocados en la parte inferior del muro. La poza de transición vertió el agua de manera lenta y uniforme a la entrada del lecho del modelo. Cabe mencionar que la poza de disipación y transición fueron de las mismas dimensiones; cuyas medidas fueron de 0.92 m de ancho, 8 m de largo, y 2 m de profundidad con respecto al inicio del nivel del lecho arenoso.

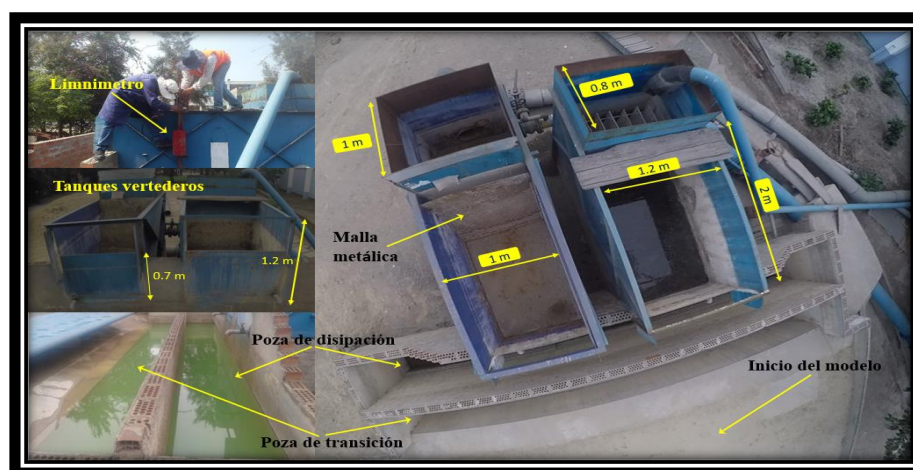


Figura 70: Vista aérea de los tanques, poza de calibración y limnómetro.

Fuente: Elaboración Propia.

c.6) Fin del modelo y canal de retorno.

Al final del lecho arenoso del modelo se fijaron ladrillos, empleando sus lados como bases, de manera alternada; con el fin de que los calados no disminuyesen debido a la caída del flujo hacia la primera poza de decantación (ver figura 70).

Las dos pozas de decantación, localizadas en serie después del modelo, permitieron retener los granos gruesos de sedimentos. Además, en el muro que separa las dos pozas decantadoras fue colocada una malla de acero galvanizado para retener todo el material leñoso (clavijas) arrojado. Después de la segunda poza decantadora se presencia un canal abierto de 1 m x 1 m y que luego de unirse al canal de 0.5 m x 0.5 m que conecta a la poza de calibración, esta pasa a ser un canal cerrado de 1 m x 1 m. Finalmente, el canal cerrado o de retorno conduce el agua de regreso a la cisterna que alimenta de agua al sistema de bombeo. Todo lo anteriormente descrito se puede observar y comprender en la imagen que se muestra a continuación.

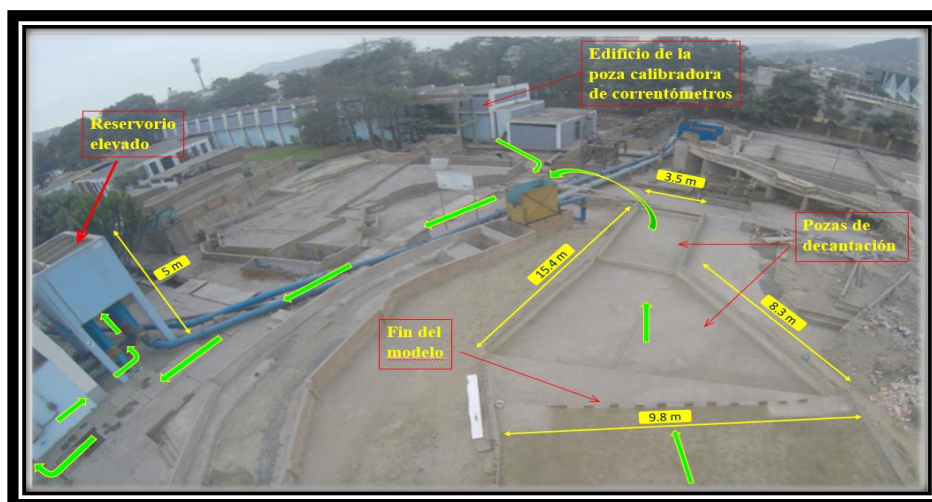


Figura 71: Parte final del modelo. Las flechas verdes indican la recirculación del flujo.
Fuente: Elaboración Propia.

3.3.EQUIPOS Y MATERIALES

3.3.1. EQUIPOS DE CAMPO

- Sonda Vectrino – Nortek AS., y su principio operativo respectivamente.

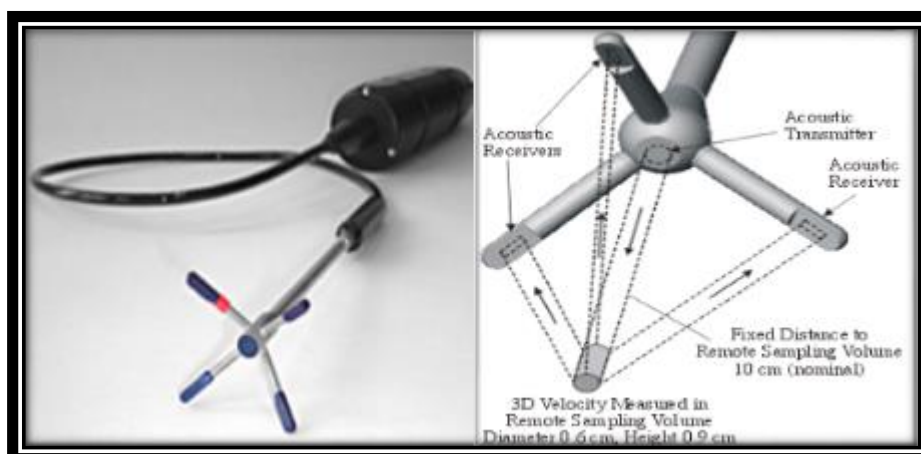


Figura 72: Vectrino Nortek.
Fuente: Elaboración Propia.

- Laptop conectada al Vectrino mediante un cable azul de 30 metros.



Figura 73: Laptop conectada al Vectrino.
Fuente: Elaboración Propia.

- Dron junto a una cámara filmadora Gopro Hero 4.



Figura 74: Cámara Gopro Hero 4.
Fuente: Elaboración Propia.

- Limnímetros y tanques vertedores rectangulares
- Scanner 3D



Figura 75: Equipo Scanner 3D.
Fuente: Elaboración Propia.

- **Nivel de ingeniero :** Se usaron dos niveles durante el trabajo.

Tabla 12: Especificaciones técnicas de ambos niveles topográficos para el replanteo del lecho móvil.

Especificaciones	PENTAX MODELO AFL - 321	LEICA MODELO NA- 820
Aumentos	32x	24x
Factor de multiplicación	100	100
Precisión de la reflexión	0.8 mm	0.8 mm
Desviación estándar	0.4 mm	0.4 mm

Fuente: Elaboración Propia.

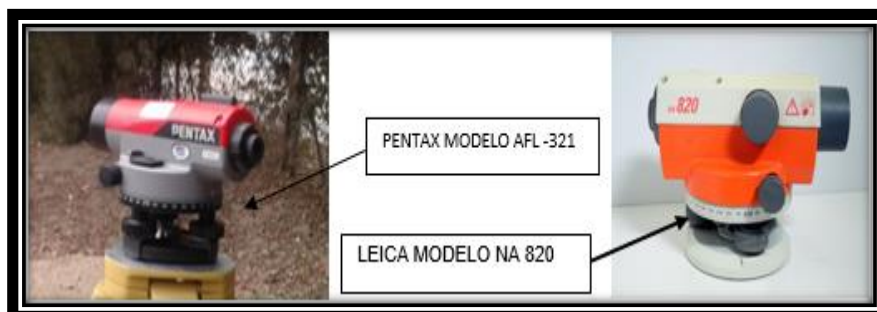


Figura 76: Equipos Topográficos.
Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2. EQUIPOS DE GABINETE

- Impresora multifuncional EPSON L220
- Laptop Lenovo ThinkPad CORE i7.

3.3.3. MATERIALES

- Herramientas manuales usadas en campo: Nivel de mano, carretillas, winchas metálicas y de tela con diferentes longitudes, plomada, martillo, badilejo, pinturas, etc.
- Trípodes y miras rígidas de 3 m con sus respectivos niveles ojos de pollo.

- Regla graduada de aluminio junto a un carro deslizante: Se emplearon para la regla de 12 m, 2 perfiles de aluminio 2" x 3" y 6 m de longitud cada una; para unir los 2 perfiles, madera tornillo de 2"x3" y 1.2 m de longitud; y una cinta métrica de 20 m de longitud. El carro deslizante tiene dimensiones de 20x10x14 cm y lleva consigo una varilla de aluminio de ½" de diámetro y 1.4 m de longitud perpendicular a la regla.



Figura 77: Regla para colocación de tarugos.
Fuente: Elaboración Propia.

- Tarugos: Son estaquillas de madera habilitadas en el taller de carpintería, son de dimensiones de ½" de diámetro con un rango de longitud de 5 a 12 cm. Los tarugos son pintadas de acuerdo a la tabla de cotas y colores.
- Software Autocad Civil 3D 2014, ArcGIS 10.3, M. Excel 2010, M. Word 2010, M Power Point 2010.
- Herramientas y máquinas de los talleres de carpintería y mecánica.
- Materiales de escritorio: Papel bond blanco, calculadora científica, libreta de apuntes, etc.

3.4.MIGRACIÓN LATERAL DEL RÍO MADRE DE DIOS

En este capítulo se estudiará la migración lateral del río Madre de Dios con ayuda de las imágenes satelitales provenientes de la constelación de satélites Landsat descargadas del portal web EarthExplorer de la USGS que comprendan el área analizada. De las imágenes satelitales descargadas una de ellas pertenece al año 2000 (Landsat 7) y otra al año 2015 (Landsat 8) el objetivo de su uso es determinar la erosión lateral en la zona de estudio "La Pastora" que comprende al tramo urbano, Km 480+070 – Km 480+910, de la carretera interoceánica.

3.4.1. IMÁGENES SATELITALES

Se utilizaron imágenes satelitales Landsat de los años 2000 y 2015 para poder conocer las áreas erosionadas, analizando como se ha desplazado la margen entre

estos años. Las imágenes se descargaron de la web EarthExplorer y tienen una resolución espacial de 30x30m por pixel. La del año 2000 pertenece al satélite Landsat 7 y la del 2015 pertenece al satélite Landsat 8.

El estudio se realizó con la banda 3, banda 4 y banda 5 correspondiente a las imágenes satelitales Landsat 7 y las bandas que trabajamos para el Landsat 8 son la banda 4, banda 5 y banda 6.

3.4.2. COMPOSICIÓN DE BANDAS

Las imágenes Landsat están compuestas por ocho diferentes bandas, cada una representa una porción diferente de espectro electromagnético, para trabajar con la combinación de bandas Landsat, primero es necesario comprender las especificaciones de cada banda según RS/GIS Quick Start Guides (2008):

- Banda 1 (Azul, B, 0.45 – 0.515 μm , 30 m): es muy útil para mapear cuerpos de agua, diferenciación entre suelo y vegetación, diferenciación entre la vegetación conífera y decidua, su desventaja es la susceptibilidad a la dispersión atmosférica, es la banda “más ruidosa”.
- Banda 2 (Verde, G, 0.525 – 0.605 μm , 30 m): diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, diferenciar tipos de rocas y medir la calidad de agua.
- Banda 3 (Roja, R, 0.63 – 0.69 μm , 30 m): permite determinar la absorción de clorofila, por ello muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal, agricultura y uso del suelo.
- Banda 4 (infrarrojo cercano, NIR, 0.75 – 0.90 μm , 30 m): muy útil para la delimitación de cuerpos de agua, determinar el contenido de biomasa, elaborar mapas geológicos y geomorfológicos.
- Banda 5 (infrarrojo medio, MIR, 1.55 – 1.75 μm , 30 m): permite evaluar el contenido de humedad de la vegetación y suelo, diferenciación entre nubes u nieve.
- Banda 6 (infrarrojo termal, TIR, 10.40 – 12.50 μm , 60 m): permite determinar el estrés térmico de la vegetación, corrientes marinas, propiedades termales del suelo.
- Banda 7 (infrarrojo medio, MIR, 2.09 – 2.35 μm , 30 m): especialmente discrimina rocas para el mapeo hidrotermal e identificación de minerales.

- Banda 8 ((pancromática, pan, 0.52 – 0.90 μm , 15 m): por su resolución permite que las imágenes generadas sean trabajadas para obtener ampliaciones hasta 1:25000.

Estas bandas corresponden al Landsat 7, pero el Landsat 8 cuenta con 3 bandas más las cuales no son de nuestra importancia para nuestro estudio.

Tabla 13: Composición de bandas LandSat 7
Landsat 7

Banda	Ancho (μm)	Resolución (m)
Banda 1 Blue	0.45 - 0.52	30
Banda 2 Green	0.52 - 0.60	30
Banda 3 Red	0.63 - 0.69	30
Banda 4 NIR	0.77 - 0.90	30
Banda 5 SWIR 1	1.55 - 1.75	30
Banda 7 SWIR 2	2.09 - 2.35	30
Banda 8 Pan	0.52 - 0.90	15
Banda 6 TIR	10.40 - 12.50	30/60

Fuente: Geospatial Innovation Facility, 2003.

Tabla 14: Composición de bandas LandSat 8
Landsat 8

Banda	Ancho (μm)	Resolución (m)
Banda 1 Coastal	0.43 - 0.45	30
Banda 2 Blue	0.45 - 0.51	30
Banda 3 Green	0.53 - 0.59	30
Banda 4 Red	0.64 - 0.67	30
Banda 5 NIR	0.85 - 0.88	30
Banda 6 SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 Oan	0.50 - 0.68	15
Banda 9 Cirrus	1.36 - 1.38	30
Banda 10 TIRS 1	10.6 - 11.19	100
Banda 11 TIRS 2	11.5 - 12.51	100

Fuente: Geoespatial Innovation Facility, 2003.

3.4.3. COMBINACIÓN DE BANDAS

Una vez comprendida la composición de bandas, ahora con la ayuda del programa Arcgis 10.3, haremos las combinaciones de bandas. El cuadro siguiente son para las imágenes LandSat 8, y la que usaremos es la combinación Tierra/agua ya que necesitamos con mayor resolución el cuerpo del agua.

Tabla 15: Combinación de bandas

Color Natural	4 3 2
Falso Color (urbano)	7 6 4
Color infrarrojo (vegetación)	5 4 3
Agricultura	6 5 2
Penetración atmosférica	7 6 5
Vegetación saludable	5 6 2
Tierra / Agua	5 6 4
Natural con remoción atmosférica	7 5 3
Infrarrojo de onda corta	7 5 4
Análisis de vegetación	6 5 4

Fuente: Geospatial Innovation Facility, 2003.

3.4.4. DELIMITACIÓN DE LAS MÁRGENES DEL RIO

a) Migración Lateral del Rio Madre de Dios

El tramo de estudio “La Pastora” sufre una migración lateral acelerada que pronto afectará a la carretera interoceánica que hoy en día bordea la ciudad de Puerto Maldonado. Tal como vemos en la siguiente figura:



Figura 78: Zona de estudio “La Pastora”.

Fuente: Odebrecht SAC, 2011. “Estudio de Hidrología – Zona La Pastora Km 480 + 910”.

En la siguiente imagen mostramos el fenómeno de migración lateral que sufrió la margen derecha del Río Madre de Dios en la Zona de Estudio La Pastora (Desde el Punto A – B).

Se muestra en la línea roja el desarrollo de la ribera en el año 2000 y la de la línea naranja corresponde a la ribera en el año 2015. La distancia de desplazamiento es de 42 m en promedio entre estos años. Este resultado se ha obtenido mediante la comparación de imágenes satelitales del año 2000 y el del año 2015. Lo que demuestra que ha sufrido una migración lateral de 2.65 m promedio por año habiendo una variación mínima de 1.285 m y una máxima de 6.623 m. Viéndonos en la necesidad que aplicar un sistema de defensas ribereñas con troncos de madera para evitar esta acelerada migración.



Figura 79: Migración lateral de “La Pastora”, Línea roja es del año 2000 y Línea naranja es del año 2015.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5. MODELAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO MADRE DE DIOS

3.5.1. INFORMACIÓN BÁSICA

Para hacer la modelación necesitamos lo siguiente:

- Levantamiento batimétrico del río
- Levantamiento topográfico de las llanuras de inundación
- Estudio geotécnico
- Estudio Hidrológico

Medición de velocidades y caudales en el río Madre de Dios, efectuados por el Laboratorio nacional de Hidráulica que servirá para calibrar el modelo.

a) Información Base

Los caudales de diseño lo obtenemos del modelamiento Hidrológico realizado por la empresa PRZ INGENIEROS.

- Caudal de estiaje: $Q_{\text{estiaje}} = 1178 \text{ m}^3/\text{s}$

Caudales para diferentes periodos de retorno:

- Periodo de retorno $Tr = 2.2$ años $Q_{2.2} = 8003 \text{ m}^3/\text{s}$
- Periodo de retorno $Tr = 25$ años $Q_{25} = 12997 \text{ m}^3/\text{s}$
- Periodo de retorno $Tr = 50$ años $Q_{50} = 14341 \text{ m}^3/\text{s}$
- Periodo de retorno $Tr = 100$ años $Q_{100} = 15789 \text{ m}^3/\text{s}$

3.5.2. MODELACION CON IBER 2.4.3

a) Modelo IBER 2.4.3

La modelación matemática del flujo de agua en un río consiste en predecir los valores que toman las variables hidráulicas (tirante, velocidad, caudal, etc) a partir de resolución mediante métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis.

IBER es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en ríos y estuarios. Algunos de los campos de aplicación de la versión actual de IBER son:

- Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales.
- Evaluación de zonas inundables. Calculo de las zonas de flujo preferente.
- Calculo hidráulico de encauzamientos.

- Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- Estabilidad de los sedimentos del lecho.

IBER resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(hU_x) + \frac{\partial}{\partial x}(hU_x^2 + g\frac{h^2}{2}) + \frac{\partial}{\partial y}(hU_xU_y) \\ = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial y}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(hU_y) + \frac{\partial}{\partial y}(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2}) + \frac{\partial}{\partial x}(hU_xU_y) \\ = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y}) \end{aligned}$$

Donde h es el tirante, U_x , U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, ρ es la densidad del agua, Z_b es la cota de fondo, τ_s es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, τ_b es la fricción debida al rozamiento del fondo y v_t es la viscosidad turbulenta.

$$\tau_{b,x} = \rho g h \frac{n^2 U_x |U|^2}{h^{4/3}} \quad \tau_{b,y} = \rho g h \frac{n^2 U_y |U|^2}{h^{4/3}}$$

b) Rugosidad del modelo

El modelo IBER 2.4.3 considera el coeficiente de Manning, para calcular la rugosidad del modelo se utilizó el número de Cowan y considerando los siguientes factores:

Tabla 16: Coeficiente de Manning

Número de Manning Cauce				
Condiciones de Canal		Valores		Cauce
Material	Tierra	n ₀	0.020	0.020
	Roca		0.025	
	Grava Fina		0.024	
	Grava Gruesa		0.028	
Grado de Irregularidad	Ligero	n ₁	0.000	0.002
	Menor		0.005	
	Moderado		0.010	
	Severo		0.020	
Variaciones de la Sección Transversal del lecho	Gradual	n ₂	0.000	0.002
	Ocasionalmente alternante		0.005	
	Frecuentemente alternante		0.010 - 0.015	
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n ₃	0.000	0.006
	Menor		0.010 - 0.015	
	Apreciable		0.020 - 0.030	
	Severo		0.040 - 0.060	
Vegetación	Baja	n ₄	0.005 - 0.010	0.005
	Media		0.010 - 0.025	
	Alta		0.025 - 0.050	
	Muy alta		0.050 - 0.100	
Grado de Sinuosidad	Menor	m	1.000	1.150
	Apreciable		1.150	
	Severo		1.300	
TOTAL:				0.040

Fuente: Elaboración Propia.

Para la llanura de inundación el número de Manning se obtuvo de la tabla de Vente Chow n= 0.014. Un valor promedio para matorrales medios a densos:

c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160

Figura 80: Coeficiente de Manning para la llanura de inundación.

Fuente: Vente Chow, 1994.

c) Información necesaria para el modelamiento en 2D.

Para el uso de Iber 2.4.3 tenemos que tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Tener listo el Raster (DEM) georreferenciado del tramo de río de donde se extraerá la información topográfica, este DEM puede ser obtenido

directamente desde Civil3D (formato tif) o también desde ArcGIS convirtiendo el TIN a Raster, en ambos casos se recomienda tamaños de celda no mayores a 1x1 m para no perder calidad topográfica.

Si se tiene el shape de polígonos Manning para el tramo puede traerse también.

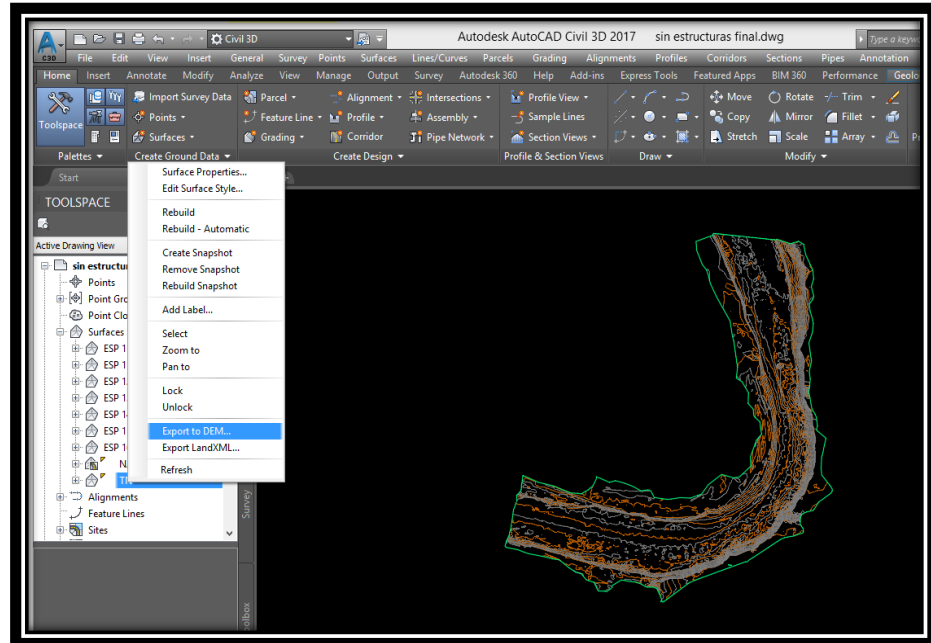


Figura 81: Pasando de superficie a DEM en CIVIL3D.
Fuente: Elaboración Propia.

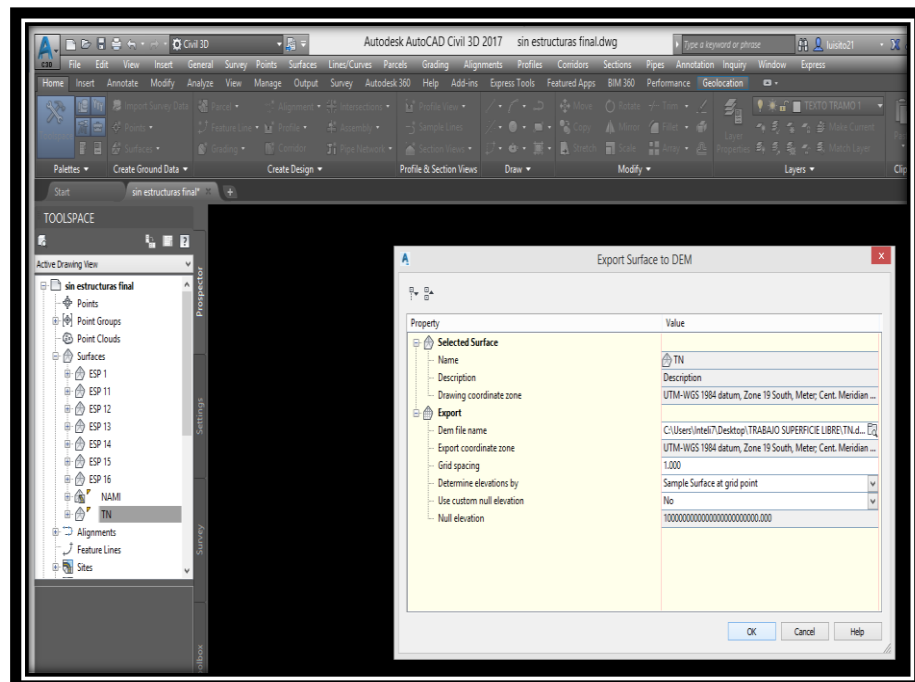


Figura 82: Guardando el archivo DEM en una carpeta de trabajo.
Fuente: Elaboración Propia.

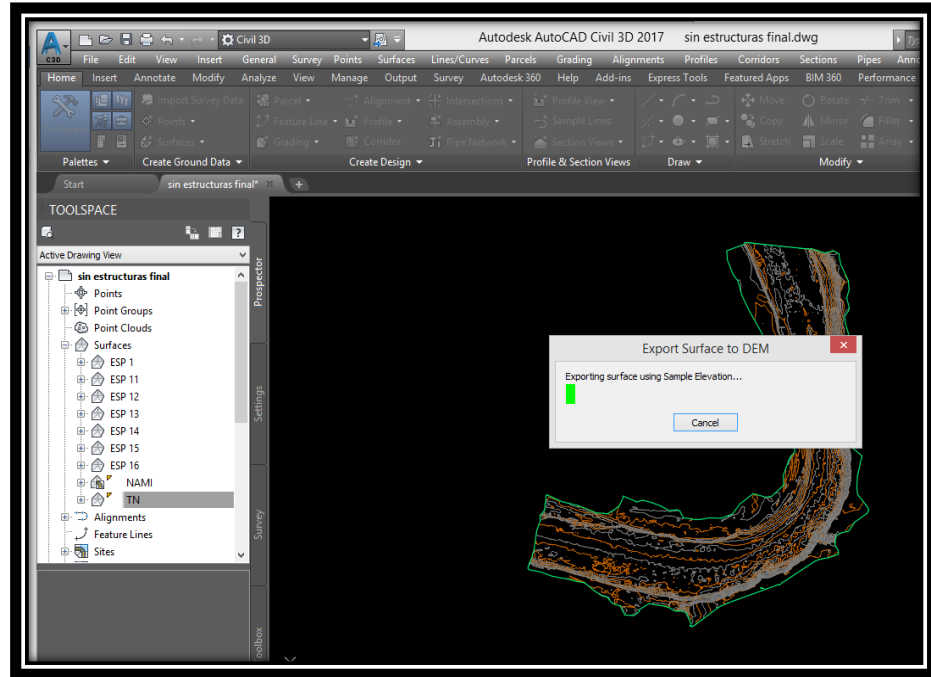


Figura 83: Exportando el archivo de superficie a DEM.
Fuente: Elaboración Propia.

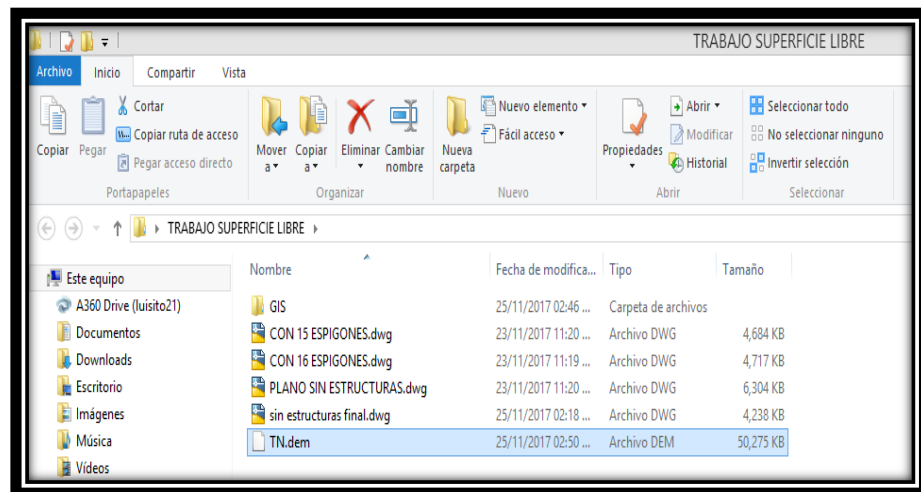


Figura 84: Archivo DEM exportado en la carpeta destinada.
Fuente: Elaboración Propia.

2. En ARCGIS crea un nuevo proyecto.

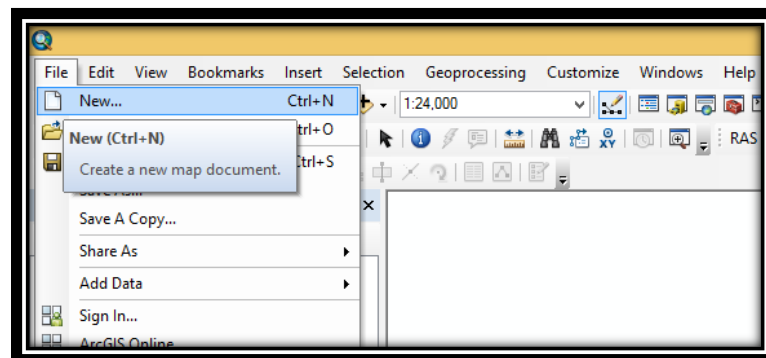


Figura 85: Creando un nuevo proyecto en ArcGIS.
Fuente: Elaboración Propia.

3. Luego tenemos que importar el DEM que generamos con el Civil3D al ArcGIS.

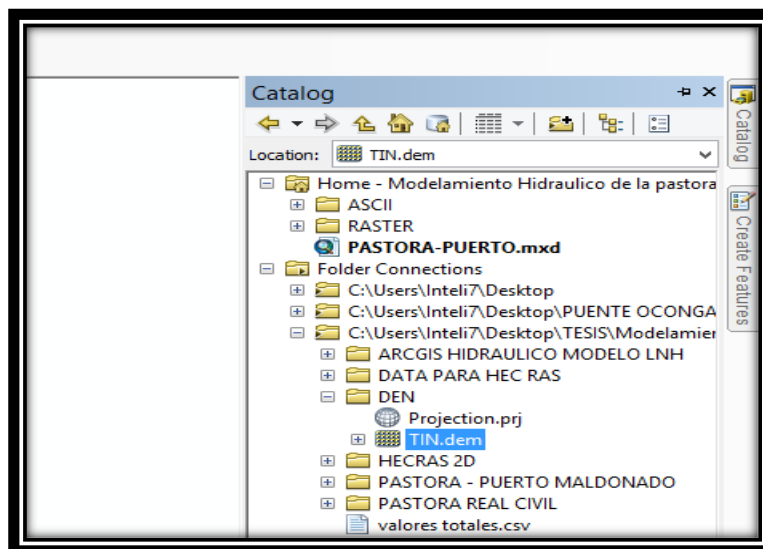


Figura 86: Importando DEM a ArcGIS.
Fuente: Elaboración Propia.

4. Una vez extraído el DEM vamos a crear un shapefile para crear los polígonos de Manning.

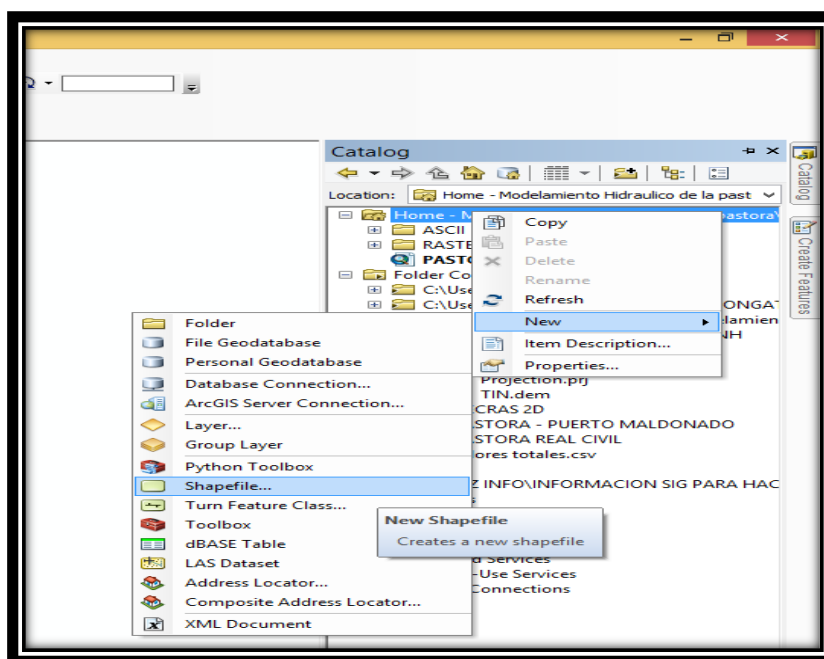


Figura 87: Creación de Shapefile para Manning.
Fuente: Elaboración Propia.

Creado el shapefile comenzamos a graficar los polígonos que contienen diferentes valores de Manning.

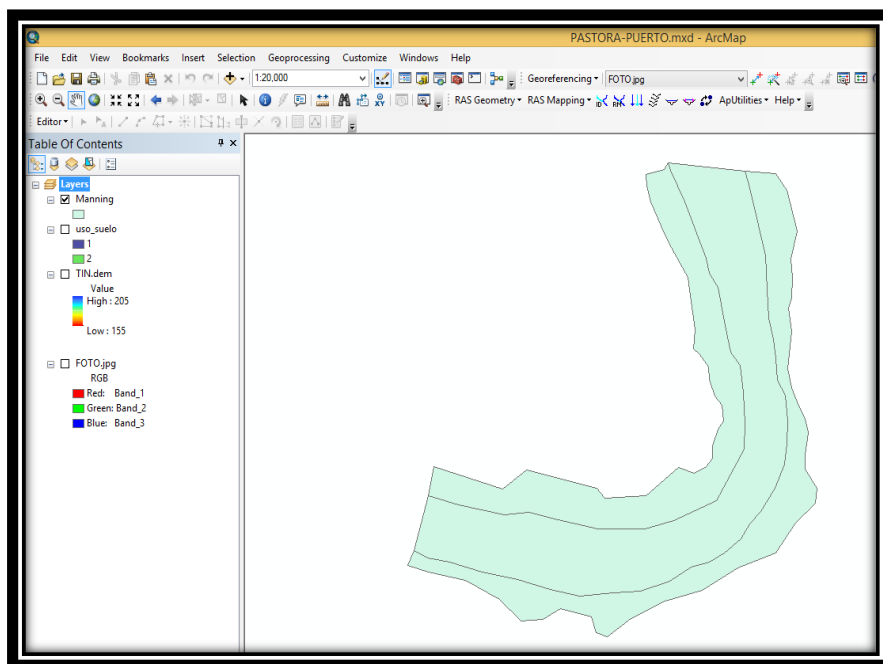


Figura 88: Polígono de Manning.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez dibujado le asignamos una numeración a los polígonos para posteriormente asignarle un número de Manning.

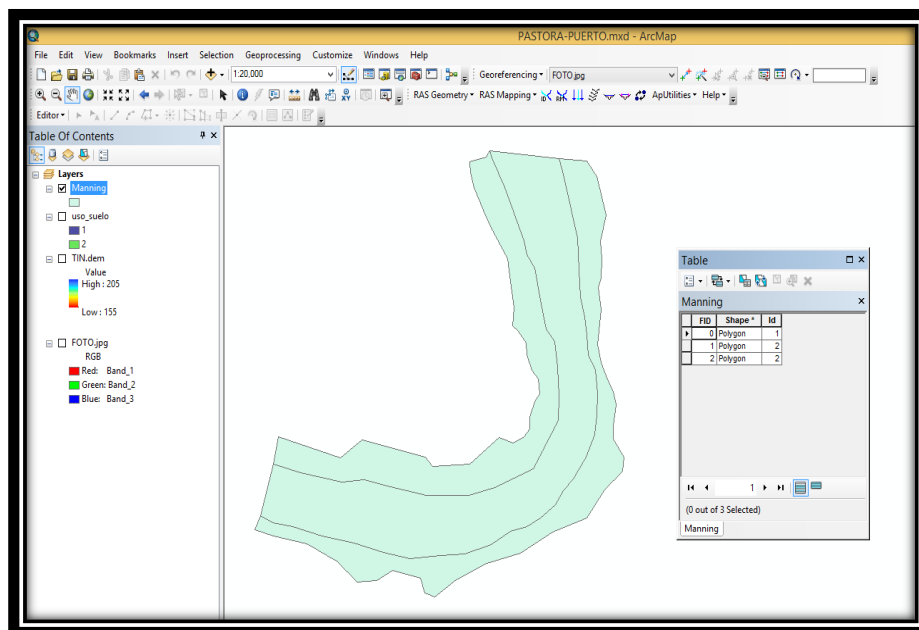


Figura 89: Colocación del ID para identificar el Manning en IBER.
Fuente: Elaboración Propia.

- Una vez que tenemos terminado lo anterior, vamos a pasar el polígono a Raster.

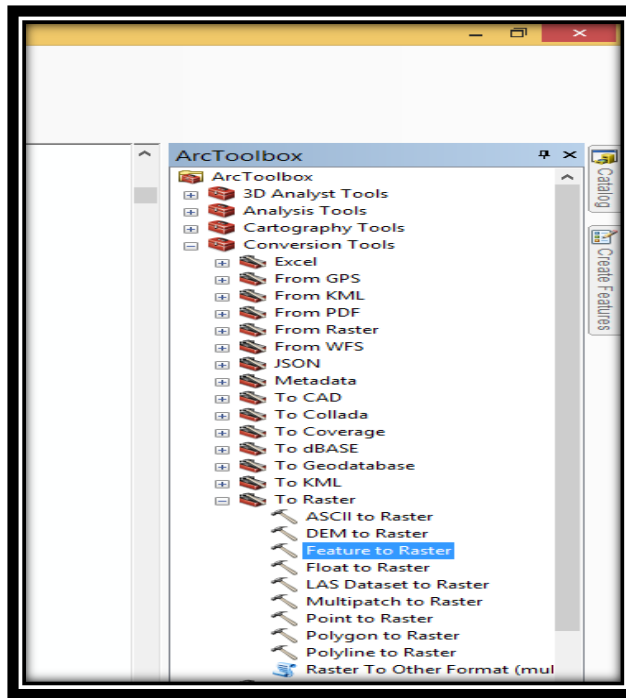


Figura 90: Cambio de Shapefile de Manning a Raster.
Fuente: Elaboración Propia.

Ahora tenemos dos Raster uno del DEM y otro de Manning, estos dos Raster los pasaremos a un archivo ASCII.

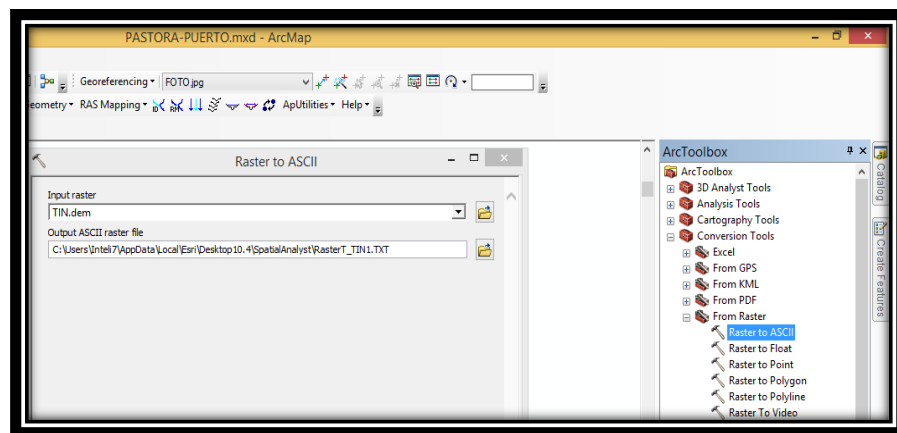


Figura 91: Cambio de Raster a ASCII.
Fuente: Elaboración Propia.

6. Ahora vamos a abrir el programa Iber 2.4.3 y creamos un nuevo proyecto.

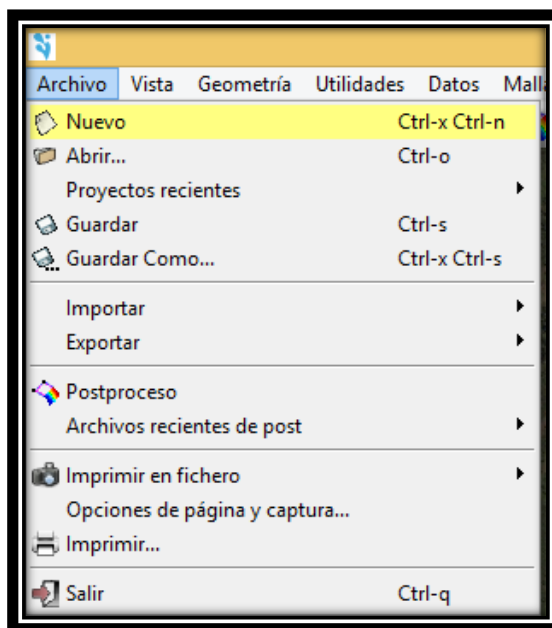


Figura 92: Creando un nuevo proyecto en IBER.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez creado el nuevo proyecto vamos a importar el archivo ASCII del DEM.

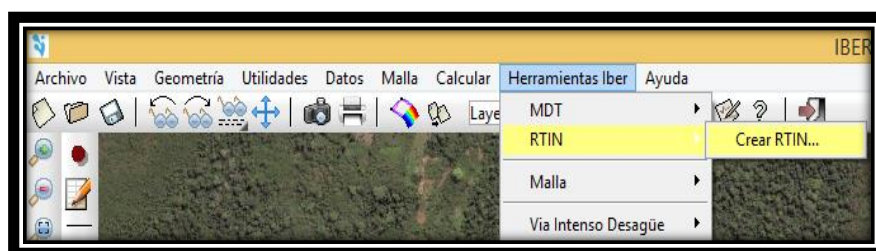


Figura 93: Importando el archivo ASCII en IBER.
Fuente: Elaboración Propia.

Ahora que importamos el DEM y se generó la malla de la zona de estudio, vamos a importar el archivo ASCII del Manning.

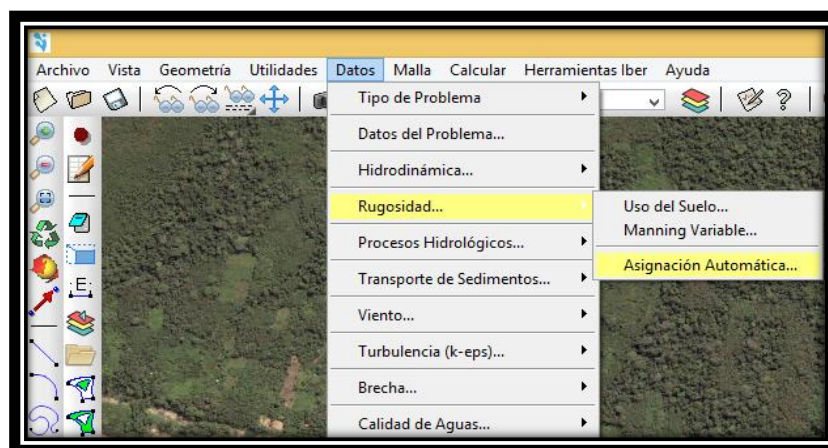


Figura 94: Asignación automática de la rugosidad.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez importados los archivos, ahora vamos a poner las condiciones de contorno.

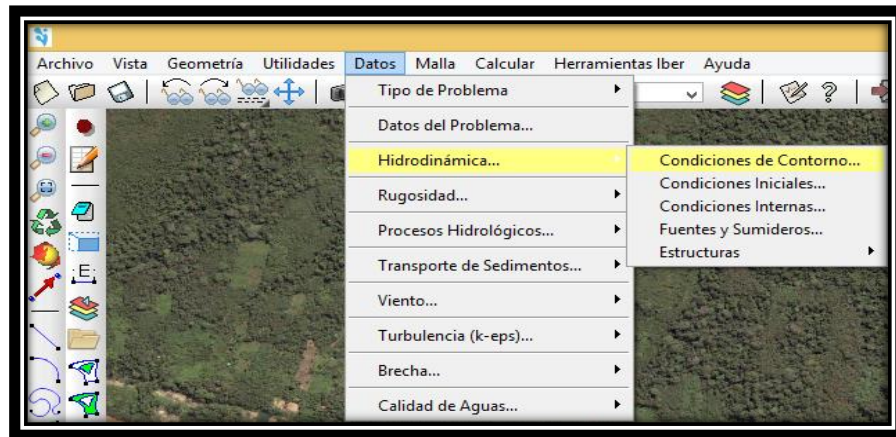


Figura 95: Colocación de las condiciones de contorno.
Fuente: Elaboración Propia.

Asignando como condiciones de contornos la entrada y la salida.

En la entrada asignamos un caudal constante o podemos asignar un hidrograma de entrada de caudal.

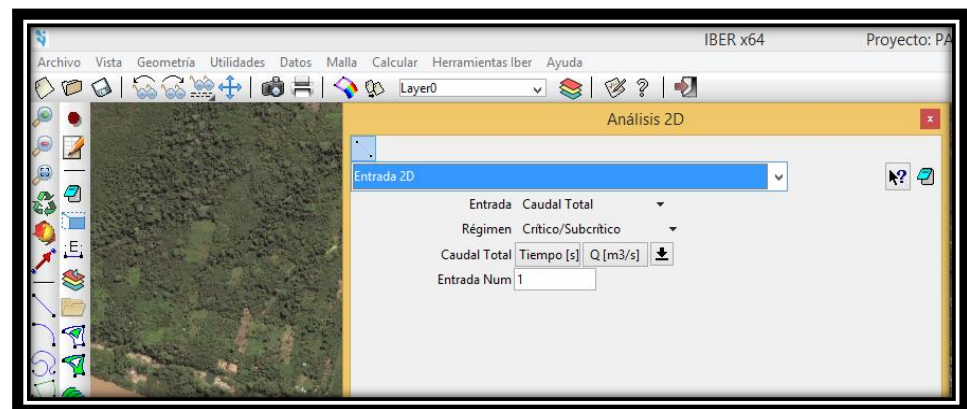


Figura 96: Condición de entrada.
Fuente: Elaboración Propia.

- Ahora vamos a poner los valores de Manning para cada polígono generado en el ArcGIS.

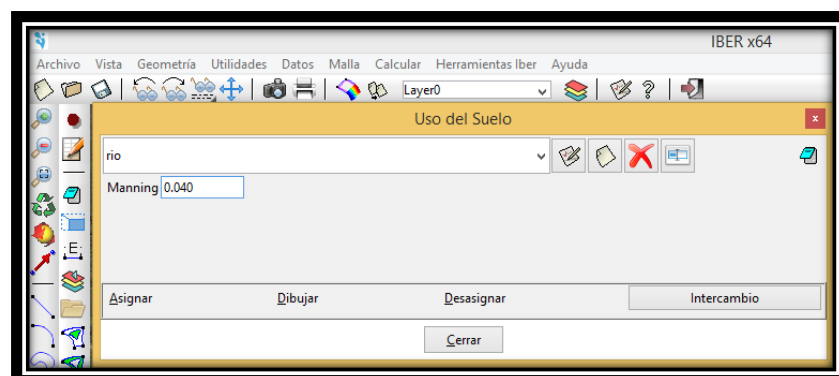


Figura 97: Asignación del coeficiente de Manning.
Fuente: Elaboración Propia.

8. Ahora casi terminando vamos a poner los datos del problema.

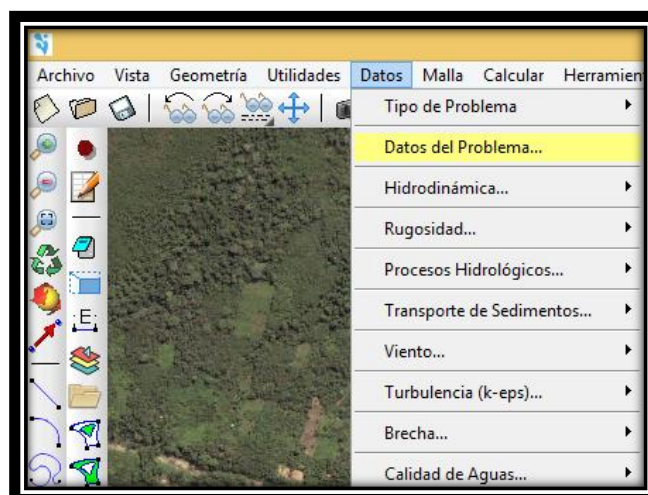


Figura 98: Colocación de los datos de entrada.

Fuente: Elaboración Propia.

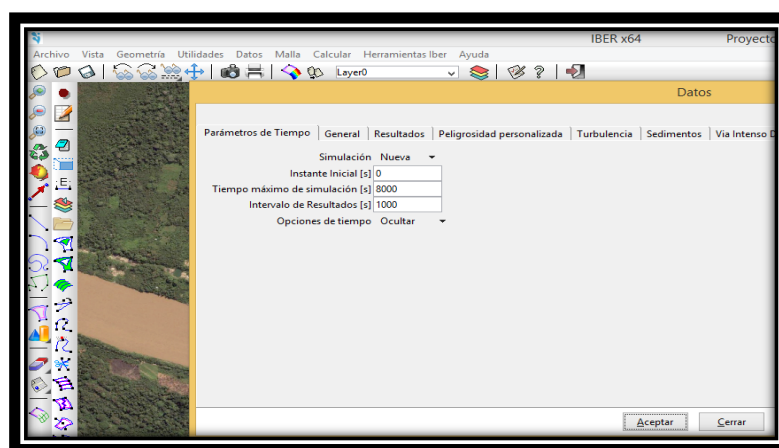


Figura 99: Tiempo máximo de simulación y Tiempo de intervalo de resultados.

Fuente: Elaboración Propia.

La ejecución del modelo 2D, requiere de una serie de configuraciones previas, que involucra establecer tolerancias de cálculo que permitan obtener resultados coherentes. Dos de los más importantes parámetros que configurar son: el tamaño de malla y el paso de tiempo de cómputo.

El tamaño de malla (Δx) nos permitirá que el modelo se adecue apropiadamente al terreno y de esa forma pueda incluir todas las obstrucciones presentes.

El paso de tiempo de cómputo (Δt), está relacionado al Número de Courant, que se obtiene de la relación entre espacio, velocidad y tiempo; siendo conocido que dicha relación debe ser menor igual que la unidad.

La estrecha relación que existe entre los dos parámetros, hace que debamos escoger un intervalo de tiempo adecuado para que funcione bien con la

malla elaborada. Es así, que el usuario debe probar con diferentes tamaños de celda (Δx) y también con diferentes pasos de tiempo de cálculo (Δt) para poder tener una buena precisión numérica y reducir al mínimo el tiempo de cálculo.

9. Se puede visualizar los resultados.

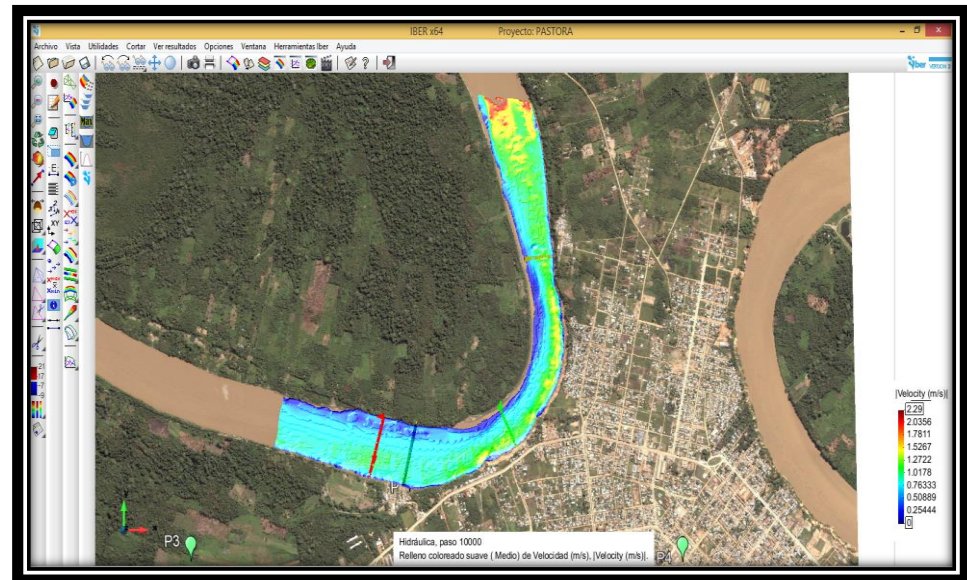


Figura 100: Salida de resultados del modelo numérico.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3. CALIBRACIÓN DEL MODELO

Para validar los resultados del modelamiento matemático bidimensional otorguen la confiabilidad necesaria, tenemos que ajustar las condiciones iniciales.

El Institut de Recherche pour le Development (IRD) realizo mediciones en el año 2014, obteniendo datos de niveles de agua en la siguiente sección ver figura 101 y la comparamos con la simulación realizada obteniendo los resultados en el siguiente cuadro:



Figura 101: Ubicación referenciada de la sección de estudio del IRD.
Fuente: Google Earth.

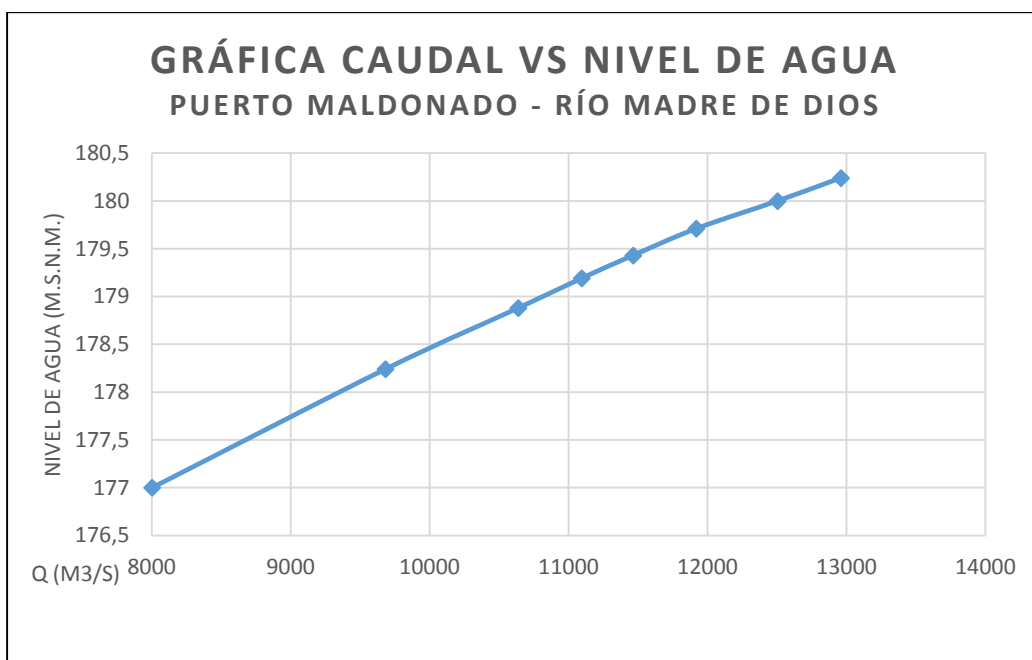


Figura 102: Gráfica Caudal vs Nivel de agua del río Madre de Dios, Zona La Pastora.
Fuente: IRD [Anexo 6]

Tabla 17: Comparación de niveles de agua entre el medido en campo (IRD*) y el simulado en el modelo matemático en la sección mostrada en la Fig. 101.

T (años)	Q (m ³ /s)	Nivel de Agua (m)		Δ	Desviación relativa al IRD (%)
		IRD*	Modelo Matemático		
2.2	8009.99	177	177.15	-0.15	-0.08
5	9682.33	178.25	178.19	0.06	0.03
8	10639.72	178.88	178.77	0.11	0.06
10	11094.27	179.19	179.02	0.17	0.09
12	11465.65	179.43	179.23	0.20	0.11
15	11920.2	179.71	179.47	0.24	0.13
25	12960.75	180.24	180.02	0.22	0.12

Fuente: *Elaboración Propia.*

*Institut de Recherche pour le Development

T: Periodo de retorno (años)

Q: Caudal (m³/s)

Según los datos presentados en la Tabla 17 se observa que el nivel de agua obtenido en el modelo matemático para todos los caudales estudiados es menor al nivel de agua obtenido por el IRD, salvo para la simulación con el $T_r = 2.2$ años donde el tirante obtenido es mayor al medido por el IRD, y que todos los valores de desviación son menores a 1%, un factor que indica una buena aproximación del modelo matemático a las condiciones de la zona de estudio.

Además, tenemos datos de mediciones de velocidades realizadas por el laboratorio nacional de hidráulica. Estas mediciones se hicieron en tres secciones del tramo de estudio. Los valores obtenidos por el Laboratorio Nacional de hidráulica fueron los siguientes:



Figura 103: Secciones de lectura de velocidades por el Laboratorio Nacional de Hidráulica.
 Fuente: Laboratorio Nacional de Hidráulica.

Tabla 18: Datos de velocidades medidas en campo por el Laboratorio Nacional de Hidráulica.

Sección	1	2	3
Q (m ³ /s)	1178.45	1133.49	1103.62
V m (m/s)	0.99	0.80	1.01

Fuente: Laboratorio Nacional de Hidráulica.

Q: caudal (m³/s)

Vm: velocidad media (m/s)

Para corroborar la calibración del modelo matemático dentro del tramo de estudio se compararon las velocidades medias puntuales obtenidas en el modelo IBER y las medidas por el L.N.H. en cinco puntos en la sección 1, 2 y 3.

En la Figura 104 se muestran los puntos situados en la sección 1 con caudal de 1178.45 m³/s.

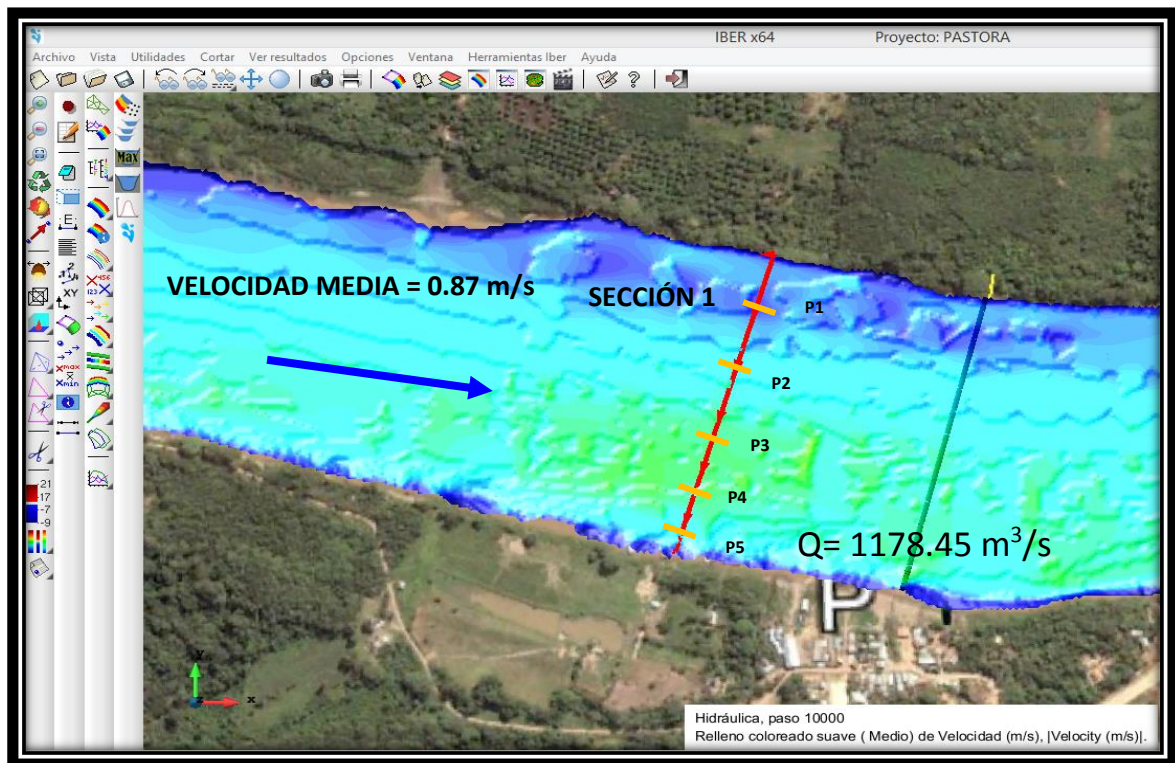


Figura 104: Resultados del IBER para la sección 1 con un caudal de 1178.45 m³/s.
 Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 19 se compara los resultados obtenidos en el IBER con los presentados por el Laboratorio Nacional de Hidráulica para la sección 1.

Tabla 19: Comparación de velocidades medias puntales medidas y simuladas para un caudal de 1178.45 m³/s.

Punto	Distancia desde la llanura (m)	Velocidad L.H.N. (m/s)	Velocidad IBER (m/s)	Δ	Desviación relativa al L.N.H. (%)
1	68	0.762	0.741766	0.020	2.66
2	120	0.922	0.930795	-0.009	-0.95
3	184	1.055	1.04931	0.006	0.54
4	264	1.201	0.987383	0.214	17.79
5	320	0.861	0.719312	0.142	16.46

Fuente: Elaboración Propia.

Según los resultados presentados en la Tabla 19 se observa que en tres puntos la velocidad en el modelo IBER es menor que la velocidad obtenida en el LNH La desviación obtenida es relativamente alta en dos puntos debido a que, como se explicó anteriormente, el modelo matemático utiliza algoritmos que a veces no se aproximan del todo a la realidad.

En la Figura 105 se observan los resultados del campo de velocidades para un caudal de $1133.49 \text{ m}^3/\text{s}$ y se ubica la sección 2 con cinco puntos de estudio que se comparan con los medidos por el Laboratorio Nacional de Hidráulica.

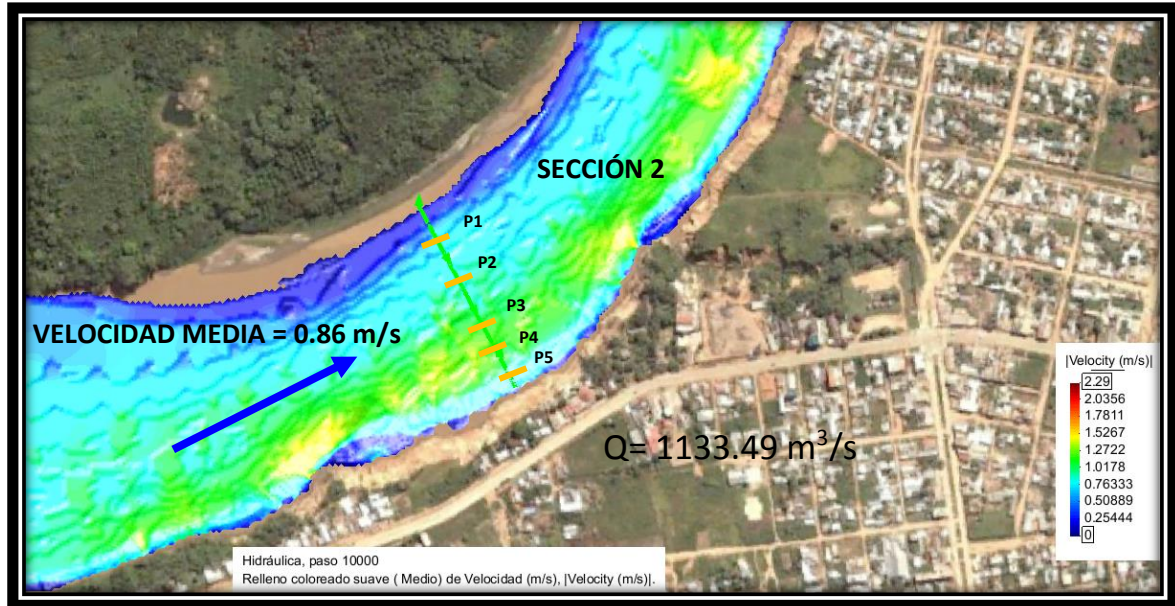


Figura 105: Resultados del IBER para la sección 2 con un caudal de $1134.49 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 20 se compara los resultados obtenidos en el IBER con los presentados por el Laboratorio Nacional de Hidráulica para la Sección 2.

Tabla 20: Comparación de velocidades medias puntuales medidas y simuladas para un caudal de $1133.49 \text{ m}^3/\text{s}$.

Punto	Distancia desde la llanura (m)	Velocidad L.H.N. (m/s)	Velocidad IBER (m/s)	Δ	Desviación relativa al L.N.H. (%)
1	128	0.805	0.930229	-0.125	-15.56
2	144	0.906	0.949848	-0.044	-4.84
3	168	1.019	1.04886	-0.030	-2.93
4	200	1.031	1.18697	-0.156	-15.13
5	280	0.769	0.70943	0.060	7.75

Fuente: Elaboración Propia.

Nota: Es importante indicar que esta sección 2 se encuentra en un tramo curvo

Según los resultados presentados en la Tabla 20 se observa que en cuatro puntos la velocidad en el modelo IBER es mayor que la velocidad obtenida en el LNH, en un punto ubicado cerca de la margen derecha se obtiene la velocidad menor que la del LNH.

En la Figura 106 se observan los resultados del campo de velocidades para un caudal de $1103.62 \text{ m}^3/\text{s}$ y se ubica la sección 3 con cinco puntos de estudio que se comparan con los medidos por el Laboratorio Nacional de Hidráulica.

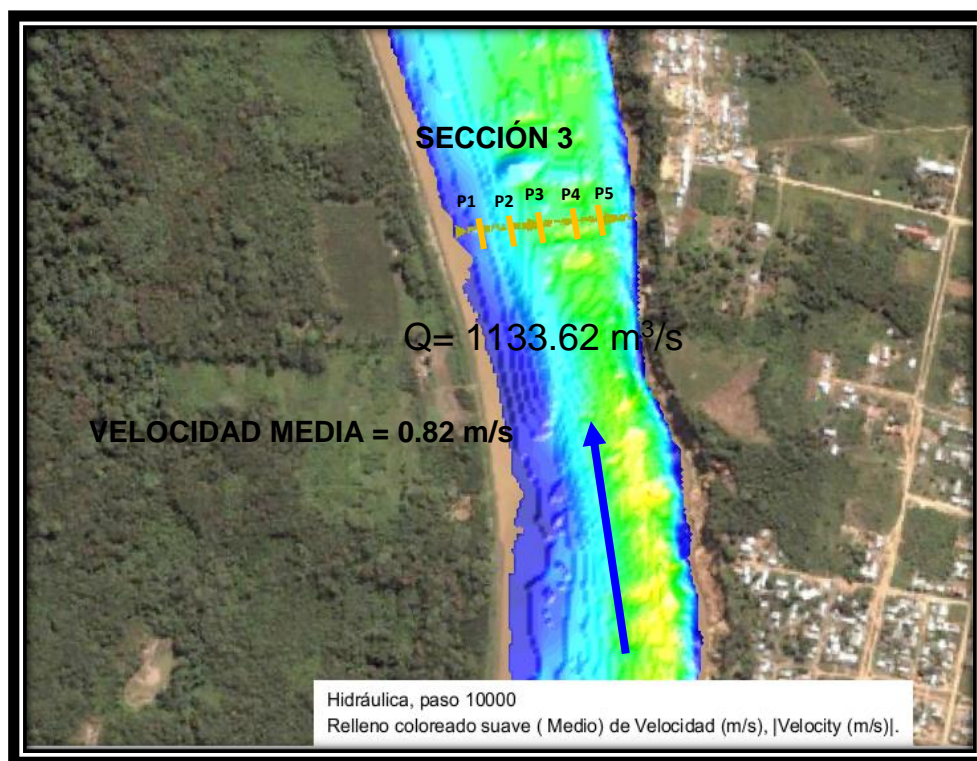


Figura 106: Resultados del IBER para la sección 3 con un caudal de $1133.62 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 21 se compara los resultados obtenidos en el IBER con los presentados por el Laboratorio Nacional de Hidráulica para la Sección 3.

Tabla 21: Comparación de velocidades medias puntuales medidas y simuladas para un caudal de $1133.49 \text{ m}^3/\text{s}$.

Punto	Distancia desde la llanura (m)	Velocidad LHN (m/s)	Velocidad IBER(m/s)	Δ	Desviación relativa al LNH (%)
1	30	0.493	0.400264	0.093	18.81
2	70	0.767	0.789692	-0.023	-2.96
3	110	1.028	1.03909	-0.011	-1.08
4	150	1.044	1.09488	-0.051	-4.87
5	190	1.083	1.08739	-0.004	-0.41

Fuente: Elaboración Propia.

Según los resultados presentados en la tabla 21 se observa que en esta sección las velocidades en el IBER son menores en dos puntos, para este caso las velocidades medidas por el LNH en el punto ubicado en los extremos del cauce principal del río (margen izquierda) son mayor que las velocidades obtenidas en el IBER.

3.5.4. RESULTADOS DEL PROGRAMA IBER

Los resultados que me botan el programa son mapas de velocidades, tirantes y muchas cosas más, pero lo necesario para esta tesis son los resultados de tirantes y velocidades.

Para el presente estudio requerimos datos de tirantes referidos a tirantes y velocidades para un periodo de retorno de 50 años para poder realizar los diseños.

Mapa de velocidades para un periodo de retorno de $Tr = 50$ años.

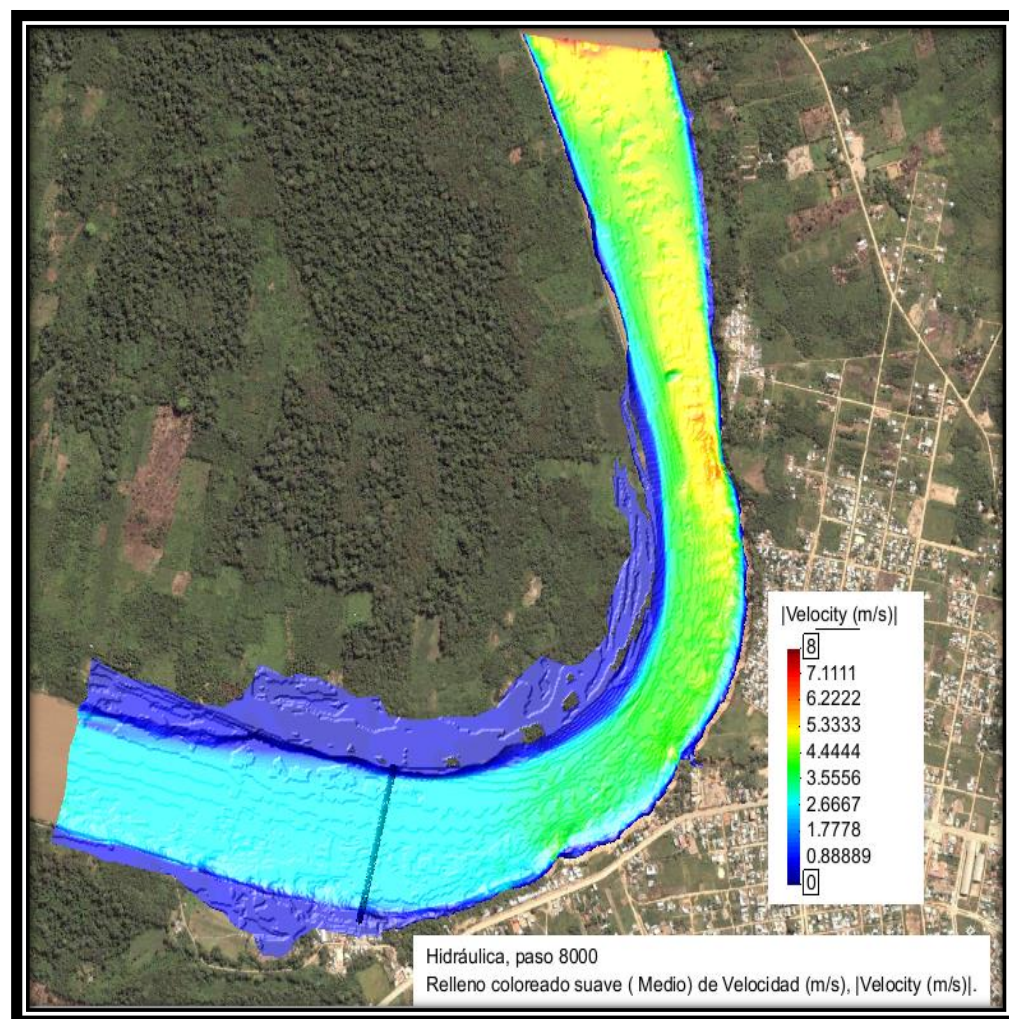


Figura 107: Resultados del IBER – Mapa de velocidades para un caudal de $14341 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración Propia.

Mapa de tirantes para un periodo de retorno de $Tr = 50$ años.

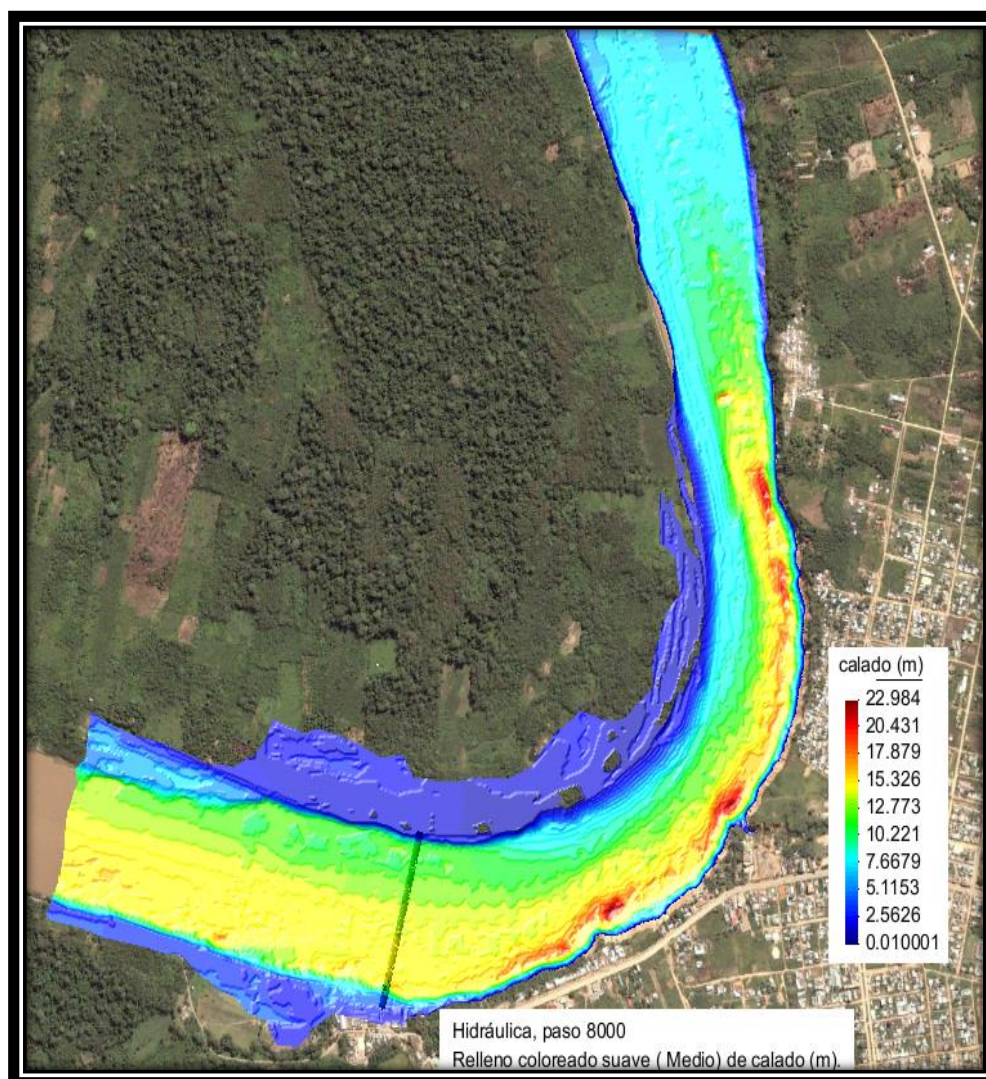


Figura 108: Resultados IBER – Mapa de tirantes para un caudal de $14341 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración Propia.

3.5.5. CÁLCULO DE SOCAVACIÓN

Para los cálculos de los fenómenos de socavación, que sirven para verificar la estabilidad de los espigones y definir el empotramiento de los miembros verticales. Vamos a considerar la avenida con un periodo de retorno de $Tr=100$ años, que tiene un valor de $Q_{100} = 15789 \text{ m}^3/\text{s}$.

a) Socavación general

La socavación general se produce cuando durante la ocurrencia de la avenida de diseño se incrementa la capacidad del río de acarrear sedimentos durante las avenidas.

Se considera los siguientes datos básicos:

- Coeficiente de rugosidad del cauce $n= 0.040$

- Coeficiente de rugosidad de la llanura de inundación = 0.14
- Densidad relativa del cauce con cohesión = 2.7 Ton/m³

Tabla 22: Resultado de socavación de “La Pastora”.

Zona	γ_s tn/m ³	Q m ³ /s	B_e m	A m ²	Cota Min. Cauce	Cota de nivel de agua	Hm m	Ho m	α	β	1/(1+x)	Hs m	Socavacion general m
La pastora	2.7	15789	473.79	4404.53	159.77	180.39	9.2964	20.62	0.8108	1.0555	0.762008	23.07051	2.450512967

Fuente: Elaboración Propia.

Obteniendo una socavación general de 2.45 m.

b) Socavación local

La socavación en curva se debe realizar en una sección transversal del rio. En la figura siguiente se muestra una sección en un tramo intermedio de la zona a proteger.

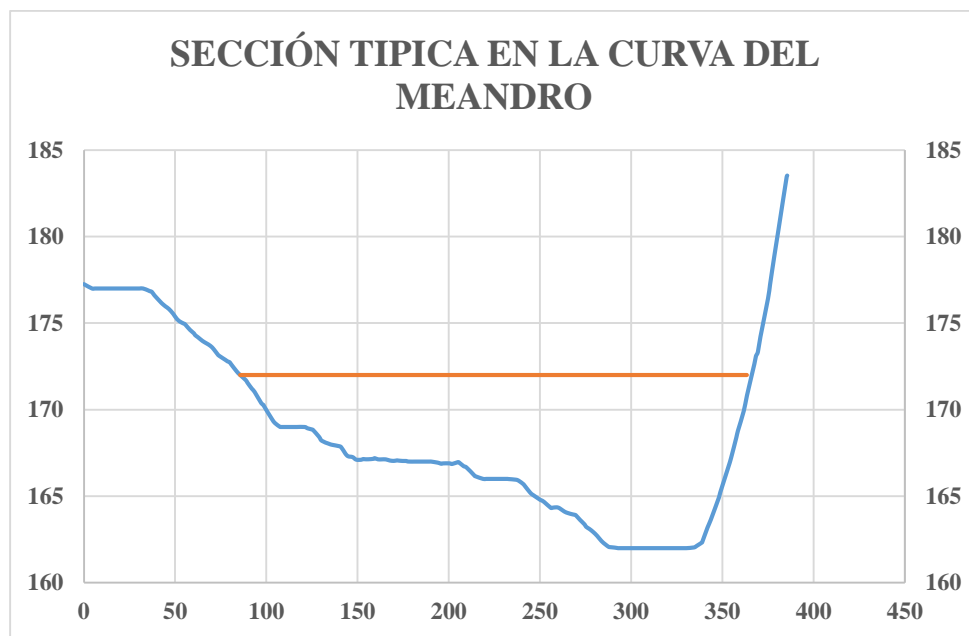


Figura 109: Sección típica de la curva del meandro.

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando el nivel de agua en estiaje el cual tiene una cota promedio de 171 msnm, vemos que el thalweg es de 9 m, y en la zona de tramo recto (“La Pastora”) es un promedio de 5.5.

Es decir que existe una diferencia entre el tirante máximo en el thalweg y el tirante medio del tramo recto en 3.5 m.

Como es sabido el thalweg se desplaza con los años hacia la margen derecha ocasionando el colapso del talud.

c) **Socavación en el extremo de los espigones**

El fenómeno de socavación en la punta del espigón se muestra en la siguiente imagen.

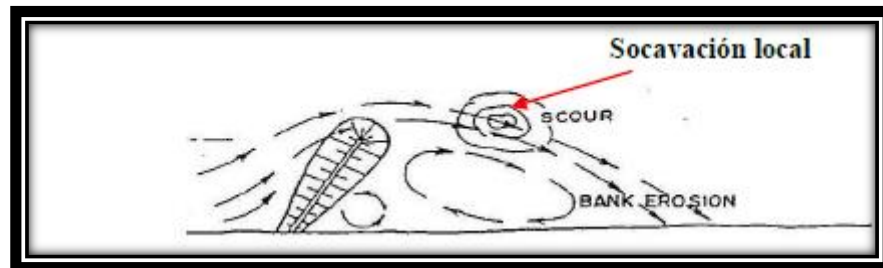


Figura 110: Socavación local en el extremo del espigón.
Fuente: PRZ Ingenieros, 2011.

El caudal considerado es el caudal con 100 años de periodo de retorno igual a $15789 \text{ m}^3/\text{s}$.

Aplicando el método de Artamonov, este método permite determinar no solamente la profundidad de socavación al pie de estribos sino también al pie de espigones. Depende de los siguientes factores:

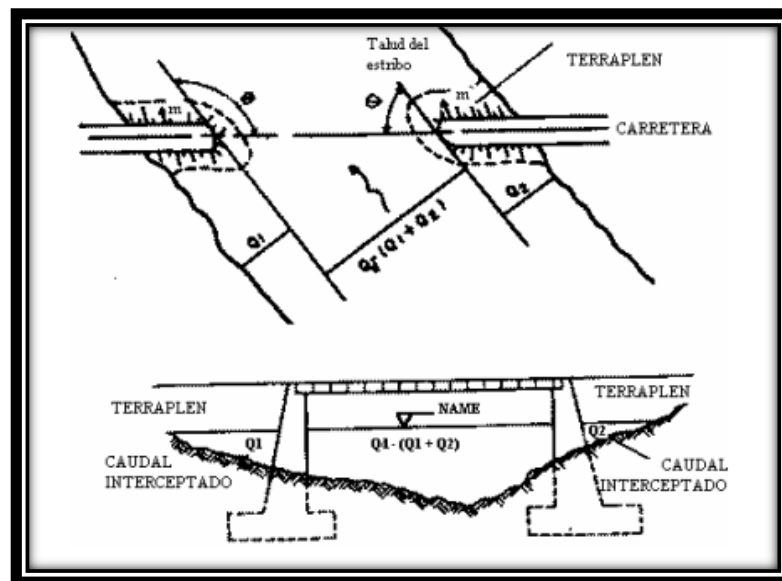


Figura 111: Intersección del flujo por los estribos o espigones. Método de Artamonov.
Fuente: Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1992.

K_θ = Coeficiente que depende del ángulo que forma el eje de la obra con la corriente.

K_Q = Coeficiente que depende de la relación entre el caudal teórico interceptado por el estribo Q_1 y Q_2 y el caudal total Q_d que escurre por la sección transversal.

K_m = Coeficiente que depende del talud que tienen los lados del estribo.

h = Tirante de agua en la zona cercana al espigón o estribo antes de la socavación.

S_t = Profundidad máxima de la socavación medida desde la superficie libre del agua.

$$S_t = K_\theta * K_Q * K_m * h$$

Reemplazando los datos en la ecuación obtenemos un S_t de 26 m.

Obteniendo una socavación en la punta del espigón de 4.54 m.

3.6.HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

3.6.1. DESARROLLO DEL PROGRAMA

Se desarrolló un programa informático llamado DSLOG para llevar a cabo el diseño óptimo de estabilidad de grandes estructuras de madera considerando los aspectos hidráulicos y geotécnicos. El programa es capaz de analizar las fuerzas verticales y fuerzas horizontales a las que son sometidas estas estructuras. Es un programa informático fácil de usar que funciona en el sistema operativo Microsoft Windows. Al igual que la mayoría de los programas de Windows, tiene una interfaz de usuario basada en Windows con muchos componentes visuales adicionales. El prefijo en el nombre del programa, DS, es abreviatura de la palabra "diseño", mientras que el nombre que sigue a este prefijo, LOG, hace referencia a la palabra "tronco". La interfaz de usuario y el algoritmo del programa lo hacen muy flexible para que un diseñador evalúe varias dimensiones de la estructura desde puntos de vista de seguridad y economía.

3.6.2. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Hay muchos lenguajes de programación, que se utilizan en el desarrollo de programas informáticos. Cada uno de ellos tiene algunas ventajas y desventajas en términos de sus habilidades que juegan un papel importante en la escritura del código. En ciencias de la computación, existe una idea común de que, un lenguaje de programación flexible es generalmente difícil de usar, y un lenguaje fácil no es muy flexible para desarrollar programas sofisticados. Ejemplos de algunos de los lenguajes de programación, que tienen capacidades sólidas son C, C ++, etc. Contrariamente a estos lenguajes, se considera que Basic, Fortran 77, etc. son el tipo de lenguajes que no son lo suficientemente flexibles para desarrollar programas complicados, pero sus usos son fáciles. Desde el punto de vista del

programador, el criterio para seleccionar el lenguaje de programación generalmente depende del tipo de programa que se desarrollará. Porque no existe un lenguaje que siempre cumpla con todos los requisitos del programador, independientemente del tipo de problema que se programará. Por lo tanto, un programador debe seleccionar el lenguaje de programación con características que se ajusten a sus requisitos.

Otra característica importante en la elección del lenguaje de programación es el soporte del lenguaje para el entorno visual. En los principios de las ciencias de la computación, la mayoría de las aplicaciones funcionaban en una consola. Paralelamente a las mejoras en los sistemas operativos, la idea de programación también cambió drásticamente. El cambio más sutil ocurrido es el diseño de la interfaz del usuario. Con el desarrollo de los sistemas operativos visuales, como Microsoft Windows, el concepto de interfaz visual también entró a los lenguajes de programación. Uno de los primeros lenguajes de programación compatibles con programación visual es Microsoft Visual Basic. Fue fácil como su predecesor, Microsoft QBasic y le daba la oportunidad al programador de desarrollar programas visuales que funcionaran en el sistema operativo Microsoft Windows. Antes de Microsoft Visual Basic, la programación visual no era muy fácil. La mayoría de las veces se utilizó Microsoft Visual C ++ para lograr una interfaz visual que es un lenguaje muy difícil para trabajar. Sin embargo, dado que el Visual Basic se desarrolló como un lenguaje de programación visual, no solo Visual Basic se hizo popular, sino que la programación visual se hizo muy popular entre los programadores.

Hoy en día, la mayoría de los lenguajes de programación tienen soporte incorporado en el lenguaje mismo para la programación visual, como Borland C ++, Borland Delphi, Java, Visual C ++, etc.

Para el punto final que debe considerarse al seleccionar el lenguaje de programación es su independencia del sistema operativo para ejecutar. En otras palabras, en lenguajes de programación tradicionales como Visual C ++, Visual Basic 6.0, etc., el programa solo se puede ejecutar en el sistema operativo donde se compiló. Si está portado a algún otro sistema operativo, deberá ser recompilado en ese sistema operativo y se generará un nuevo archivo ejecutable para ese

sistema operativo. Esto dificulta la portabilidad del programa. En los últimos años, donde internet no estaba tan desarrollado, esto no era un problema, pero con el amplio uso de Internet en la actualidad, esto también comienza a ser un problema. La revolución para manejar este problema fue el desarrollo del lenguaje de programación, Java introducido por Sun Microsystems, Inc. Ahora, Microsoft también sigue esta visión por su entorno de programación, Visual Studio.NET. Microsoft Visual Basic.NET es la nueva versión de Visual Basic que maneja este problema de portabilidad. En resumen, Visual Basic.NET funciona en un software llamado .NET framework que simula el sistema operativo. Por lo tanto, donde sea que exista este software, cualquier programa desarrollado por el lenguaje de programación .NET puede ejecutarse independientemente del sistema operativo. Esta es una característica importante, pero causa una pequeña disminución en el rendimiento de ejecución del programa. Sin embargo, toda la industria de la computación está en la visión de este tipo de programación que se ve como el futuro de la programación.

En el desarrollo de un programa, diferentes lenguajes de computadora pueden ser utilizados cooperativamente por algunas restricciones. Este enfoque se usa en algunos programas de modo que el módulo principal del programa se escribe en algún idioma y la interfaz visual se codifica en otro idioma. Para promocionarlos en un programa visual, en lugar de escribir todo el programa en un entorno visual, solo la interfaz se escribe con el lenguaje visual y la interfaz se vincula con el programa escrito anterior. El paquete HEC-RAS (USACE, 1998) es un ejemplo para este enfoque, de modo que el cuerpo principal del programa se escribió en Fortran, mientras que la interfaz visual se codifica en un entorno visual. Sin embargo, es mejor escribir todo el programa en un lenguaje de programación visual por la razón de que el programador tiene mucha más flexibilidad en el desarrollo del programa y esto produce un programa más flexible y fácil de usar.

En la primera etapa del desarrollo de DSLOG, se evaluaron todos los criterios mencionados anteriormente y, como conclusión, se eligió Microsoft Visual Basic.NET como el lenguaje de programación de DSLOG. Visual Basic.NET es un lenguaje de programación flexible y fácil para desarrollar un programa de ingeniería. Tiene capacidades muy fuertes que le dan al programador una gran flexibilidad para escribir el código del programa. Durante años, Visual Basic

generalmente no se consideraba un lenguaje muy profesional; sin embargo, con Visual Basic.NET, esta idea cambió de tal manera que la mayoría de los programadores avanzados ven a Visual Basic.NET como un lenguaje bien estructurado y orientado a objetos. Por lo tanto, no se debe considerar como la nueva versión de Visual Basic 6.0, se puede decir que es un lenguaje de programación totalmente nuevo debido a la cantidad de revisiones importantes.

Visual Basic.NET es un lenguaje completamente orientado a objetos. Las clases son el concepto principal de programación orientada a objetos que dan más abstracción sobre los módulos de código. En Visual Basic.NET, hay muchas clases predefinidas que le dan al programador la posibilidad de generar un programa muy visual y complicado. Además de estas clases predefinidas, el programador también puede escribir sus propias clases. DSLOG fue escrito de una manera completamente orientada a objetos de modo que todo el código se abstraiga como clases. Esto hace que el programa sea más flexible tanto en uso como en desarrollo. En términos de punto de vista de ingeniería civil, el lenguaje es muy suficiente para manejar los algoritmos de diseño de estabilidad de espigones. En términos de velocidad, como se dijo anteriormente, el programa no se puede ver tan rápido como un programa desarrollado bajo C ++ debido a las características de lenguaje de Visual Basic.NET. Por otro lado, DSLOG no necesita grandes cantidades de tiempo de CPU, ya que no está codificado con un algoritmo que consume mucho tiempo de CPU. El programa fue desarrollado y probado en una PC con 500 MB de RAM y procesador Core i-3, 2.39 GHz.

Las pruebas dan resultados satisfactorios en términos de eficiencia de ejecución del programa. Una PC que tenga una configuración más baja también es suficiente para ejecutar el programa, siempre que un procesador Pentium con 256 MB de RAM sea mínimamente recomendado para un uso eficiente de su interfaz visual. El programa puede ejecutarse en cualquier entorno siempre que el marco .NET esté instalado en el sistema operativo. Por el momento, Microsoft admite sistemas operativos, Windows XP, Windows Vista, Windows 8.1 y Windows 10 para .NET Framework. En futuras versiones de Windows, se espera que Microsoft brinde soporte integrado para .NET Framework. ((Davis, 2002), (Pala, 2003), (Microsoft Corporation, 2002).

3.6.3. MÉTODOS NUMÉRICOS

A lo largo de los procesos de cálculo, muchas ecuaciones no lineales son necesarias para ser resueltas para las variables deseadas. Hay muchas técnicas numéricas en la literatura para encontrar las raíces de una ecuación no lineal. Los algoritmos más comunes que se utilizan en la programación de la computadora se pueden enumerar de la siguiente manera:

- Método de Pendiente
 - Método de Newton-Raphson
 - Método Secante

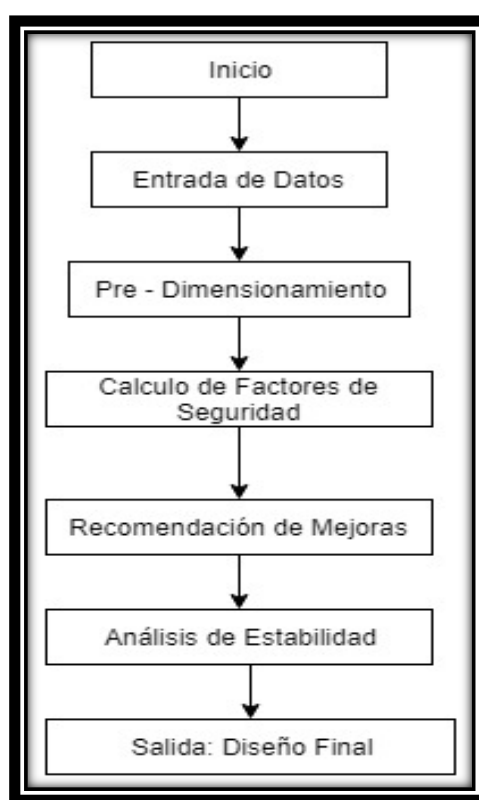


Figura 112: Diagrama de flujo del diseño de estabilidad de grandes estructuras de madera.
Fuente: Elaboración Propia.

Entre estos métodos, DSLOG implementa el método de Newton-Raphson para resolver las ecuaciones no lineales expresadas a través del diseño de espigones. La razón detrás de esta elección es que el método de Newton-Raphson converge a la raíz más rápido en comparación con los métodos de bisección.

Todas las ecuaciones no lineales pueden resolverse utilizando el método de Newton-Raphson siempre que la ecuación relacionada en sí misma junto con sus derivadas primera y segunda sean funciones continuas sobre el rango de sus raíces.

3.6.4. MARCO DEL PROGRAMA

a) Programa Principal

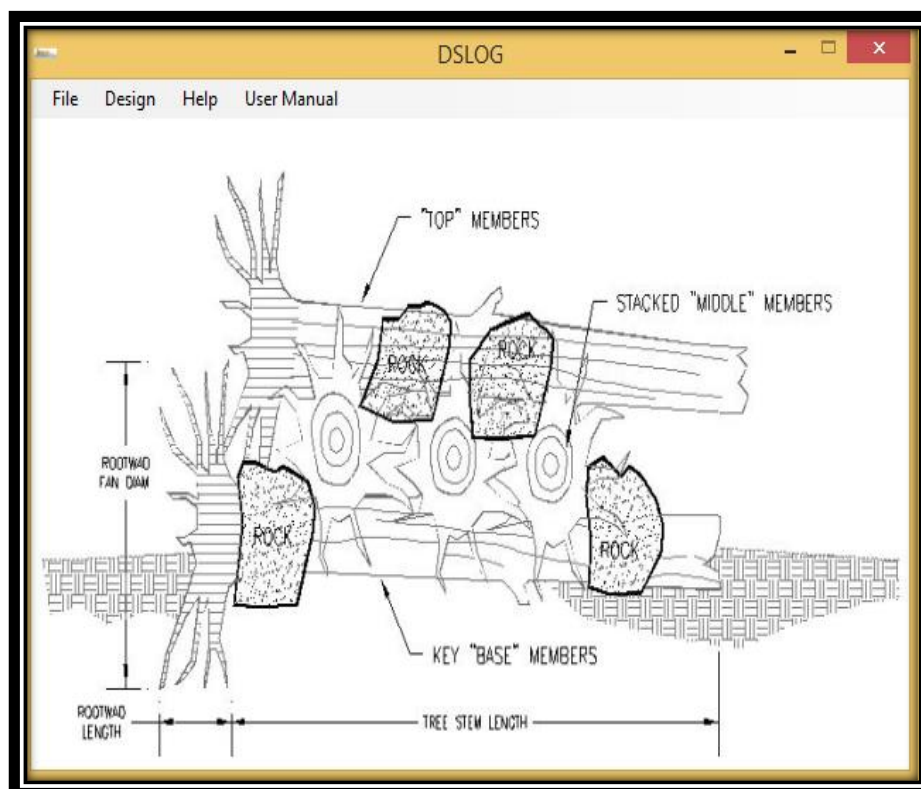


Figura 113: Interfaz del inicio del Programa DSLOG.

Fuente: Elaboración Propia.

Este es la ventana de inicio en la cual incluye los siguientes componentes:

File: contiene un sub menú de salida (Exit) que sirve para cerrar el programa.

Design: contiene los diferentes criterios de diseño por diversos autores, como por ejemplo de Brooks, Knutson y Fealko, Wright, TS 14J y por el Laboratorio Nacional de Hidráulica (LNH).

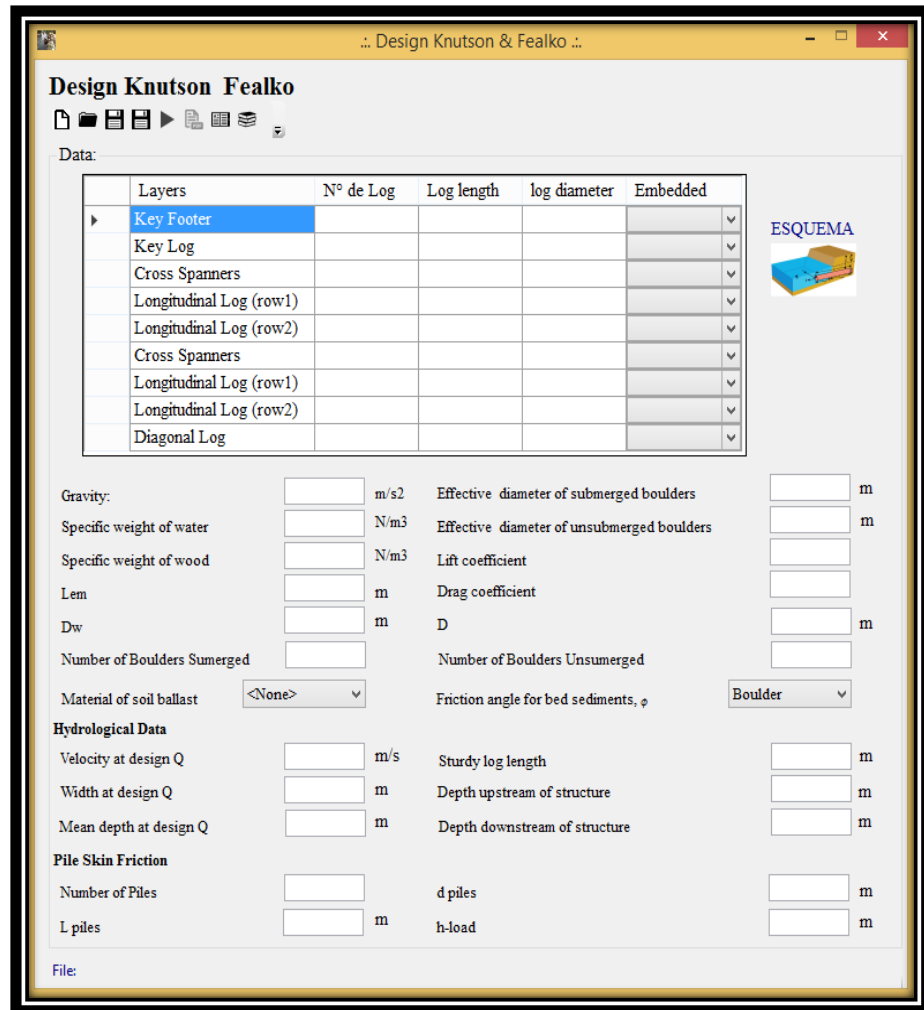
Help: contiene las referencias “Papers” de donde fue sacada la base teórica para cada diseño. Y la pestaña “About DSLOG” trata sobre que es el programa.

User Manual: contiene los manuales de uso para todos los criterios de diseño.

a.1) Criterios de Diseño

El programa cuenta con cinco criterios de diseño de diferentes autores.

Los autores son Knutson y Fealko, Brooks, Wright, Technical Supplement 14J y por el Laboratorio Nacional de Hidráulica.



.. Design Knutson & Fealko ..

Design Knutson Fealko

Data:

Layers	N° de Log	Log length	log diameter	Embedded
Key Footer				
Key Log				
Cross Spanners				
Longitudinal Log (row1)				
Longitudinal Log (row2)				
Cross Spanners				
Longitudinal Log (row1)				
Longitudinal Log (row2)				
Diagonal Log				

ESQUEMA

Gravity: m/s² Effective diameter of submerged boulders m

Specific weight of water N/m³ Effective diameter of unsubmerged boulders m

Specific weight of wood N/m³ Lift coefficient

Lem m Drag coefficient

Dw m D m

Number of Boulders Sumerged Number of Boulders Unsumerged

Material of soil ballast Friction angle for bed sediments, ϕ

Hydrological Data

Velocity at design Q m/s Sturdy log length m

Width at design Q m Depth upstream of structure m

Mean depth at design Q m Depth downstream of structure m

Pile Skin Friction

Number of Piles d piles m

L piles m h-load m

File:

Figura 114: Interfaz del diseño de Knutson y Fealko.

Fuente: Elaboración Propia.

Elegimos un criterio de diseño en este caso es de Knutson y Fealko en el cual requiere llenar los siguientes datos:

Datos sobre las dimensiones del tronco, en el cual contiene Troncos al pie del espigón, troncos principales, troncos cruzados y troncos longitudinales.

Los siguientes datos requeridos son datos de número de rocas sumergidas y no sumergidas y sobre la longitud de empotramiento que entra en promedio el espigón.

Por ultimo rellenamos los datos de hidráulica los cuales lo obtenemos de un modelamiento hidráulico para un determinado periodo de retorno.

En adicción si el diseño requiere mayores valores en los resultados de los factores de seguridad entonces podemos añadir pilotes al espigón.

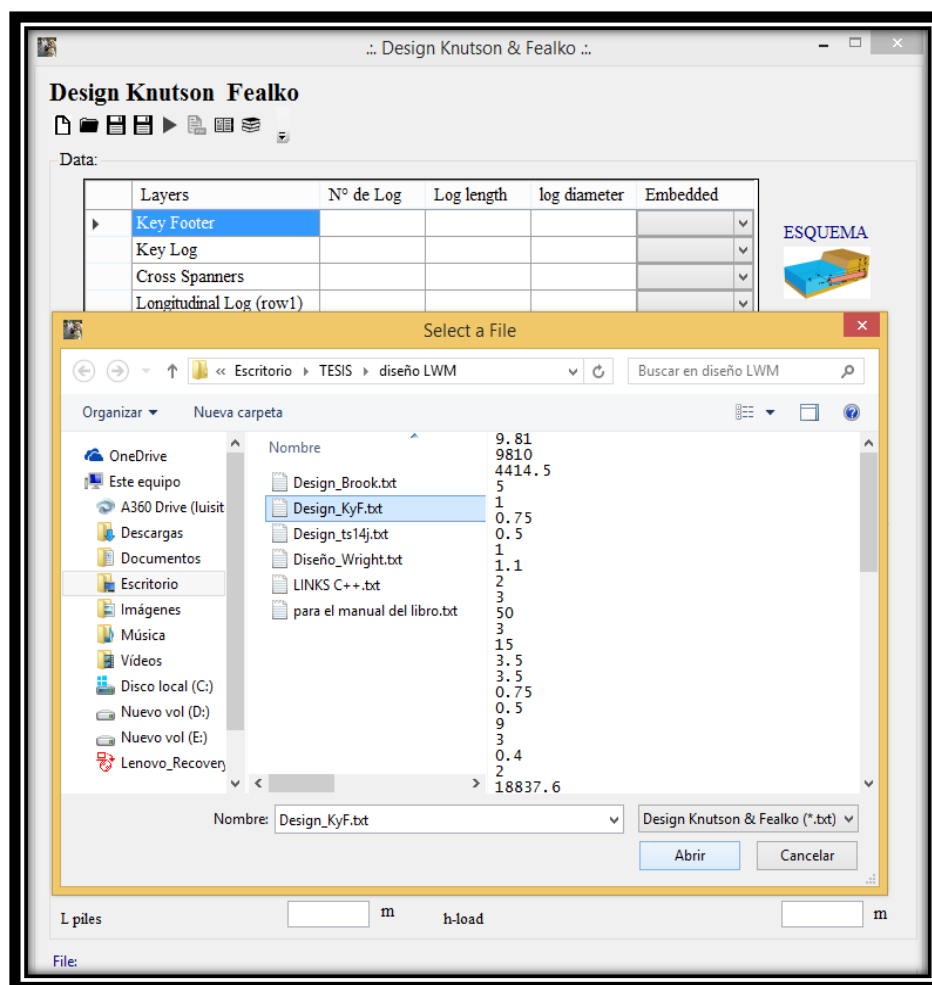


Figura 115: Abriendo un archivo formato .txt para el llenado de datos.
Fuente: Elaboración Propia.

El programa puede abrir archivos de texto (.txt), en la cual cada fila contiene el valor para determinada casilla requerida en el formulario del programa, tal como se ve en la figura 115.

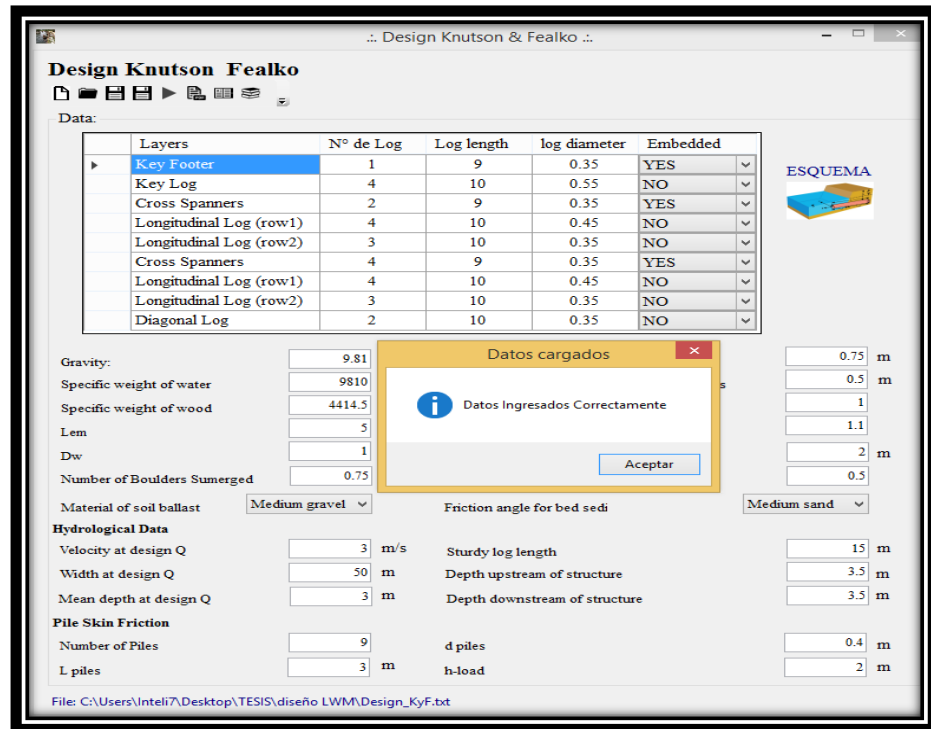


Figura 116: Corriendo el programa y cuadro de datos subidos correctamente.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez rellenado los datos le damos click en Run (flecha hacia la derecha) y corremos el programa, una vez finalizada nos sale un mensaje que nos dice “Datos Ingresados Correctamente” como vemos en la figura 116, para luego generar un reporte de los resultados obtenidos por el programa, vea figura 117 y figura 118 a la figura 122.

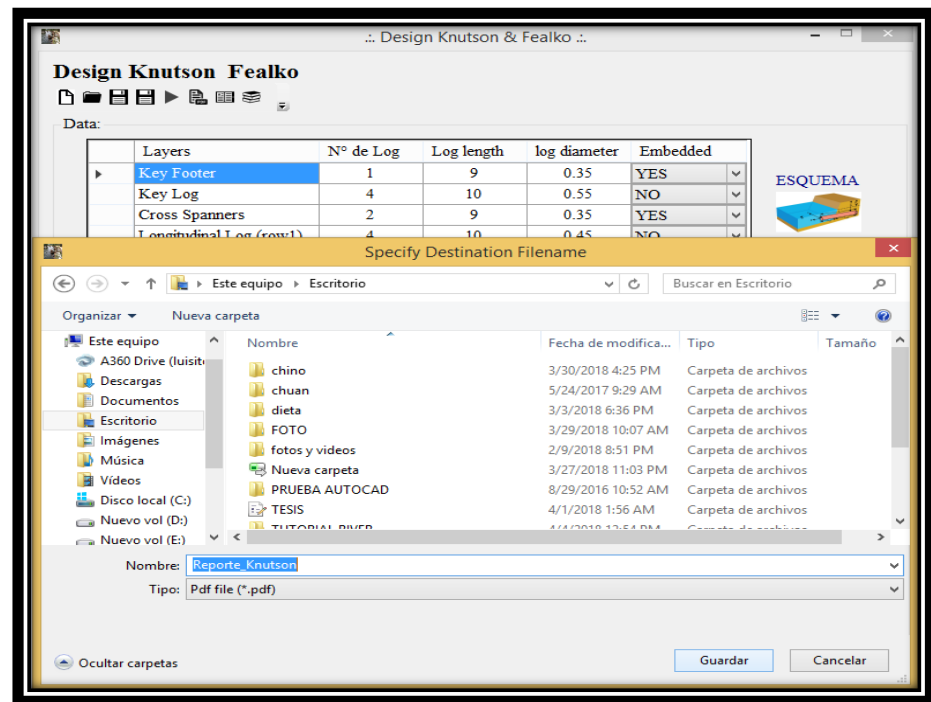


Figura 117: Destino del reporte del diseño de estabilidad.
Fuente: Elaboración Propia.

**Report
Design Knutson & Fealko**

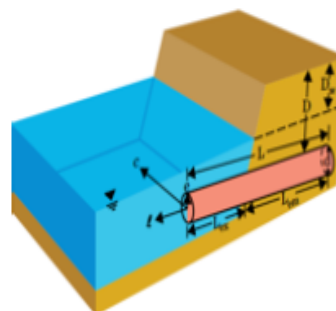
INPUT DATA

Layers	Nº de Logs	Log length	Log Diameter	Embedded
Key Footer	1	9	0.35	YES
Key Log	4	10	0.55	NO
Cross Spanners	2	9	0.35	YES
Longitudinal Log (row1)	4	10	0.45	NO
Longitudinal Log (row2)	3	10	0.35	NO
Cross Spanners	4	9	0.35	YES
Longitudinal Log (row1)	4	10	0.45	NO
Longitudinal Log (row2)	3	10	0.35	NO
Diagonal Log	2	10	0.35	NO

- Gravity = 9.81 [m/s²]
- Specific weight of water = 9810 [N/m³]
- Specific weight of wood = 4414.5 [N/m³]
- Specific weight of soil ballast = 18837.6 [N/m³]
- Fric. angle for bed sediments = 30 [degrees]
- Effec. diam. of submerged boulders = 0.75 [m]
- Effec. diam. of unsubmerged boulders = 0.5 [m]
- Number of Boulders Sumerged = 0.75
- Number of Boulders Unsumerged = 0.5

Using the scheme

- D = 2 [m]
- Lem = 5 [m]
- Dw = 1 [m]
- Lift coefficient = 1
- Drag coefficient = 1.1



Hydrological Data

- Velocity at design Q = 3 [m/s]
- Width at design Q = 50 [m]
- Mean depth at design Q = 3 [m]
- Sturdy log length = 15 [m]
- Depth upstream of structure = 3.5 [m]
- Depth downstream of structure = 3.5 [m]

Figura 118: Reporte de diseño de Knutson y Fealko – Parte 1.
Fuente: Elaboración Propia.

File Data									
Number of piles	=	9							
Long. pile	=	3 [m]							
Diam. pile	=	0.4 [m]							
h-load	=	2 [m]							
Results									
Layers	N° de Logs	Log length	Log Diameter	Log Radius	Log Volumes	Rootwad Radius	Rootwad thickness	Root Volumen	Acumulat ive Height
Key Footer	1	9	0.35	0.175	0.866	0.4375	0.7	0.14	0.35
Key Log	4	10	0.55	0.275	9.503	0.6875	1.1	2.178	0.9
Cross Spanners	2	9	0.35	0.175	1.732	0.4375	0.7	0.281	1.25
Longitudinal Log (row1)	4	10	0.45	0.225	6.362	0.5625	0.9	1.193	1.7
Longitudinal Log (row2)	3	10	0.35	0.175	2.886	0.4375	0.7	0.421	2.05
Cross Spanners	4	9	0.35	0.175	3.464	0.4375	0.7	0.561	2.4
Longitudinal Log (row1)	4	10	0.45	0.225	6.362	0.5625	0.9	1.193	2.85
Longitudinal Log (row2)	3	10	0.35	0.175	2.886	0.4375	0.7	0.421	3.2
Diagonal Log	2	10	0.35	0.175	1.924	0.4375	0.7	0.281	3.2
Total Log Volume	=	35.985 [m3]							
Total Rootwad Volume	=	6.669 [m3]							
Total Wood Volume	=	42.654 [m3]							
Structure Dimensions									
Width	=	5.5 [m]							
Height	=	3.2 [m]							
Length	=	10 [m]							
Structure Area *	=	13.2 [m3]							
Structure Volume	=	176 [m3]							
Structure Dimensions at River									
Area of flow	=	150 [m2]							
Area of structure increased to allow for trapping floating wood	=	52.5 [m2]							
Blockage ratio, B	=	0.35							
Area Downstream of structure	=	19.25 [m2]							
Area Upstream of structure	=	19.25 [m2]							
<small>* This area used to compute lift and drag , and so is the area of the structure in the plane normal to approach flow velocity that is exposed to flow. This formula assumes that the full height of the structure is exposed to flow because the buried portion has been scoured out. However, the full width is reduced by 0.75 to allow for the portion that remains buried in the bank</small>									

Figura 119: Reporte de diseño de Knutson y Fealko – Parte 2.
Fuente: Elaboración Propia.

Vertical Forces Analysis

Buoyant Force *

$$F_{LWMs} = V_{LWMs} * (Y_{wood} - Y_w)$$

Buoyant Force = 230139.657 [N]

Lift Force

$$F_L = \frac{-C_L * A_{LWM} * Y_w * U_o^2}{2 * g}$$

Lift Force = 59400 [N]

Boulder Ballast Force

$$Y_{boulder} = 2.65 * Y_w$$

$Y_{boulder} = 25996.5$ [N]

$$F_{bouldersub} = N_{bouldersub} * \frac{\pi}{6} * d_{bouldersub}^3 * (Y_{boulder} - Y_w)$$

$F_{bouldersub} = 2681.616$ [N]

$$F_{boulderdry} = N_{boulderdry} * \frac{\pi}{6} * d_{boulderdry}^3 * Y_{boulder}$$

$F_{boulderdry} = 850.733$ [N]

$$F_{boulder} = F_{bouldersub} + F_{boulderdry}$$

Boulder Ballast Force = 3532.35 [N]

Vertical Force due to soil over embedded logs

$$e = \frac{SG_{rock} * Y_w}{Y_{soil}} - 1 \quad e = 0.38$$

$$Y_{sat} = \frac{(SG_{rock} + e) * Y_w}{1 + e} \quad Y_{sat} = 21539.072$$
 [N]
$$Y'_{soil} = Y_{sat} - Y_w \quad Y'_{soil} = 11729.072$$
 [N]
$$V_{soilsub_i} = L_{ob_i} * d_{bole_i} * h_{soilsub_i}$$

$$V_{soildry_i} = L_{ob_i} * d_{bole_i} * h_{soildry_i}$$

$$F_{soil} = V_{soilsub_i} * Y_{soil} + V_{soildry_i} * Y'_{soil}$$

Force due soil over embedded logs = 374441.728 [N]

* Assuming structure is fully submerged.
Note that buoyant forces on piles are accounted for separately

Figura 120: Reporte de diseño de Knutson y Fealko – Parte 3.
Fuente: Elaboración Propia.

Pile skin friction

$$K_p = \frac{1 + \sin \alpha}{1 - \sin \alpha} \quad K_p = 3$$

$$K_o = 1 - \sin \alpha \quad K_o = 0.5$$

$$K_a = \tan^2(45 - \alpha/2) \quad K_a = 0.333$$

$$K_s = \frac{K_s + K_p + K_a}{3} \quad K_s = 1.278$$

$$O' = L_{\text{piles}} * (Y_{\text{sat}} - Y_w) \quad O' = 35187.215$$

$$F_{\text{piles-v}} = N_{\text{piles}} * \pi * d_{\text{piles}} * L_{\text{piles}} * (K_s * \tan \frac{2}{3} \alpha * O' + \frac{d_{\text{piles}}}{4} * (Y_{\text{wood}} - Y_w))$$

Pile Skin Friction = 536932.193 [N]

Buoyancy factor of safety

$$FOS_b = \frac{F_{\text{LWMd}} + F_{\text{boulders}} + F_{\text{soil}} + F_{\text{piles-v}}}{|F_{\text{LWMs}} + F_L|}$$

Factor of Safety Vertical = 3.16

Horizontal Forces Analysis

Drag Force

$$B = \frac{A_b}{A_b + A_c} \quad B = 2.367$$

$$C_{d\text{-applied}} = \frac{C_d}{(1 - B)^2} \quad C_{d\text{-applied}} = 2.604$$

$$F_d = \frac{C_D * A_{\text{LWM}} * Y_w * U_c^2}{2 * \xi}$$

Drag Force = 230139.657 [N]

Hydrostatic Force

$$F_{\text{hu}} = 0.5 * Y_w * Y_u * A_u$$

$$F_{\text{hd}} = -0.5 * Y_w * Y_d * A_d$$

$$F_H = F_{\text{hu}} - F_{\text{hd}}$$

Diff. Hydrostatic Force = 0 [N]

Normal Force

$$\mu_{\text{bed}} = \tan \alpha \quad \mu_{\text{bed}} = 0.577$$

Figura 121: Reporte de diseño de Knutson y Fealko – Parte 4.
Fuente: Elaboración Propia.

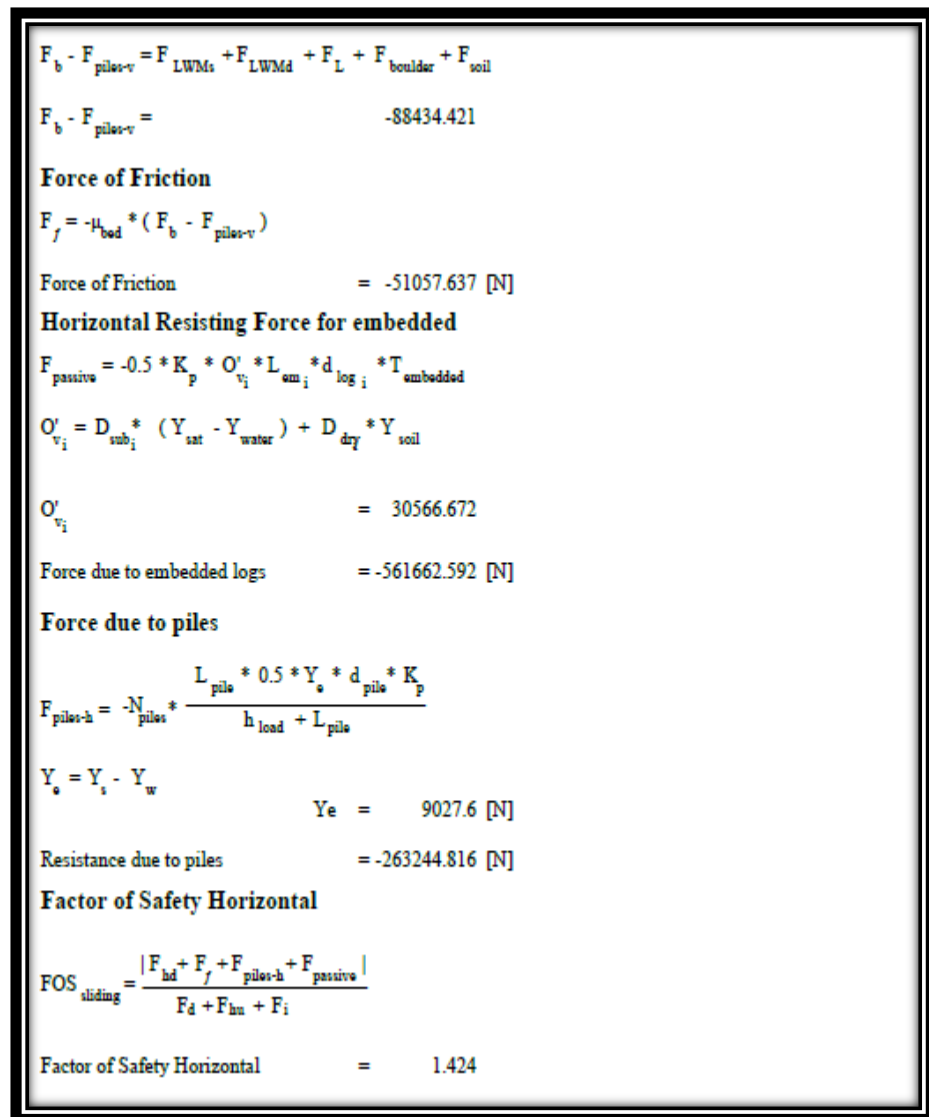


Figura 122: Reporte de diseño de Knutson y Fealko – Parte 5.
Fuente: Elaboración Propia.

El reporte presenta en la parte inicial los datos colocados por el usuario, para luego calcular los datos necesarios para llegar a obtener los resultados de las fuerzas que son las que actúan sobre la estructura, al final se hace un balance, con esto obtenemos un factor de seguridad tanto para la componente horizontal como vertical.

Como vemos esto es lo que puede realizar el programa y es el mismo procedimiento con los demás criterios, a continuación, mostramos la interfaz de diseño de todos los autores descritos anteriormente.

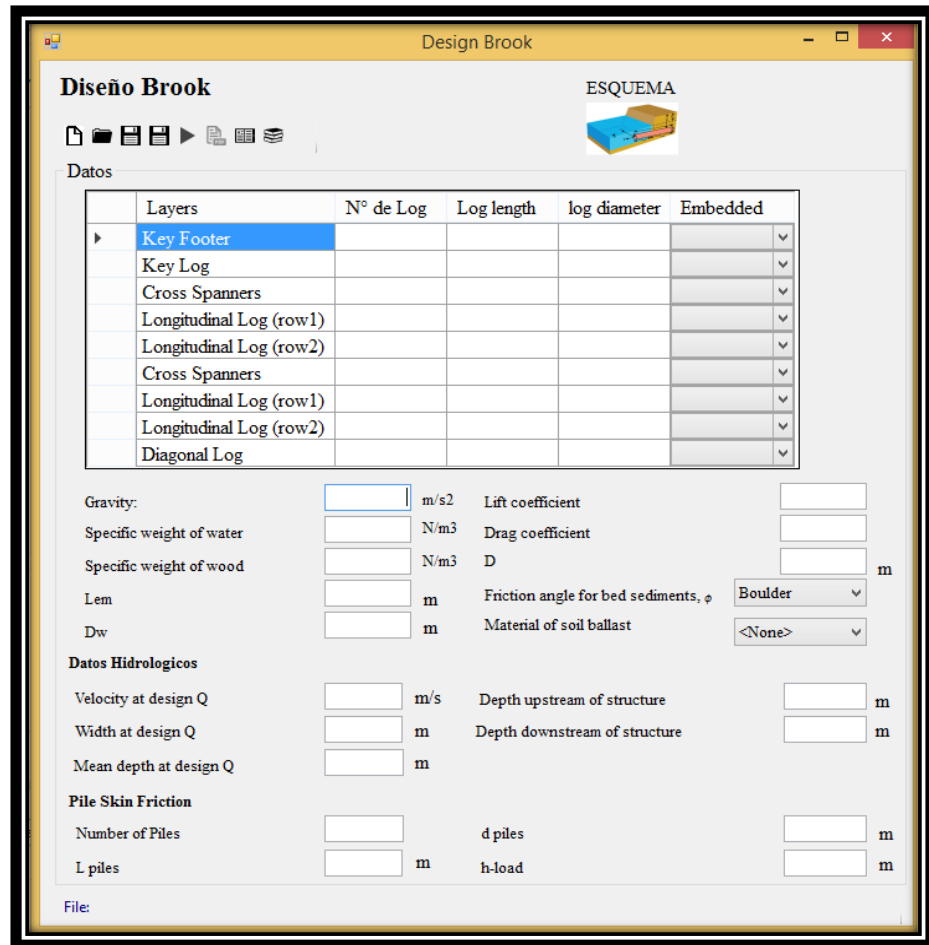


Figura 123: Interfaz de diseño de Brooks.
Fuente: Elaboración Propia.

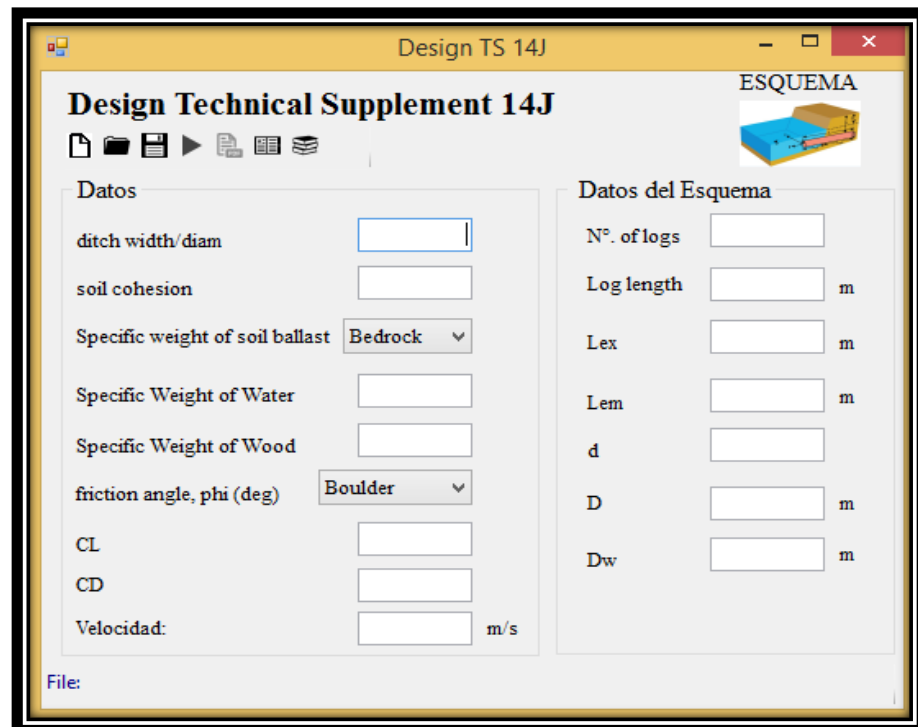


Figura 124: Interfaz de diseño de Technical Supplement 14J.
Fuente: Elaboración Propia.

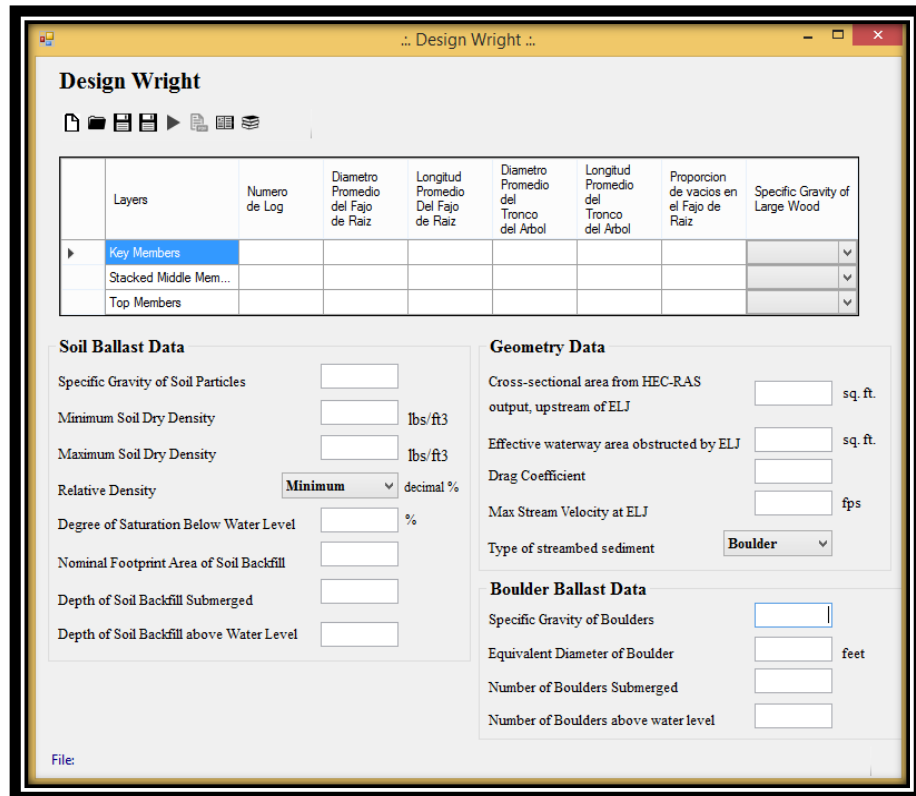


Figura 125: Interfaz de diseño de Wright.
Fuente: Elaboración Propia.

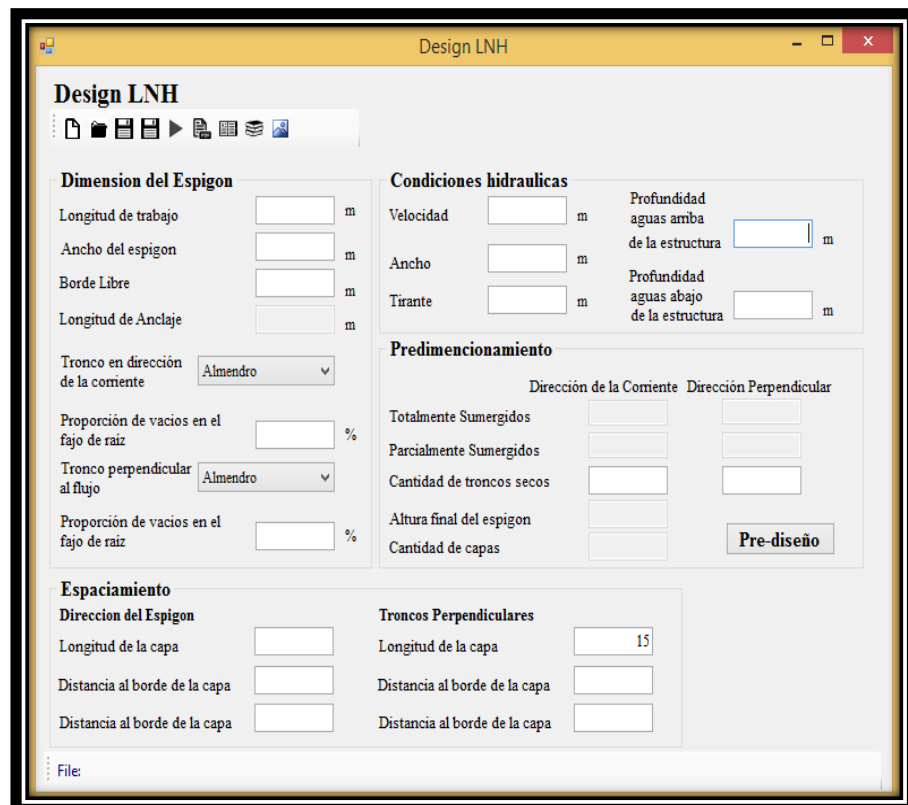


Figura 126: Interfaz de diseño del Laboratorio Nacional de Hidráulica.
Fuente: Elaboración Propia.

b) Capacidad del programa (limitaciones del programa)

DSLOG está desarrollado para realizar el diseño de estabilidad de espigones. El programa tiene la capacidad incorporada de resolver dos tipos diferentes de problemas en el tema de la estabilidad de los espigones y la permeabilidad:

1. El diseño general de los espigones,
2. Optimización de la cantidad de troncos a usar.

El programa fue codificado en muchos submódulos. Todos estos submódulos se ensamblan para realizar el diseño general de los espigones. Cada uno de estos submódulos está vinculado en el orden apropiado como se ve en el diagrama de flujo presentado en la Figura 112.

c) Interfaz Visual del Programa

DSLOG tiene una interfaz de usuario visual como un programa de computadora típico que funciona bajo el sistema operativo Microsoft Windows. La interfaz de usuario general del programa se compone de tres grupos:

1. Interfaz de usuario relacionada con los datos de entrada,
2. Interfaz de usuario relacionada con el proceso de cálculo,
3. Interfaz de usuario relacionada con las salidas (resultados).

3.7.PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS

Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio nacional de hidráulica, se procedió a realizar 6 ensayos las cuales tuvieron las siguientes características:

- **Ensayo 01:** En este ensayo se simuló un caudal de $8000 \text{ m}^3/\text{s}$ en prototipo que vendría hacer 286.88 l/s . Se realizaron todas las pruebas respectivas, pero como era nuestra primera vez en un modelo físico, no leímos las mediciones con una confiabilidad de resultados óptimo por lo cual decidimos anular este ensayo.
- **Ensayo 02:** Se simuló un caudal de $14341 \text{ m}^3/\text{s}$ en prototipo que vendría hacer 514.28 l/s . En este ensayo no se colocó espigones por lo que solo se quería obtener resultados de cambio de geomorfología del río por el efecto del propio caudal de avenida. Realizamos las todas las pruebas (lecturas de velocidades, lecturas de tirantes, control aéreo con el Drone y colocación de fluoresceína y tecnopor). A

partir de ahora en adelante para esta tesis este será el Ensayo 1, que será representado como “X01” y así sucesivamente para cada respectivo ensayo.

- **Ensayo 03:** En este ensayo se modelo el mismo caudal que para el Ensayo 2 con la diferencia que se colocaron 12 espigones. Ver anexo 11.

También realizamos todas las mediciones que en el anterior ensayo con la diferencia que se midió velocidades aguas arriba de cada espigón, en la parte central del espigón y aguas abajo de cada espigón.

- **Ensayo 04:** Este ensayo es similar al Ensayo 3 con un ligero cambio, colocamos 11 espigones.
- **Ensayo 05:** En este ensayo se quitó los espigones y se replanteo nuevamente el lecho, para peculiaridad de este ensayo es que se colocó sedimento el cual es estudiado por la tesista Magaly Cusipuma Ayuque.
- **Ensayo 06:** En este último ensayo, modificamos el número de espigones a 12 y procedimos hacer las mismas mediciones como en el Ensayo 3.

En esta presente tesis solo hacemos uso de los datos del Ensayo 1, Ensayo 3, Ensayo 4 y Ensayo 6.

Cabe recalcar que los ensayos se realizaron con un caudal de 514.28 l/s, pero en los ensayos 1, ensayo 3, ensayo 4 tuvimos una deficiencia con el motor de la bomba que abastecía un promedio de 30 l/s por lo que el caudal que tenía el modelo era de aproximadamente 484 l/s en el cual afectaba en algunas mediciones, pero en el ensayo 6 se contó con una bomba nueva por lo que este ensayo si contaba con los 514.28 l/s completos. Es por esto que en algunas mediciones las velocidades aumentan un poco, pero la diferencia no es mucho, pero es necesario saberlo.

Después de tener el modelo replanteado, vamos a realizar los siguientes pasos:

3.7.1. APERTURA DE VÁLVULAS

El modelo cuenta con 2 vertederos rectangulares los cuales son los abastecedores del modelo. Estos cuentan con dos limnímetros para poder medir el caudal que aporta cada vertedero.

El aporte al canal se va dando poco a poco, no de golpe, ya que el esfuerzo cortante generado por el flujo de golpe puede producir una erosión que no sea la verdadera, por eso se abastecía poco a poco de acuerdo a un hidrograma de caudales.

Tabla 23: Caudales en prototipo y modelo utilizados en los ensayos.

Caudal en el Prototipo	Tiempo	Nivel de agua	Caudal en el Modelo	Tiempo de inicio
m ³ /s	h	m.s.n.m.	l/s	h
1790	4.5	171.43	64.19	02:35:00 AM
4140	9.0	173.74	148.46	03:10:00 AM
6810	13.5	176.09	244.21	03:45:00 AM
9500	18.0	178.18	340.68	04:20:00 AM
11910	22.5	179.79	427.10	04:55:00 AM
12997	27.0	180.45	466.08	05:25:00 AM
14341	31.5	181.19	514.28	06:00:00 AM

Fuente: Memoria descriptiva del diseño de defensas riberas zona La Pastora, PRZ Ingenieros SAC.

Los ensayos se iniciaron a las 02:35 am con un caudal de 64.19 l/s hasta llegar al caudal de estudio que es de 514.28 l/s equivalente a 14341 m³/s.

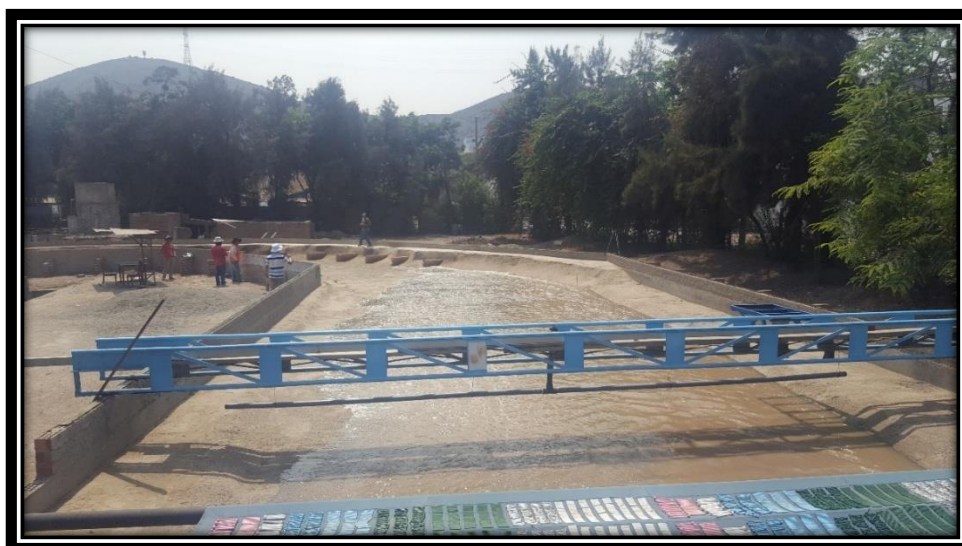


Figura 127: Inicio del ensayo con un caudal de 64.19 L/s.

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez llegado al caudal de estudio, procedemos a calibrar el modelo con un punto llamado “C-1” el cual tiene una cota de 181.17 m.s.n.m., ver figura 129:

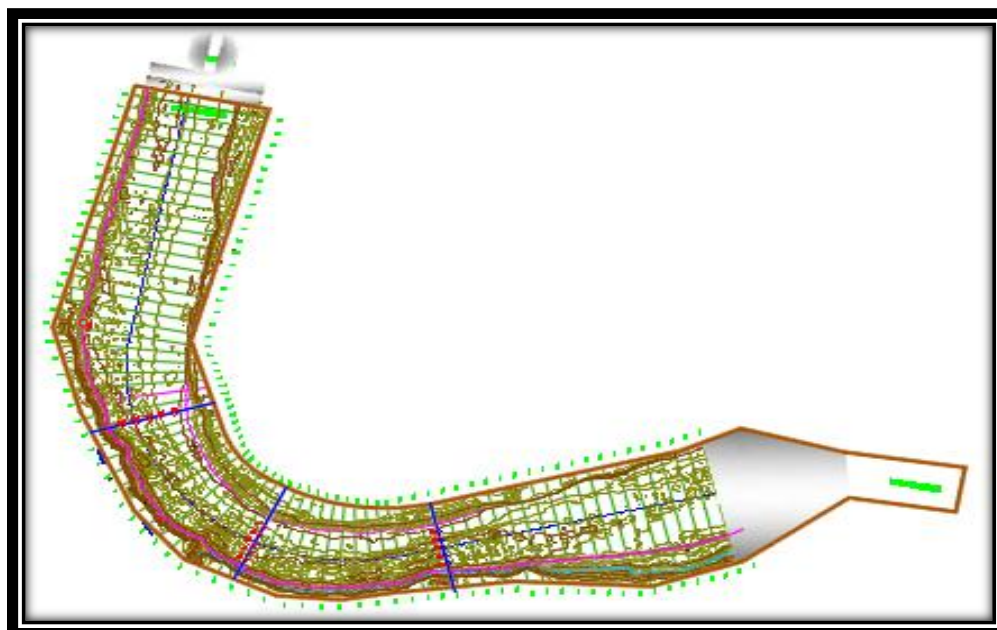


Figura 128: Plano en planta del modelo "La Pastora".
Fuente: Elaboración Propia.

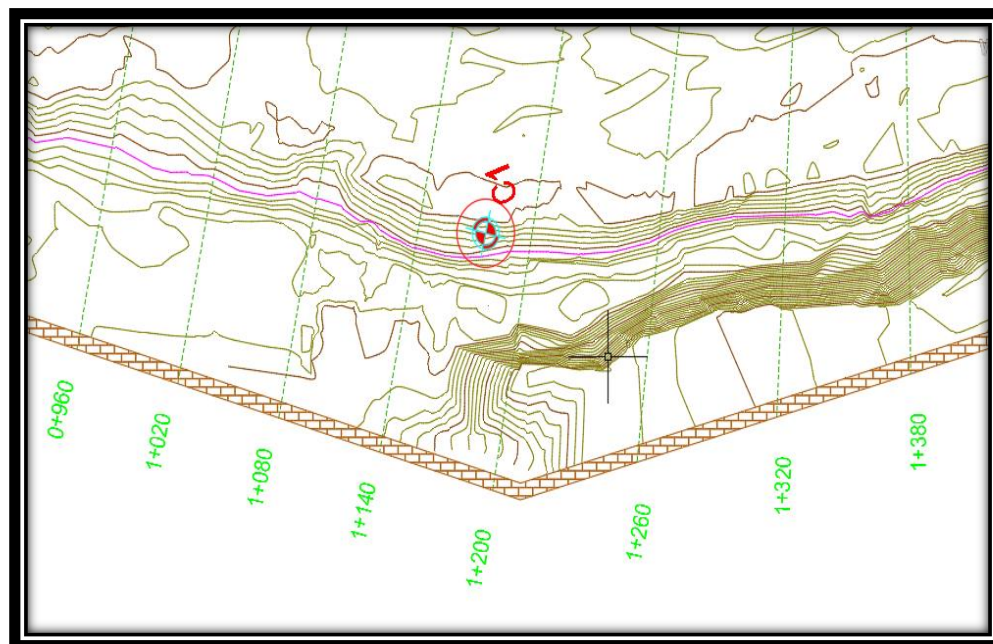


Figura 129: Ubicación del Punto C-1, para calibración del modelo.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24: Coordenadas UTM del punto C-1 en prototipo.

Punto de Control	Norte (m)	Este (m)	Nivel (m)
C-1	8608850	476481	181.17

Fuente: Memoria descriptiva del diseño de defensas riberas zona La Pastora, PRZ Ingenieros SAC.

Para la calibración del punto "C-1" colocábamos tablas en la parte aguas abajo en toda la sección transversal para poder subir el nivel del agua hasta llegar a la cota requerida, luego se marca colocando una mira sobre el punto estacado y con un

nivel de ingeniero se verificará el nivel de referencia que posea según los puntos de referencia contenidos en el modelo. (Ver Figura 130)

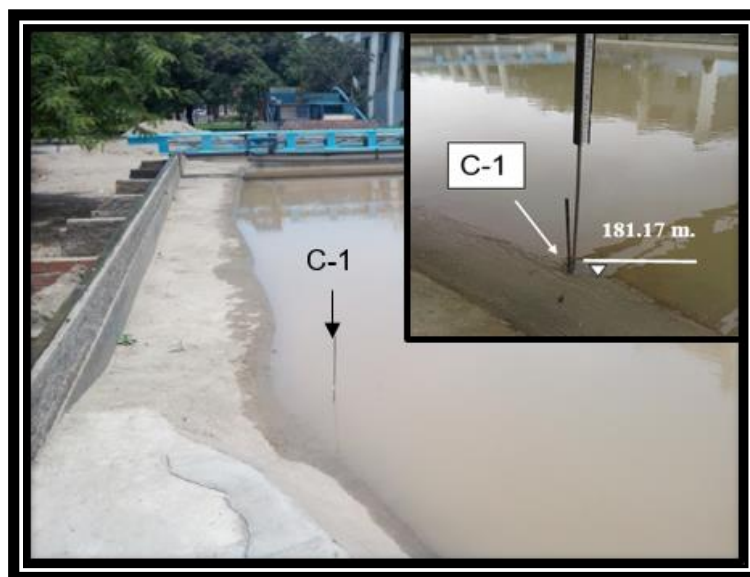


Figura 130: Punto C-1 en el modelo físico calibrado.
Fuente: Elaboración Propia.

3.7.2. LECTURA DE TIRANTES

Una vez terminado la calibración, ahora se procede a hacer mediciones de tirantes en las secciones de color azul que mostraremos adelante (Ver figura 131). Tomando en cuenta los puntos de referencia para los trabajos de replanteo y lectura de niveles (ver Tabla 25).

Tabla 25: Puntos de referencia en prototipo.

PUNTO	COTA (msnm.)	ESTE (m.)	NORTE (m.)
BM5	207.6125	476142.85	8610217.06
BM3	211.8594	476151.33	8610194.08
BM2	152.6531	476127.21	8610184.58
BM1	156.8913	476132.51	8610198.63
BM4	207.6125	476154.61	8610223.79
A	--	477036.438	8609635.95

Fuente: Odebrecht Latinvest Operación y Mantenimiento SAC.

Estos puntos de referencia se muestran en la siguiente figura.

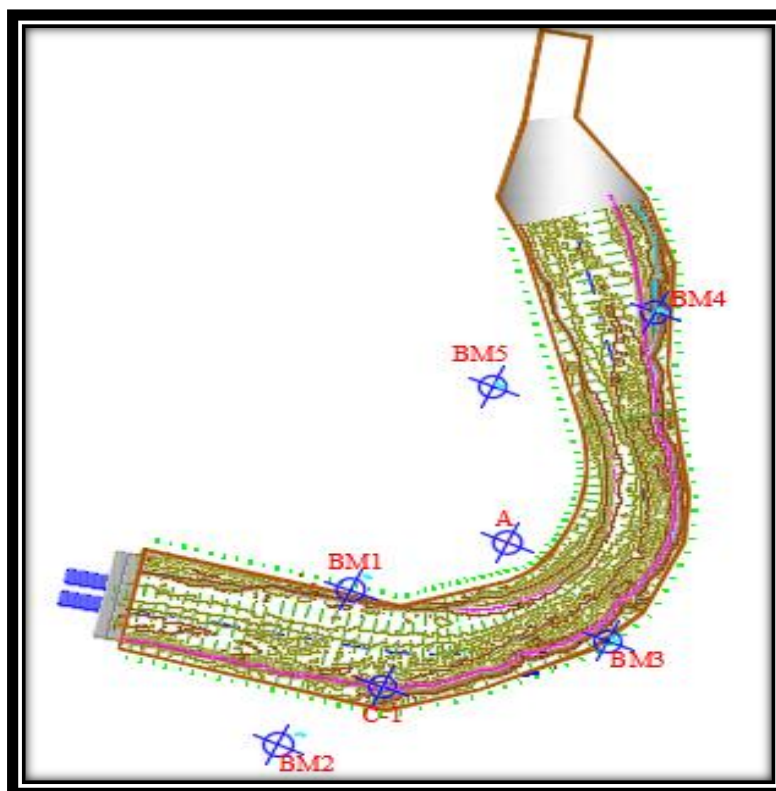


Figura 131: Puntos de referencias del modelo físico.
Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta las referencias se procede hacer las mediciones de los tirantes: se colocó el nivel de ingeniero al exterior del modelo cerca de la sección de lectura, luego se procede a lectura el BM más cercano y después se procede anotar las lecturas medidas, para luego ser calculadas en gabinete los niveles a cota en m.s.n.m.

A continuación, se muestra las secciones y los cuadros de distancias que le corresponde a cada punto de lectura. La distancia inicia desde el borde del muro del margen derecho del modelo.

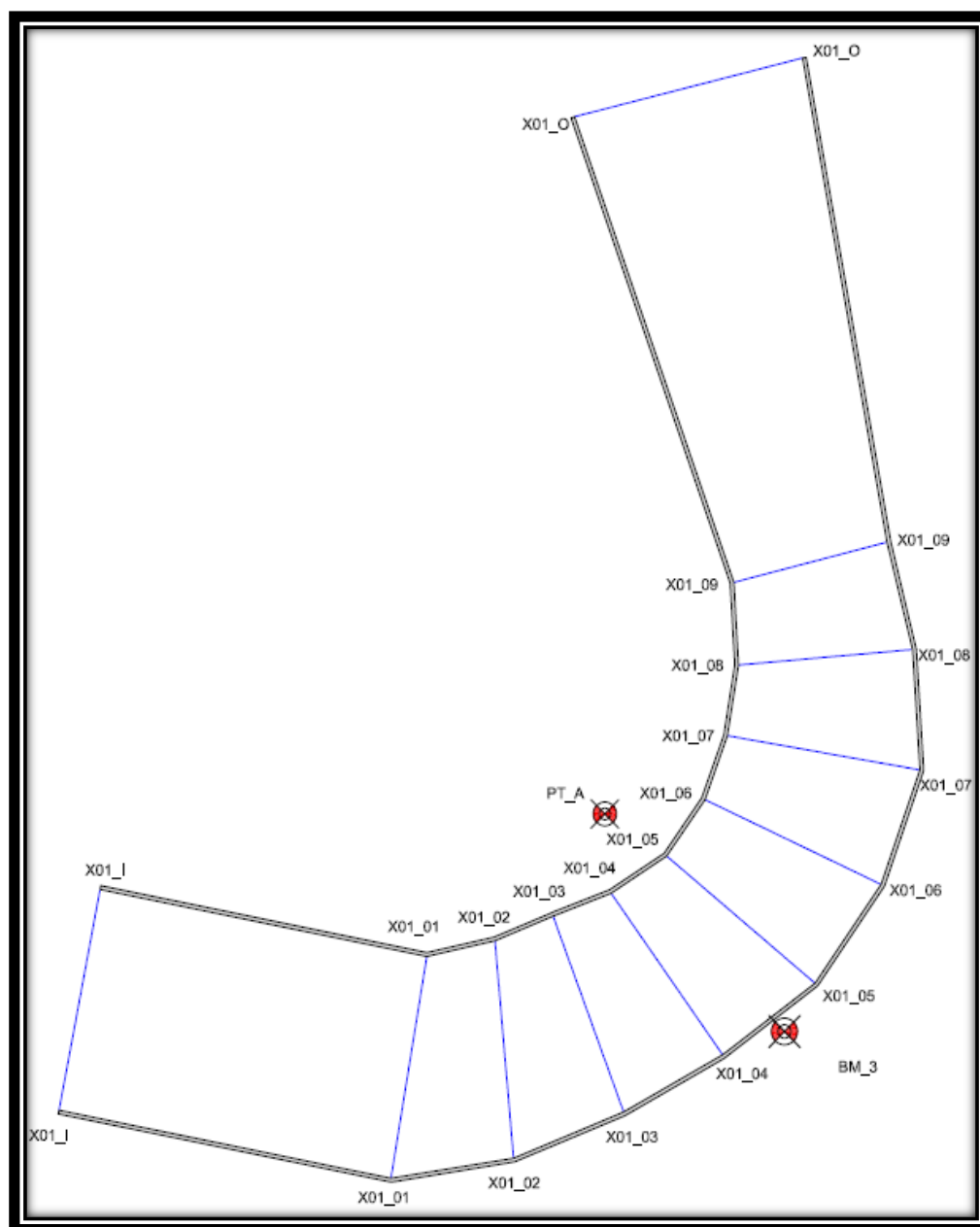


Figura 132: Plano de secciones normales, ensayo 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Las siglas X01_I significan sección a la entrada del modelo.

Las siglas X01_0 significan sección de salida del modelo.

Las siglas X01_01 significan X01 ensayo 01 y _01 sección 01 de dicho ensayo y así sucesivamente hasta llegar a la sección 09.

El borde de muro con distancia 0.00 m es la línea de color plomo de la parte interna del modelo.

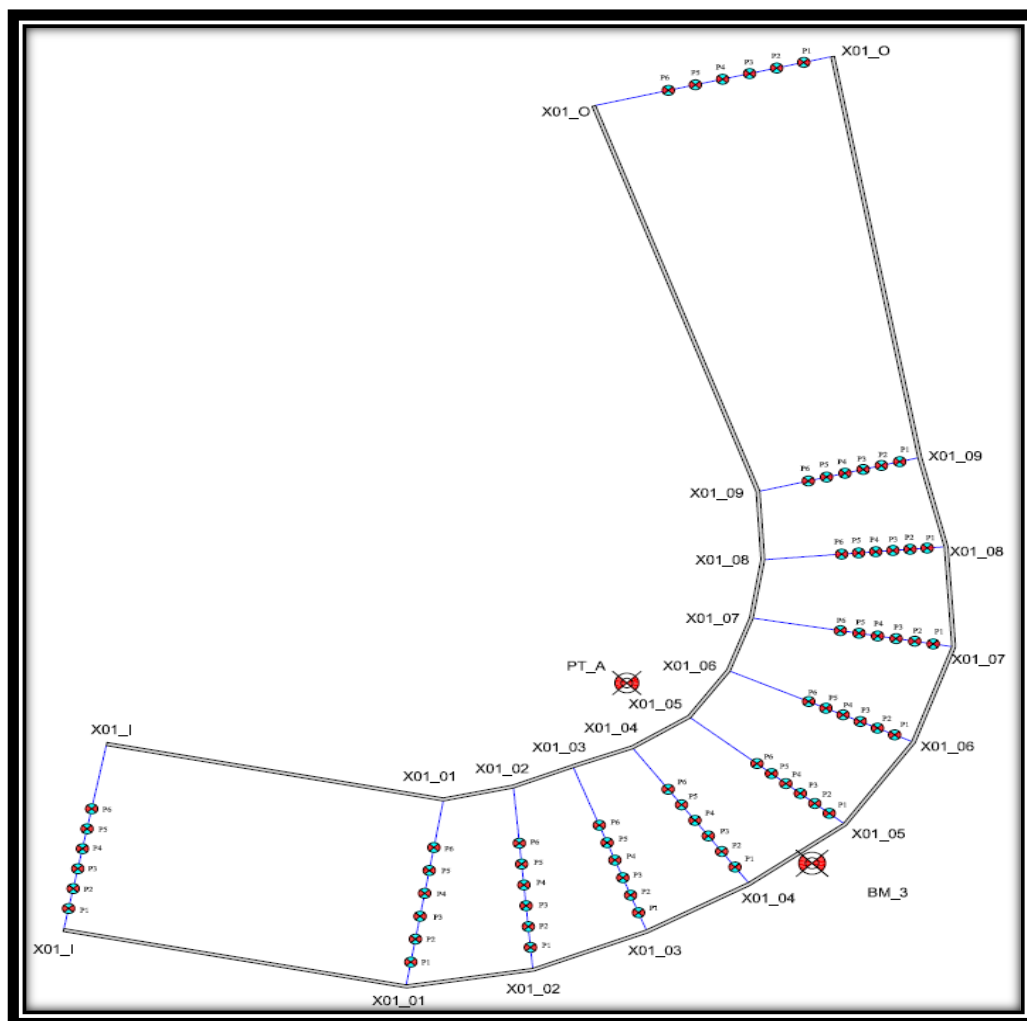


Figura 133: Puntos de lectura de secciones normal – Ensayo 01.
Fuente: Elaboración Propia.

Puntos del ensayo 1, la cual se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 26: Distancia de los puntos para cada sección – Ensayo 1.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
X01_I	0.995	1.99	2.985	3.98	4.975	5.97
X01_01	1.137	2.274	3.411	4.548	5.685	6.822
X01_02	1.025	2.05	3.075	4.1	5.125	6.15
X01_03	0.912	1.824	2.736	3.648	4.56	5.472
X01_04	0.934	1.868	2.802	3.736	4.67	5.604
X01_05	0.76	1.52	2.28	3.04	3.8	4.56
X01_06	0.767	1.534	2.301	3.068	3.835	4.602
X01_07	0.761	1.522	2.283	3.044	3.805	4.566
X01_08	0.694	1.388	2.082	2.776	3.47	4.164
X01_09	0.762	1.524	2.286	3.048	3.81	4.572
X01_O	1.128	2.256	3.384	4.512	5.64	6.768

Fuente: Elaboración Propia.

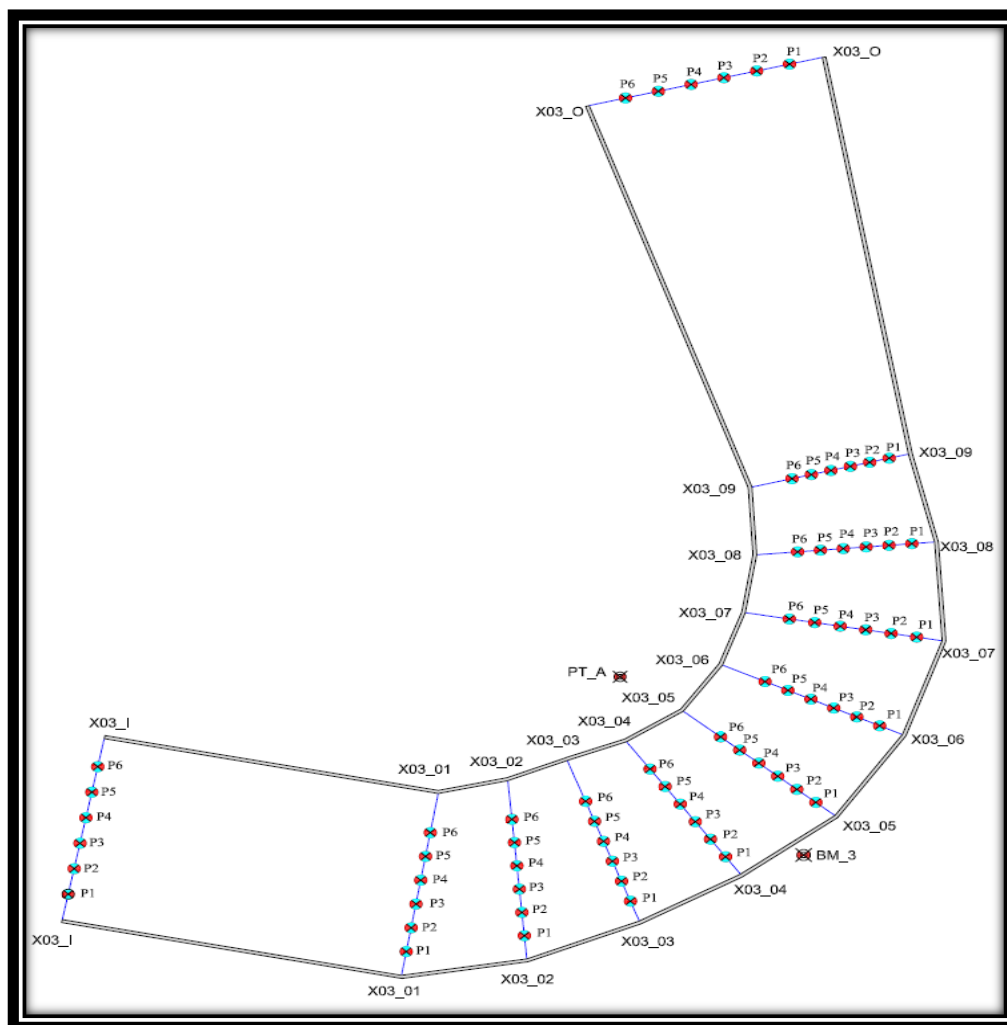


Figura 134: Puntos de lectura de secciones normal – Ensayo 03.
Fuente: Elaboración Propia.

Puntos del ensayo 3, la cual se resumen en este cuadro:

Tabla 27: Distancia de los puntos para cada sección – Ensayo 3.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
X03_I	1.285	2.57	3.855	5.14	6.425	7.71
X03_01	1.194	2.388	3.582	4.776	5.97	7.164
X03_02	1.157	2.314	3.471	4.628	5.785	6.942
X03_03	1.054	2.108	3.162	4.216	5.27	6.324
X03_04	1.064	2.128	3.192	4.256	5.32	6.384
X03_05	1.012	2.024	3.036	4.048	5.06	6.072
X03_06	1.032	2.064	3.096	4.128	5.16	6.192
X03_07	1.054	2.108	3.162	4.216	5.27	6.324
X03_08	0.935	1.87	2.805	3.74	4.675	5.61
X03_09	0.818	1.636	2.454	3.272	4.09	4.908
X03_O	1.378	2.756	4.134	5.512	6.89	8.268

Fuente: Elaboración Propia.

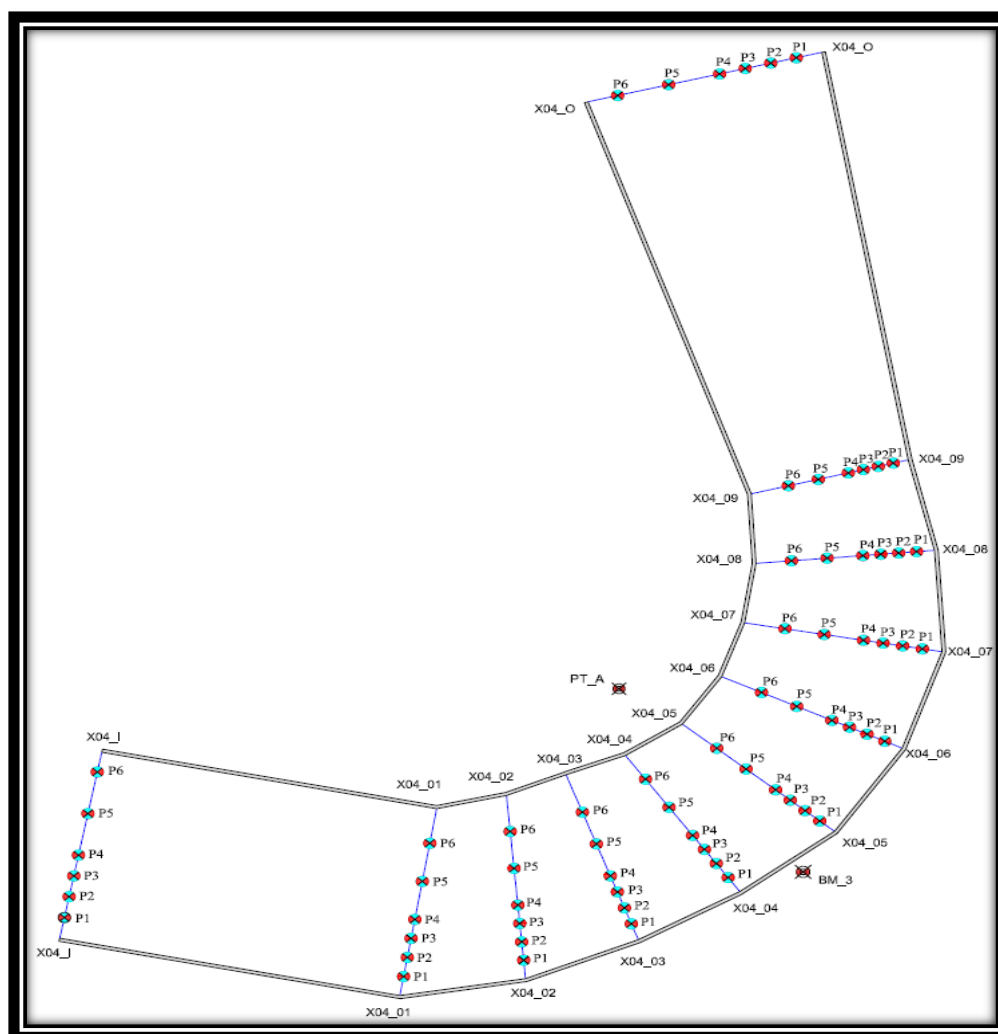


Figura 135: Puntos de lectura de secciones normal – Ensayo 04.
Fuente: Elaboración Propia.

Puntos del ensayo 4, la cual se resumen en este cuadro:

Tabla 28: Distancia de los puntos para cada sección – Ensayo 4.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
X04_I	1.02	2.04	3.06	4.08	6.12	8.16
X04_01	0.93	1.86	2.79	3.72	5.58	7.44
X04_02	0.89	1.78	2.67	3.56	5.34	7.12
X04_03	0.82	1.64	2.46	3.28	4.92	6.56
X04_04	0.83	1.66	2.49	3.32	4.98	6.64
X04_05	0.78	1.56	2.34	3.12	4.68	6.24
X04_06	0.79	1.58	2.37	3.16	4.74	6.32
X04_07	0.81	1.62	2.43	3.24	4.86	6.48
X04_08	0.73	1.46	2.19	2.92	4.38	5.84
X04_09	0.63	1.26	1.89	2.52	3.78	5.04
X04_O	1.07	2.14	3.21	4.28	6.42	8.56

Fuente: Elaboración Propia.

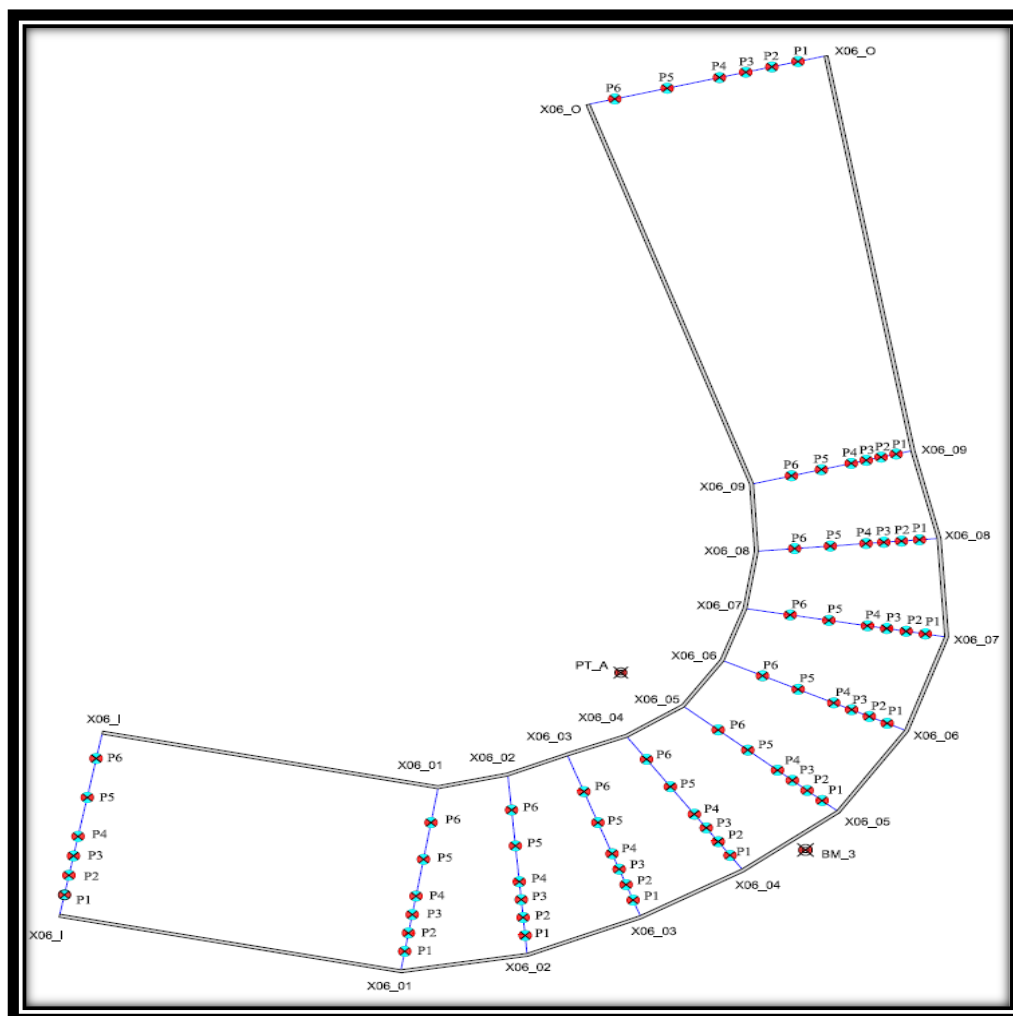


Figura 136: Puntos de lectura de secciones normal – Ensayo 06.
Fuente: Elaboración Propia.

Puntos del ensayo 6, la cual se resumen en este cuadro:

Tabla 29: Distancia de los puntos para cada sección – Ensayo 6.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
X06_I	0.986	1.972	2.958	3.944	5.916	7.888
X06_01	0.928	1.856	2.784	3.712	5.568	7.424
X06_02	0.895	1.79	2.685	3.58	5.37	7.16
X06_03	0.823	1.646	2.469	3.292	4.938	6.584
X06_04	0.837	1.674	2.511	3.348	5.022	6.696
X06_05	0.784	1.568	2.352	3.136	4.704	6.272
X06_06	0.797	1.594	2.391	3.188	4.782	6.376
X06_07	0.795	1.59	2.385	3.18	4.77	6.36
X06_08	0.725	1.45	2.175	2.9	4.35	5.8
X06_09	0.625	1.25	1.875	2.5	3.75	5
X06_O	1.094	2.188	3.282	4.376	6.564	8.752

Fuente: Elaboración Propia.

En estas secciones serán medidos velocidades y tirantes para todos los ensayos realizados.



Figura 137: Lectura de BM3 para la obtención de niveles de agua en el modelo físico.
Fuente: Elaboración Propia.

3.7.3. LECTURA DE VELOCIDADES

Las velocidades serán medidas con el equipo Sonda Vetrino – Nortek AS. Lo cual se hizo de la siguiente manera: me coloqué en un puente habilitado con una silla movable para hacer las mediciones, tal como se ve en la siguiente figura.



Figura 138: Puente metálico con silla movable.
Fuente: Elaboración Propia.

Una vez colocado la silla movable comenzamos las mediciones en los puntos asignados la cual vimos en la figura 133, figura 134, figura 135 y figura 136, las

mediciones se realizarán de la siguiente manera: primero nos colocábamos en el punto destinado y luego colocamos el vectrino a 3.5 cm del fondo del lecho e íbamos subiendo cada 3.5 cm permaneciendo unos 5 a 10 segundos para hacer la recopilación de datos en la computadora hasta llegar al espejo del agua.



Figura 139: Lectura de velocidades con Vectrino.

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez terminada las lecturas en el punto se continuaba con los puntos siguientes de cada sección (6 puntos por sección). La medición también se hizo en los espigones tanto aguas arriba, en el medio del espigón y aguas abajo del espigón.

Las lecturas de velocidades de los espigones lo realizábamos en los siguientes puntos.

El análisis de los resultados de estas mediciones se detalla en el proyecto “Espigones fabricados con troncos de árboles: una alternativa contra la erosión en ríos meándricos”.

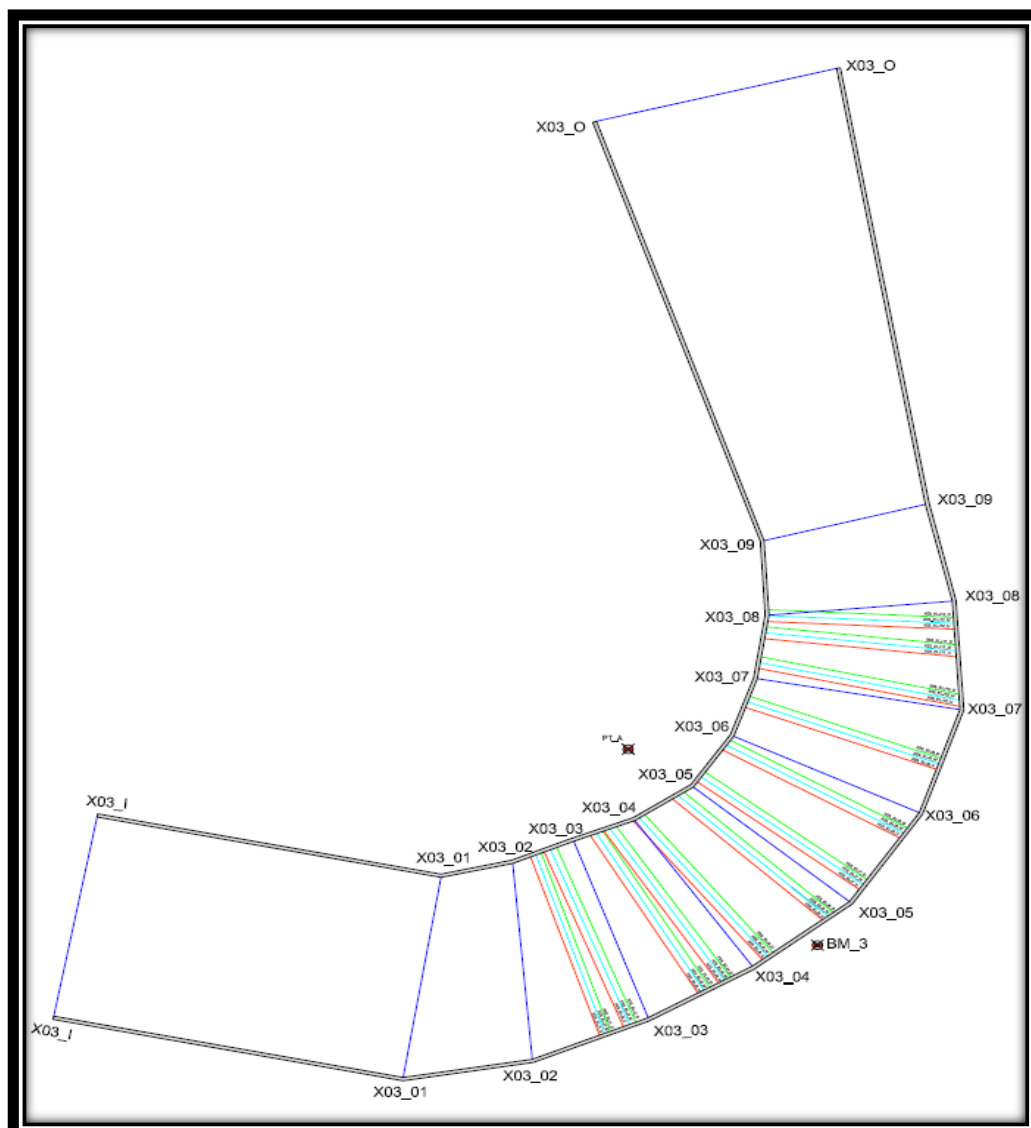


Figura 140: Plano de secciones de mediciones de velocidades de los espigones, ensayo3.
Fuente: Elaboración Propia.

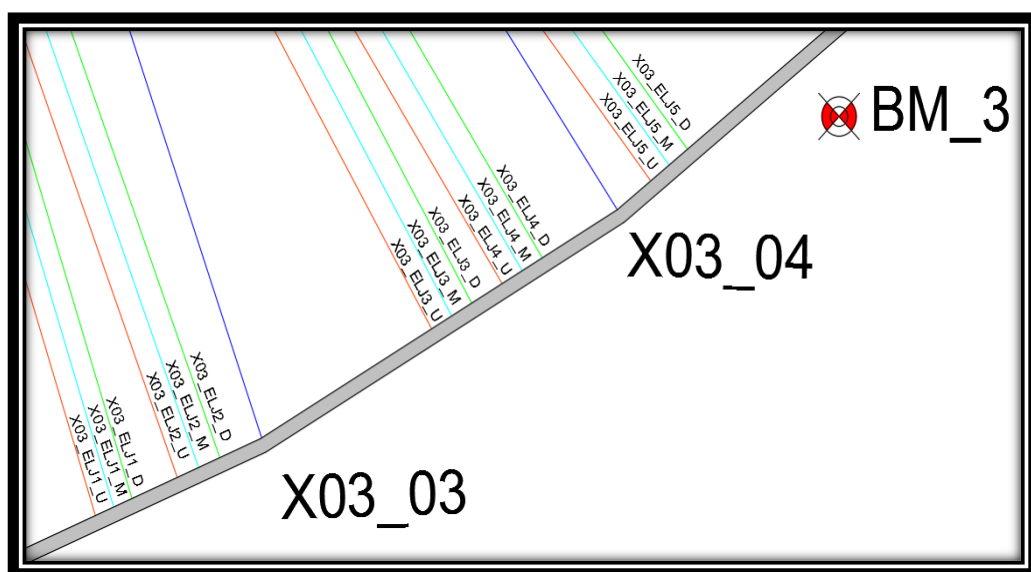


Figura 141: Detalle de las siglas de las secciones para medición de velocidades en los espigones.
Fuente: Elaboración Propia.

La sigla X03_I significa sección de entrada del ensayo 3.

La sigla X03_O significa sección de salida del ensayo 3.

La línea de color naranja es la sección aguas arriba de cada espigón.

La línea de color celeste es el centro de cada espigón.

La línea de color verde es la sección aguas debajo de cada espigón.

La sigla X03_ELJ1_U significa sección aguas arriba del espigón 1.

La sigla X03_ELJ1_M significa sección del centro del espigón 1.

La sigla X03_ELJ1_D significa sección aguas abajo del espigón 1.

El espigón 1 y 2 se encuentra entre la sección X03_02 Y X03_03.

El espigón 3 y 4 se encuentra entre la sección X03_03 Y X03_04.

El espigón 5 y 6 se encuentra entre la sección X03_04 Y X03_05.

El espigón 7 y 8 se encuentra entre la sección X03_05 Y X03_06.

El espigón 9 se encuentra entre la sección X03_06 Y X03_07.

El espigón 10,11 y 12 se encuentra entre la sección X03_07 Y X03_08.

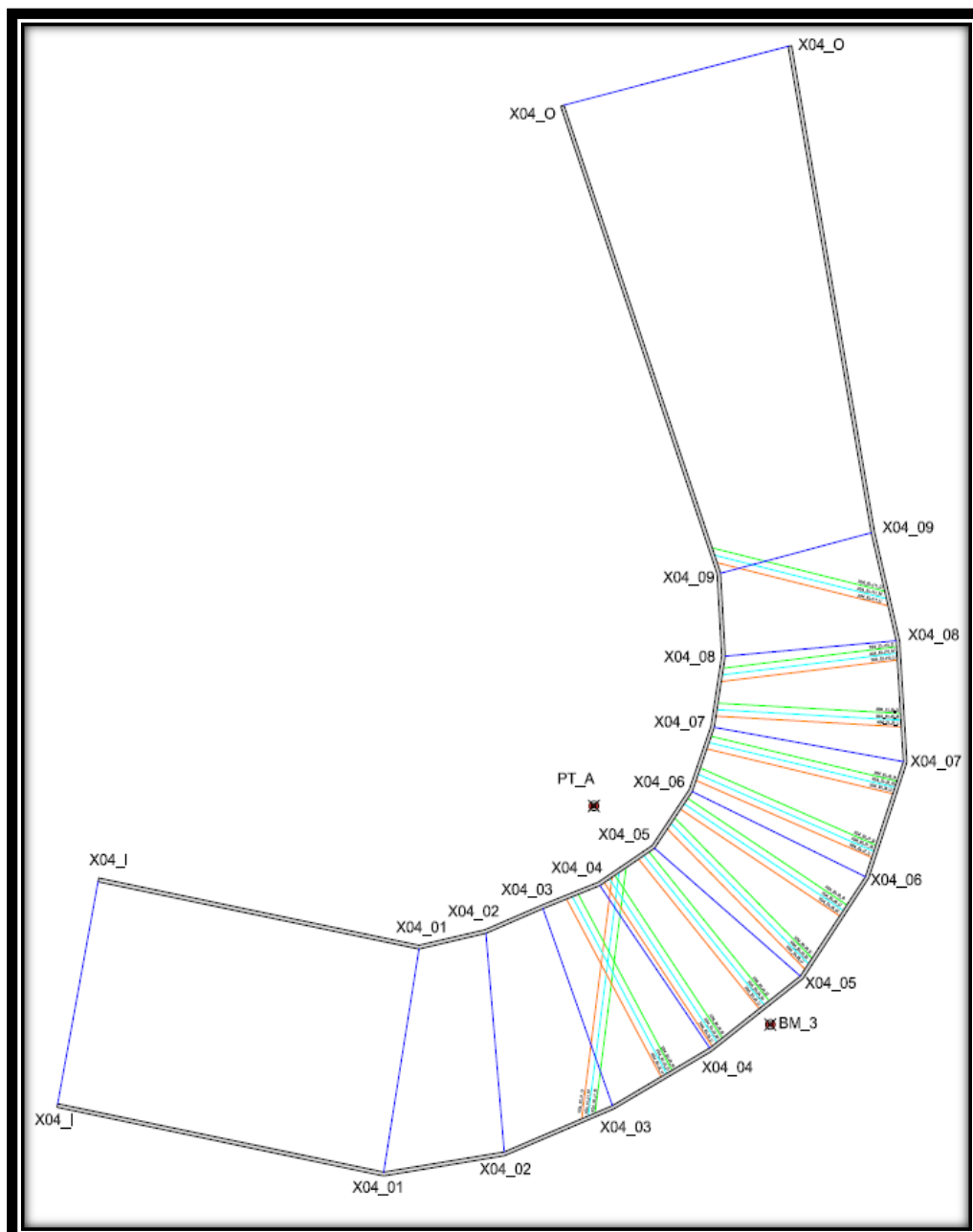


Figura 142: Plano de secciones de mediciones de velocidades de los espigones, ensayo 4.
Fuente: Elaboración Propia.

El espigón 1 se encuentra entre la sección X03_02 Y X03_03.

El espigón 2 se encuentra entre la sección X03_03 Y X03_04.

El espigón 3 y 4 se encuentra entre la sección X03_04 Y X03_05.

El espigón 5 y 6 se encuentra entre la sección X03_05 Y X03_06.

El espigón 7 y 8 se encuentra entre la sección X03_06 Y X03_07.

El espigón 9 y 10 se encuentra entre la sección X03_07 Y X03_08.

El espigón 11 se encuentra entre la sección X03_08 Y X03_09.

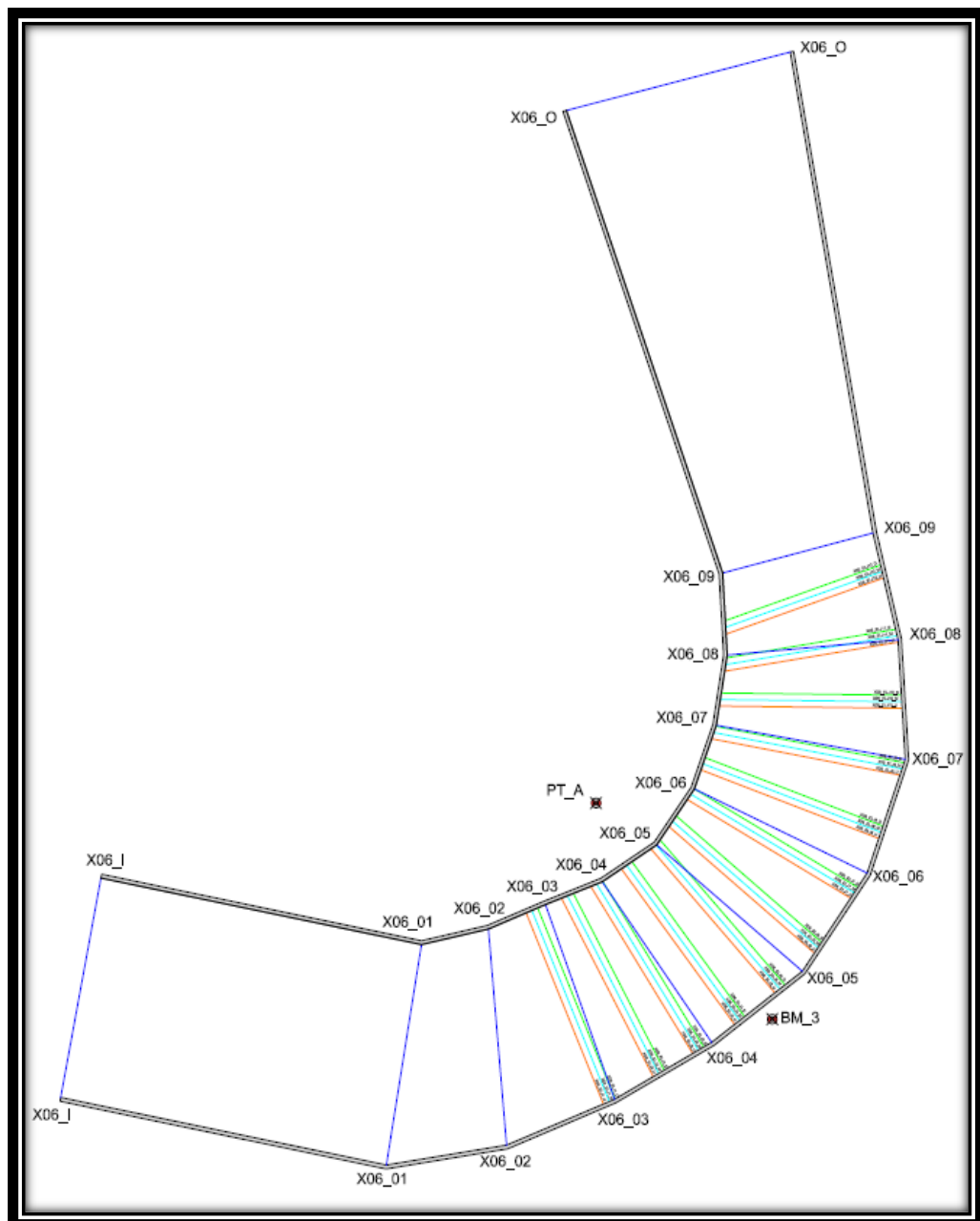


Figura 143: Plano de secciones de mediciones de velocidades de los espigones, ensayo 6.
Fuente: Elaboración Propia.

El espigón 1 se encuentra entre la sección X03_02 Y X03_03.

El espigón 2 y 3 se encuentra entre la sección X03_03 Y X03_04.

El espigón 4 y 5 se encuentra entre la sección X03_04 Y X03_05.

El espigón 6 y 7 se encuentra entre la sección X03_05 Y X03_06.

El espigón 8 y 9 se encuentra entre la sección X03_06 Y X03_07.

El espigón 10 se encuentra entre la sección X03_07 Y X03_08.

El espigón 11 y 12 se encuentra entre la sección X03_08 Y X03_09.

3.7.4. FLUORESCÉINA Y TECNOPOR

Para poder ver el sentido del flujo se colocó fluoresceína a un tanque lleno de agua y conectada a un sistema de tuberías perforadas.



Figura 144: Incorporación de Fluoresceína al flujo.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 145: Vista aérea de la fluoresceína para ver la dirección del flujo.
Fuente: Elaboración Propia.



Figura 146: Colocación de tecnopor.
Fuente: Elaboración Propia.

Este ensayo se realizó para poder ver el sentido del flujo y para la mejor visualización de los vórtices generados por el flujo secundario y los vórtices de herradura.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE VELOCIDADES DE LOS ENSAYOS EN EL MODELO FÍSICO

Una vez leída las velocidades con el vectrino debemos hacer el procesamiento de estos datos que son extraídos en archivos de Matlab.

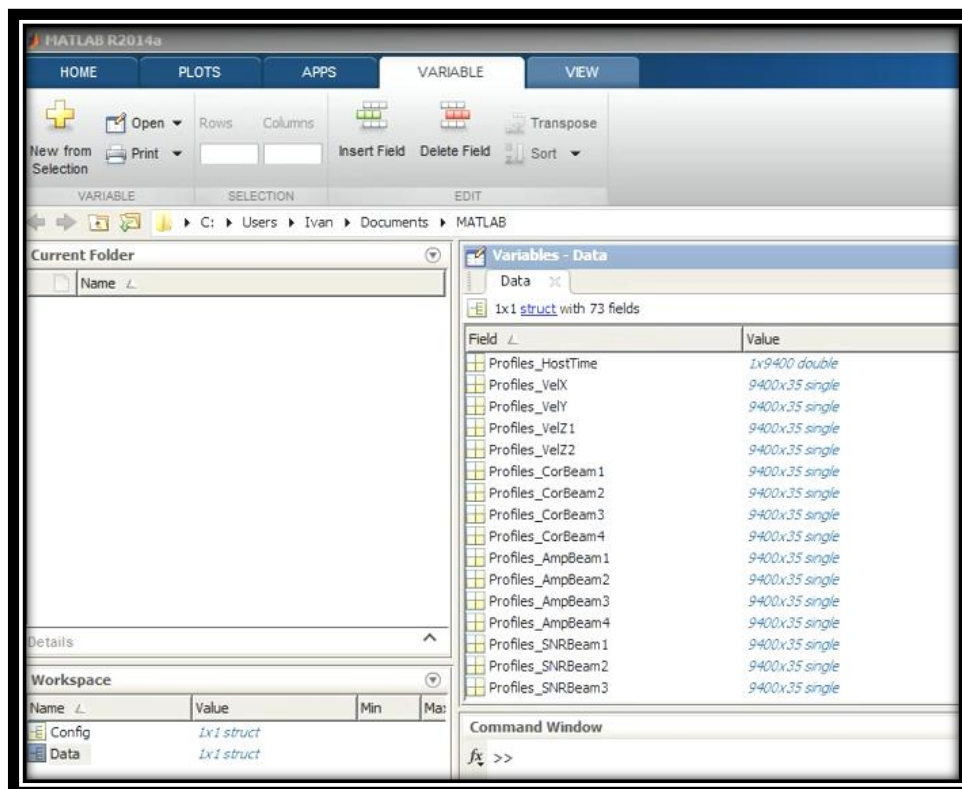


Figura 147: Archivos de datos de velocidades, pre-proceso.
Fuente: Elaboración Propia.

Como vemos el registro de datos es muy amplio, por lo que, para esta tesis se requiere los archivos Profiles_VelX (registros de las velocidades en la dirección X), y los archivos Profiles_VelY (registros de las velocidades en la dirección Y) y los archivos Profiles_VelZ (registros de las velocidades en la dirección Z).

Una vez procesadas las velocidades se procede a trabajar en una hoja de cálculo de Excel; estos datos requieren una suavización ya que, al momento de hacer las mediciones, se hizo unos saltos por cada ascenso de 3.5cm que hacemos con el instrumento. Por último, se procedió a sacar la velocidad media del punto lecturado sobre el 40% del tirante de agua.

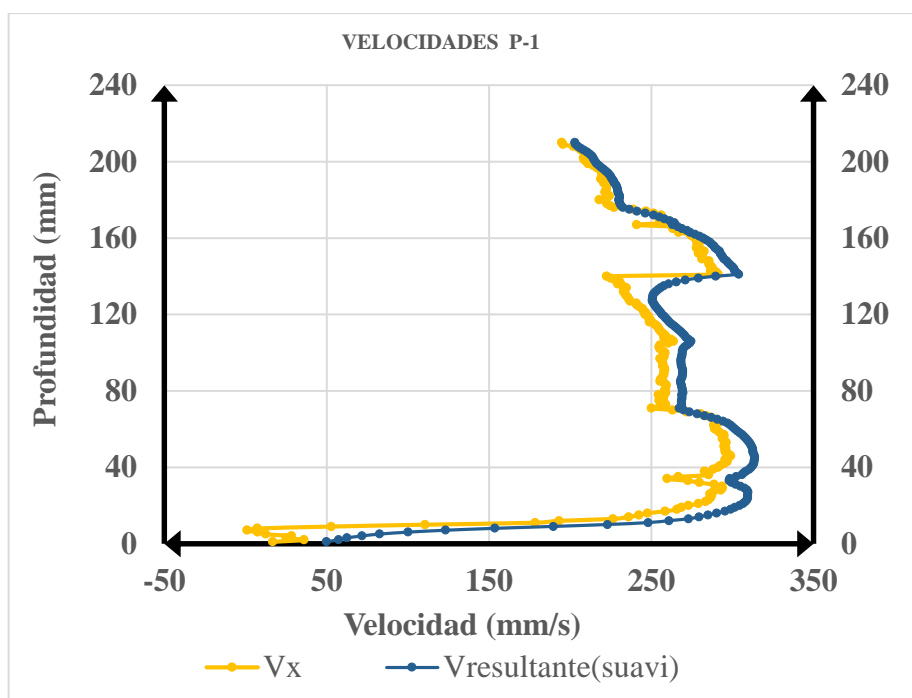


Figura 148: Velocidades procesadas en la dirección X y su suavizado.
Fuente: Elaboración Propia.

Haciendo estos procedimientos para cada punto de lectura mostrada en la figura 133, figura 134, figura 135 y figura 136, obteniendo como velocidades medias para cada sección y en cada ensayo respectivo se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 30: Velocidades medias obtenidos en el modelo físico – Ensayo 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X01_I	271.4305	307.9541	347.2139	330.9358	364.1695	307.964
X01_01	219.0481	297.9692	275.4914	315.8225	319.73446	303.1445
X01_02	250.0303	266.2498	304.9178	348.4258	332.7335	316.7257
X01_03	324.3646	339.2564	350.3548	367.9336	375.7441	281.4217
X01_04	322.7739	349.9292	366.6032	399.3357	381.5928	296.8279
X01_05	338.407	356.8079	381.8476	366.2261	337.2513	41.4763
X01_06	406.1767	401.9022	394.1564	369.0782	250.1137	27.6401
X01_07	407.1731	376.2737	362.1663	308.8583	263.3318	35.4015
X01_08	420.0173	336.4888	336.4888	284.8286	234.6722	3.554748
X01_09	479.3436	382.7624	338.7042	334.4764	282.2936	24.4131
X01_O	256.3393	317.5819	296.2028	322.393	286.5938	81.3068

Fuente: Elaboración Propia.

Para observa la línea de flujo de este ensayo veamos la figura siguiente:

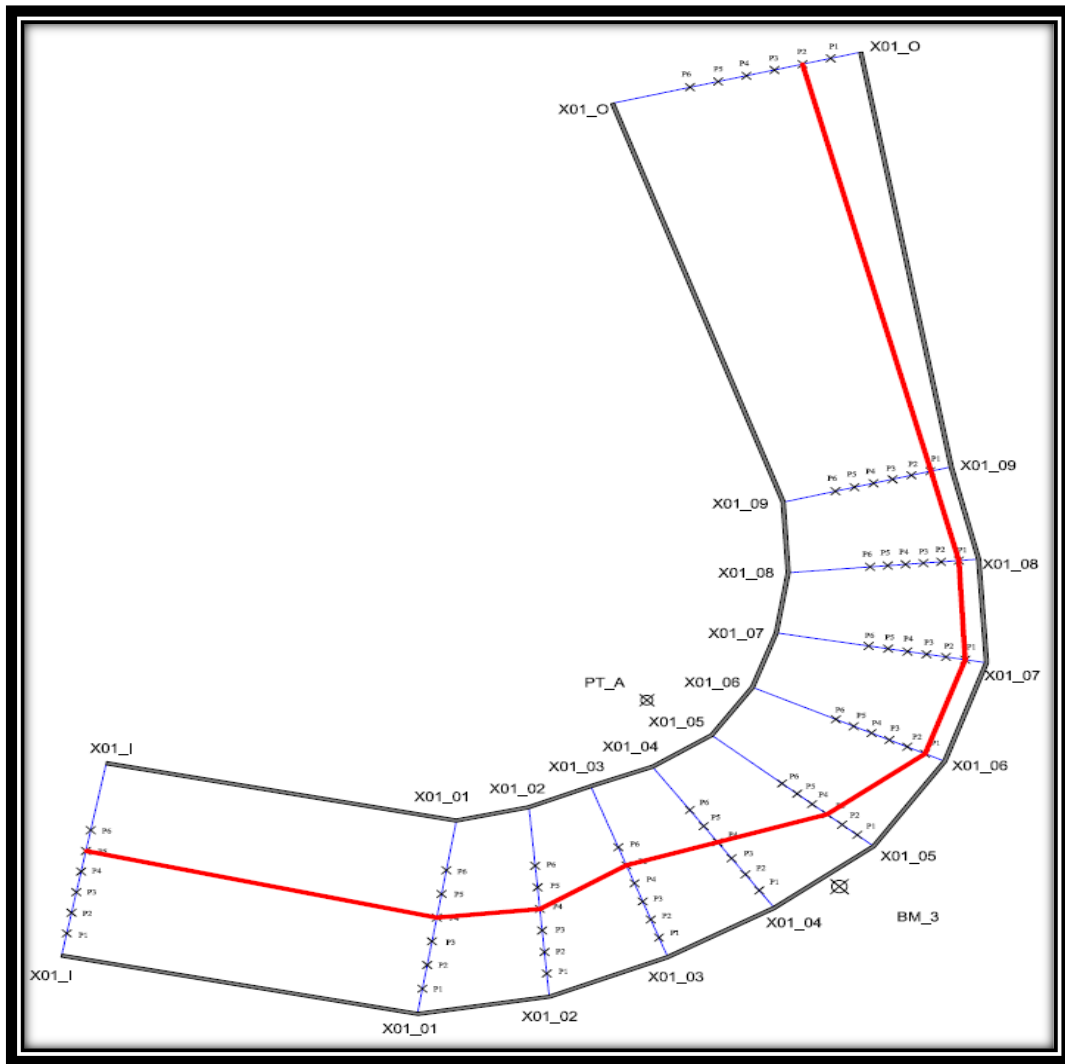


Figura 149: Línea de Flujo – Ensayo 1.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31: Velocidades medias obtenidos en el modelo físico – Ensayo 3.
Fuente: Elaboración Propia.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X03_I	6.9637	322.7446	310.287	293.2896	318.3473	319.3827
X03_01	216.787	268.5234	272.2022	283.2099	290.5237	310.7779
X03_02	227.0526	278.9362	302.5726	317.5336	310.3323	318.7502
X03_03	354.1084	367.7167	405.3909	371.0835	360.8613	55.7613
X03_04	370.9722	403.4657	399.3689	400.0165	366.8067	219.2166
X03_05	141.9411	419.3936	424.32	429.2749	401.2216	197.2417
X03_06	134.3866	450.3268	478.9363	435.4356	331.4154	12.8365
X03_07	122.7051	526.1459	480.3132	409.3856	298.2308	5.8225
X03_08	409.1037	510.8206	476.4294	382.0754	210.5104	19.9896
X03_09	572.0415	548.8285	508.8911	364.8633	281.5222	145.99128
X03_O	278.0407	288.0849	326.9595	315.8022	329.7685	101.5264

Fuente: Elaboración Propia.

Para observa la línea de flujo de este ensayo veamos la figura siguiente:

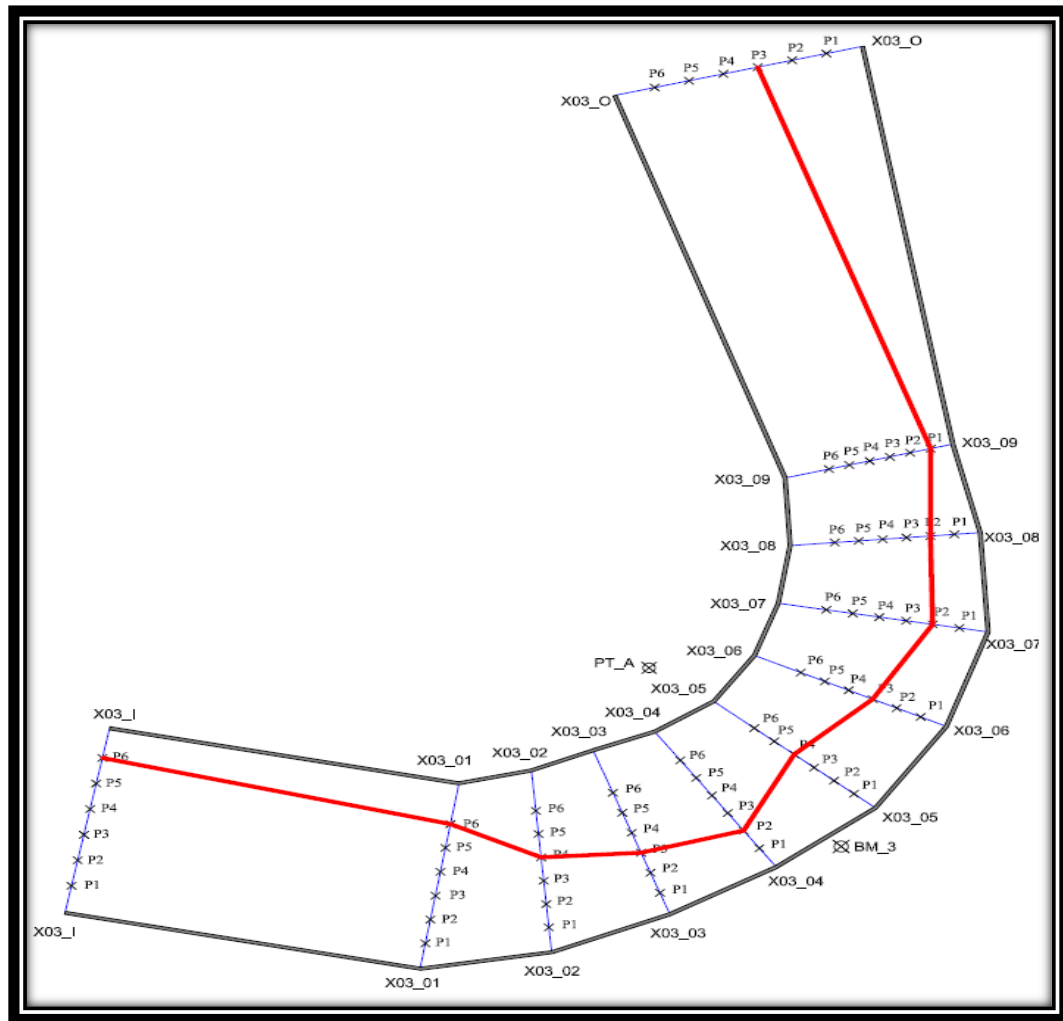


Figura 150: Línea de Flujo – Ensayo 3.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32: Velocidades medias obtenidos en el modelo físico – Ensayo 4.
Fuente: Elaboración Propia.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X04_I	39.1117	294.4042	286.749	249.8794	387.254	393.713
X04_01	228.8986	271.6557	266.9446	268.712	290.454	310.973
X04_02	247.2649	289.9811	281.6083	293.8264	297.7519	198.9594
X04_03	156.1768	330.6299	333.1609	345.1995	325.4719	50.3036
X04_04	73.1372	390.3552	388.1063	397.7958	364.0457	52.4467
X04_05	145.5211	403.2296	399.0694	378.9106	343.1302	45.4562
X04_06	202.6693	454.1675	411.2976	417.1111	346.4221	10.3007
X04_07	89.1614	486.2179	446.9318	398.7847	275.3408	4.328
X04_08	114.7382	493.576	456.4032	377.6674	190.6166	1.922
X04_09	271.7787	533.6369	500.5359	413.8879	209.5589	6.9259
X04_O	273.6229	394.191	292.631	265.985	297.393	61.409

Fuente: Elaboración Propia.

Para observa la línea de flujo de este ensayo veamos la figura siguiente:

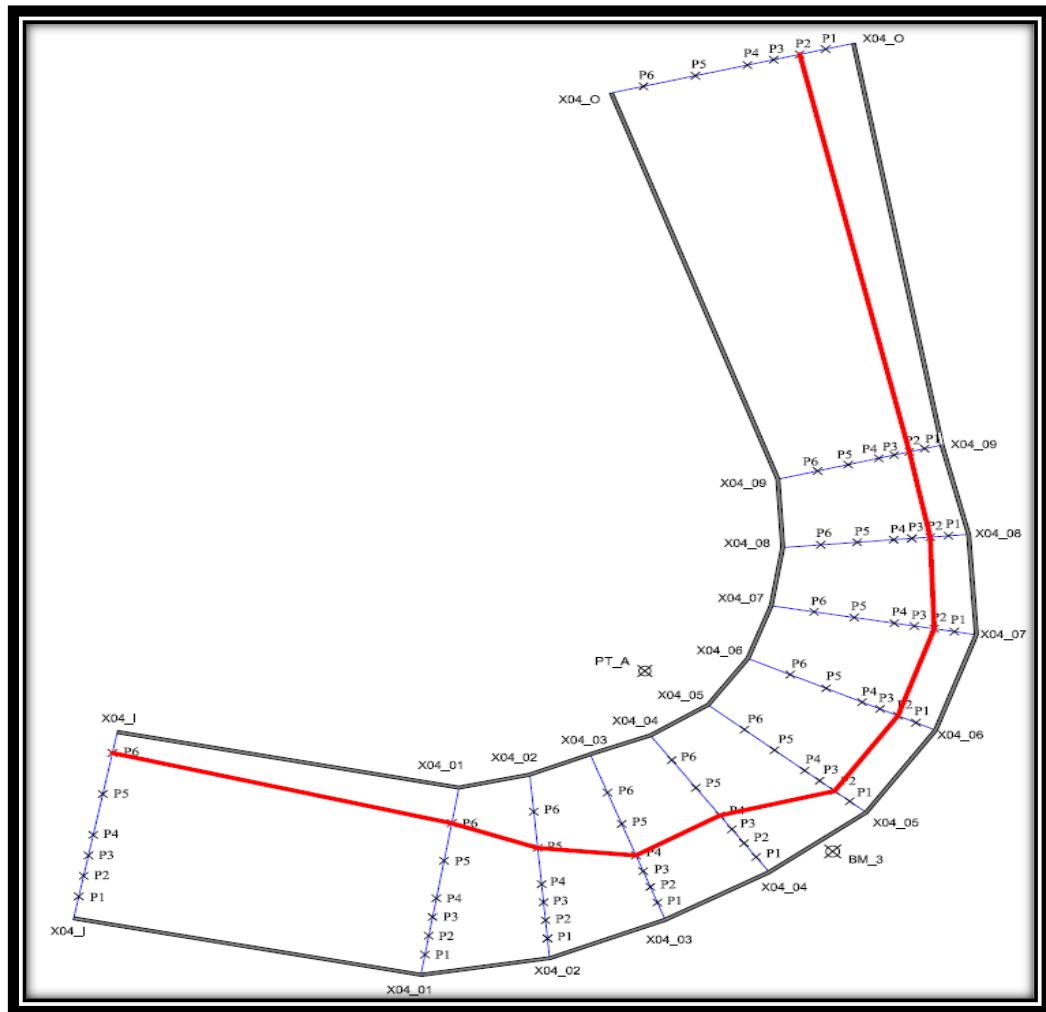


Figura 151: Línea de flujo – Ensayo 4.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33: Velocidades medias obtenidos en el modelo físico – Ensayo 6.
Fuente: Elaboración Propia.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X06_I	314.5242	357.6232	339.3266	365.9264	304.4328	2.5668
X06_01	318.2453	307.0278	303.0212	284.3746	300.361	255.3269
X06_02	212.64	250.772	260.845	284.084	293.56	126.167
X06_03	181.11	332.008	328.494	334.161	330.201	10.925
X06_04	53.3281	380.8753	371.1081	351.3526	334.5338	35.9905
X06_05	105.4964	395.661	391.9345	374.3448	320.3951	12.0991
X06_06	158.992	428.848	393.168	365.557	178.44	3.352
X06_07	119.863	478.177	445.341	387.222	196.646	1.304
X06_08	211.2297	501.8207	438.3258	392.5797	221.6174	1.7912
X06_09	297.5651	382.8686	485.0715	394.5254	262.7691	15.7933
X06_O	292.842	309.548	263.337	269.984	269.411	38.046

Fuente: Elaboración Propia.

Para observa la línea de flujo de este ensayo veamos la figura siguiente:

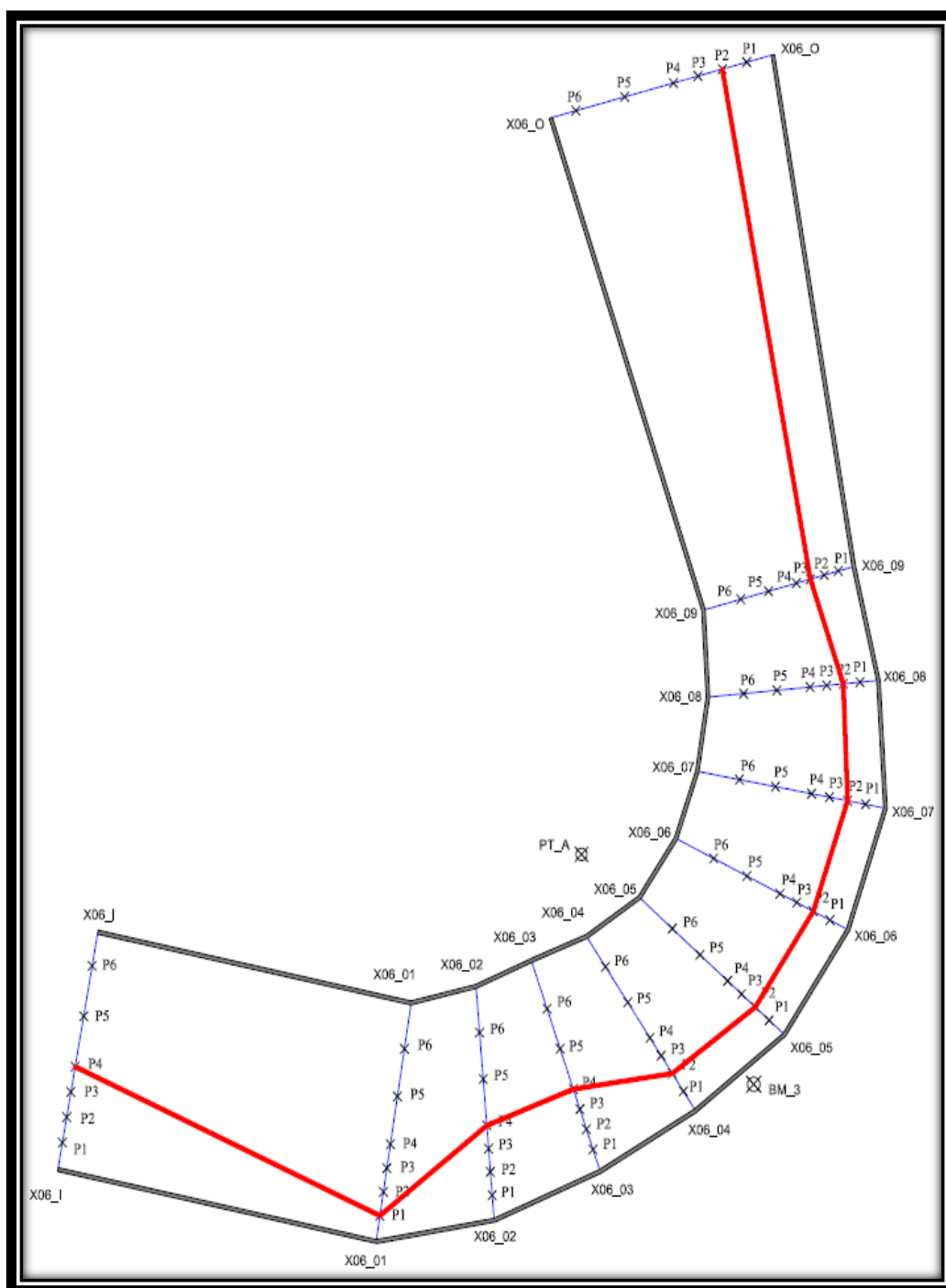


Figura 152: Línea de flujo – Ensayo 6.
 Fuente: Elaboración Propia.

Analizando los resultados obtenidos, de la figura 149, figura 150, figura 151, figura 152 y de la tabla 30, tabla 31, tabla 32 y tabla 33, hacemos las comparaciones respectivas:

- Comparación de la línea de flujo entre Ensayo 1 y Ensayo 3:

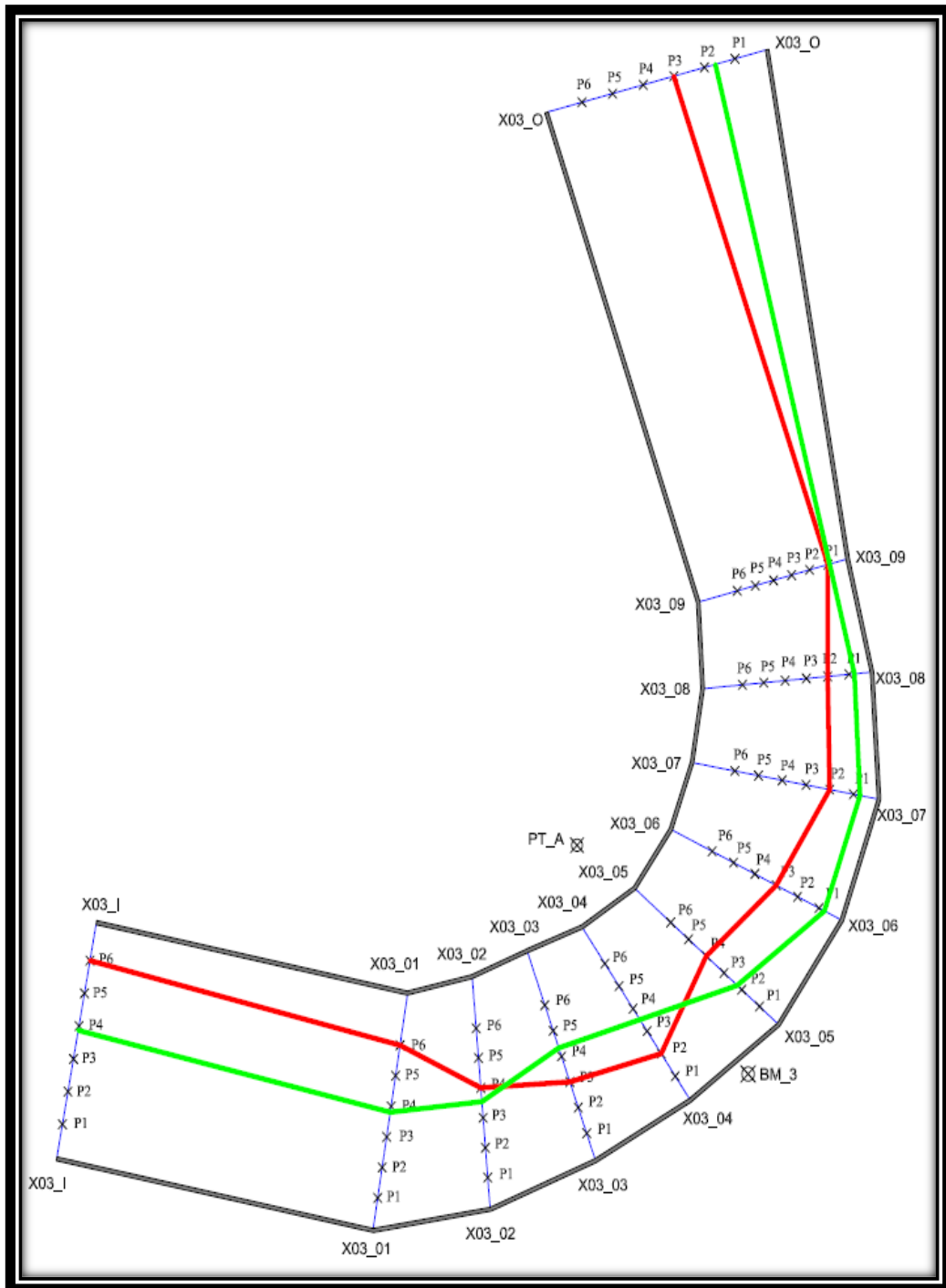


Figura 153: Línea de Flujo entre Ensayo 1 y Ensayo 3.
 Fuente: Elaboración Propia.

En la figura anterior la línea de color rojo se refiere al ensayo 3 y la línea de color verde se refiere al ensayo 1.

Vemos que la línea de flujo en las secciones X03_03 y X03_04 se metió más hacia la margen derecha por lo que es necesario corregir el ángulo de inclinación y espaciamiento del espigón en este tramo, pero en las secciones X03_05, X03_06,

X03_07 y X03_08 la línea de flujo se desvía hacia el centro del río por lo que la colocación de los espigones están bien planteados y esto quiere decir que está cumpliendo con una de sus funciones que estos que es desviar la línea de flujo hacia la margen izquierda para formar un nuevo thalweg. Adicionalmente como se puede visualizar en la salida del modelo la línea de flujo está dirigida hacia el centro del río por lo que el propósito de llegar el thalweg lejos de la margen derecha está cumpliéndose perfectamente.

Como es de interés debemos saber las velocidades en cada punto 1 de cada sección, ya que este dato nos ayudara ver si en la margen derecha la velocidad disminuyo y por lo tanto esto provocara que las partículas en suspensión puedan depositarse y generar la sedimentación, así reguardar la margen derecha hacia la migración que sufre este tramo “La Pastora”. Como vemos en la siguiente tabla:

Tabla 34: Comparación de velocidades de los puntos 1 entre el Ensayo 1 y Ensayo 3.

	Ensayo 1	Ensayo 3
Sección	Punto 1	Punto 1
	mm/s	mm/s
X03_I	271.4305	6.9637
X03_01	219.0481	216.787
X03_02	250.0303	227.0526
X03_03	324.3646	354.1084
X03_04	322.7739	370.9722
X03_05	338.407	141.9411
X03_06	406.1767	134.3866
X03_07	407.1731	122.7051
X03_08	420.0173	409.1037
X03_09	479.3436	572.0415
X03_O	256.3393	278.0407

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observó principalmente en las secciones donde se encuentra la curva del meandro las velocidades del ensayo 3 en los puntos 1 disminuyen a comparación de ensayo 1 por lo que se obtuvo un buen resultado, pero en las secciones X03_03, X03_04 y X03_09 las velocidades aumento por lo que debemos corregir esto en el siguiente ensayo.

- Comparación de la línea de flujo entre Ensayo 1 y Ensayo 4:

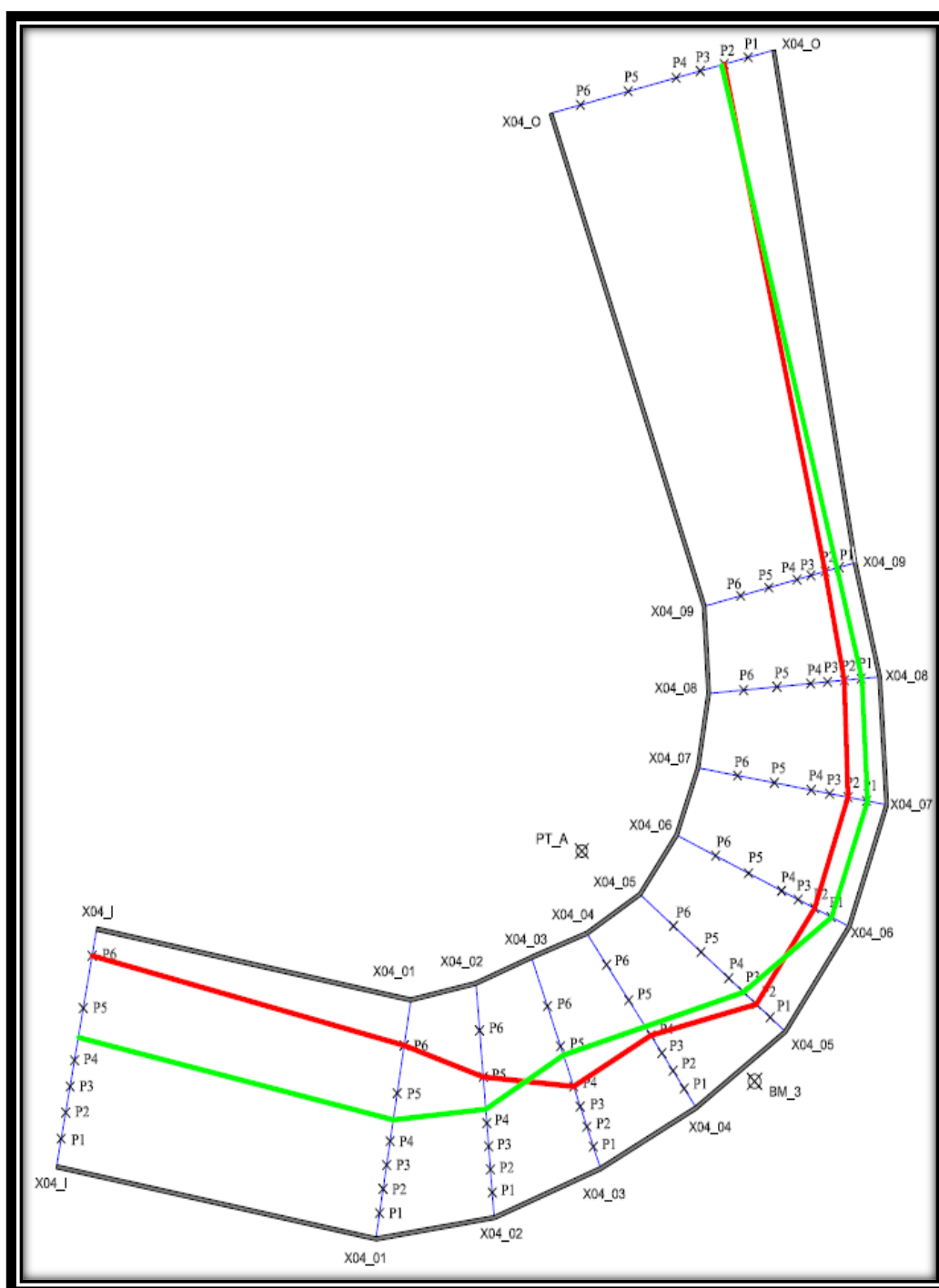


Figura 154: Línea de flujo entre Ensayo 1 y Ensayo 4.
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura anterior la línea de color rojo se refiere al ensayo 4 y la línea de color verde se refiere al ensayo 1.

Como vemos la línea de flujo del ensayo 4 está cumpliendo con lo requerido salvo en las secciones X04_03, X04_04 y X04_05 que se encuentra inclinada hacia la

margen derecha; como sabemos en este ensayo se colocó 11 espigones a diferente espaciamiento y ángulo de inclinación.

Ahora nos fijaremos en las velocidades cerca a la orilla lo cual mostramos en la siguiente tabla.

Tabla 35: Comparación de velocidades de los puntos 1 entre el Ensayo 1 y Ensayo 4.
Fuente: Elaboración Propia.

	Ensayo 1	Ensayo 4
Sección	Punto 1	Punto 1
	mm/s	mm/s
X04_I	271.4305	39.1117
X04_01	219.0481	228.8986
X04_02	250.0303	247.2649
X04_03	324.3646	156.1768
X04_04	322.7739	73.1372
X04_05	338.407	145.5211
X04_06	406.1767	202.6693
X04_07	407.1731	89.1614
X04_08	420.0173	114.7382
X04_09	479.3436	271.7787
X04_O	256.3393	273.6229

Fuente: Elaboración Propia.

Como muestra en la tabla anterior las velocidades en el punto 1 del ensayo 4 a comparación del ensayo 1 disminuyen casi a un 50% a más, por lo que este ensayo cumplió con las expectativas requeridas. Pero necesitamos alejar la línea de flujo en la salida hacia al centro del canal como se vio en el ensayo 3, por lo que se sugirió volver a utilizar 12 espigones.

- Comparación de la línea de flujo entre Ensayo 1 y Ensayo 6:

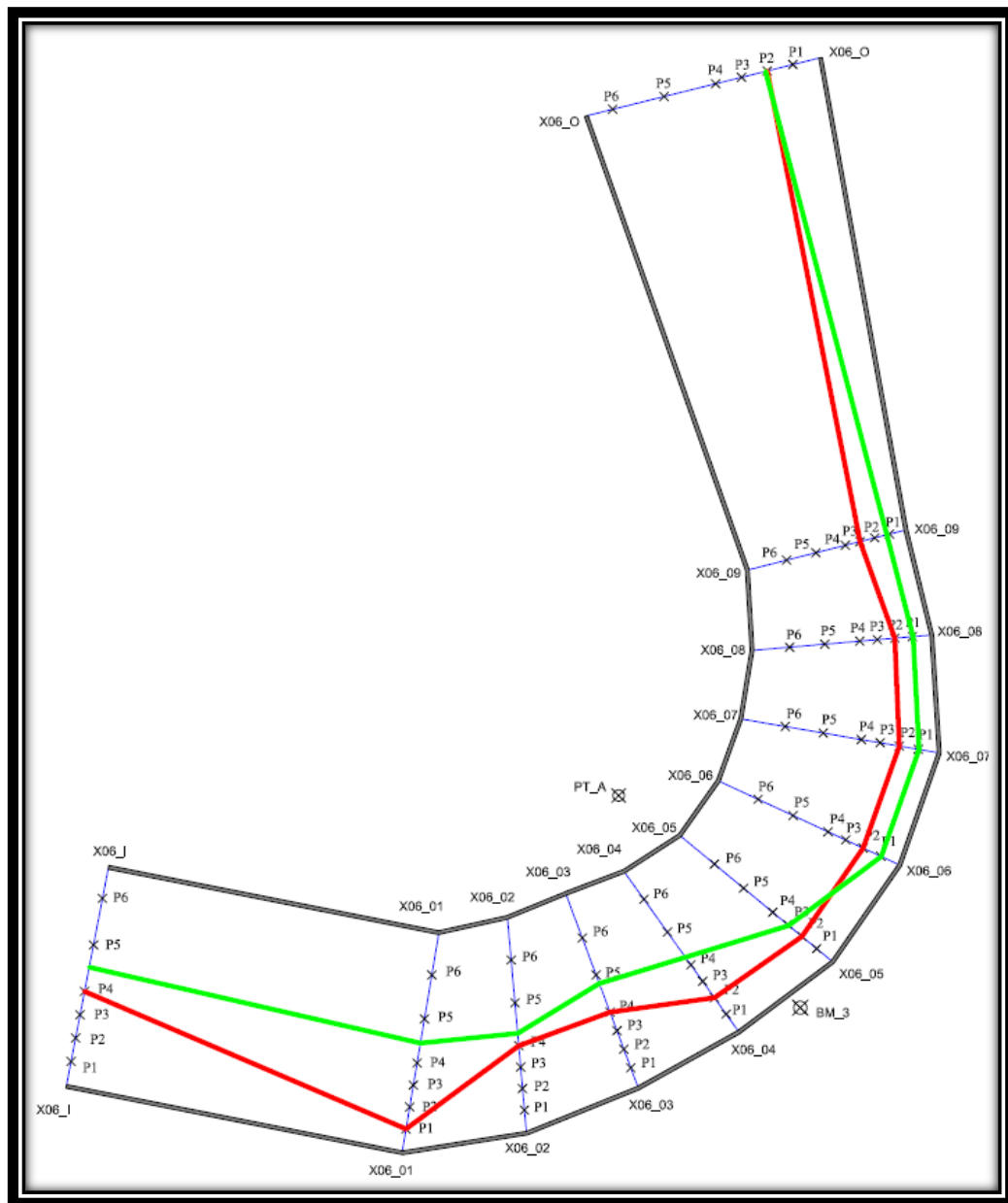


Figura 155: Línea de flujo entre Ensayo 1 y Ensayo 6.

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura anterior la línea de color rojo se refiere al ensayo 6 y la línea de color verde se refiere al ensayo 1.

Como podemos ver la línea de flujo en las secciones X06_01, X06_02, X06_03, X06_04 y X06_05 se encuentran inclinadas a la margen derecha, esto es porque los espigones en la punta producen vórtices y por lo tanto atraen a la línea de flujo hacia este lado, pero al mismo tiempo podemos ver que la línea de flujo no es tan cercana a la margen derecha, lo cual lo podemos corroborar con las velocidades en los puntos 1.

Tabla 36: Comparación de velocidades de los puntos 1 entre el Ensayo 1 y Ensayo 6.*Fuente: Elaboración Propia.*

	Ensayo 1	Ensayo 6
Sección	Punto 1	Punto 1
	mm/s	mm/s
X04_I	271.4305	314.5242
X04_01	219.0481	318.2453
X04_02	250.0303	212.64
X04_03	324.3646	181.11
X04_04	322.7739	53.3281
X04_05	338.407	105.4964
X04_06	406.1767	158.992
X04_07	407.1731	119.863
X04_08	420.0173	211.2297
X04_09	479.3436	297.5651
X04_O	256.3393	292.842

Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos ver de la tabla anterior las velocidades bajan casi un 66% por lo que es el ensayo que más nos favorece respecto a velocidades, por lo que ahora nos falta observar sobre el cambio de geomorfología que ha sufrido el lecho que eso lo veremos en los sub capítulos siguientes.

Por último, presentamos la tabla de velocidades de los puntos 1 en todos los ensayos.

Tabla 37: Comparación de velocidades de los puntos 1 entre todos los ensayos.

	Ensayo 1	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 6
Sección	Punto 1	Punto 1	Punto 1	Punto 1
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X04_I	271.4305	6.9637	39.1117	314.5242
X04_01	219.0481	216.787	228.8986	318.2453
X04_02	250.0303	227.0526	247.2649	212.64
X04_03	324.3646	354.1084	156.1768	181.11
X04_04	322.7739	370.9722	73.1372	53.3281
X04_05	338.407	141.9411	145.5211	105.4964
X04_06	406.1767	134.3866	202.6693	158.992
X04_07	407.1731	122.7051	89.1614	119.863
X04_08	420.0173	409.1037	114.7382	211.2297
X04_09	479.3436	572.0415	271.7787	297.5651
X04_O	256.3393	278.0407	273.6229	292.842

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.RESULTADOS DE TIRANTES OBTENIDOS DEL MODELO FÍSICO

Continuando con los resultados obtenidos ahora nos toca hablar sobre los tirantes, una vez leída las vistas atrás se procede a calcular en una hoja de cálculo (Excel) las cotas de los niveles de agua que tiene cada sección para posteriormente calcular el tirante del modelo.

Tabla 38: Cota de agua del prototipo.

	Vista atrás (Modelo)	Vista adelante (Modelo)	COTA AGUA (Prototipo)
BM3			211.859
X01_08	0.172		
ORILLA (D)		0.75	177.179
P1		0.752	177.059
P2		0.758	176.699
P3		0.758	176.699
P4		0.758	176.699
P5		0.758	176.699
P6		0.758	176.699
ORILLA (I)		0.758	176.699

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo la cota de agua en prototipo procedemos a calcular los tirantes tanto para el modelo como para el prototipo.

Tabla 39: Tirante del Prototipo y Modelo.

SECCIÓN X01_08	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.179	177.179	0.000	0.000
P1	177.059	162.174	14.885	0.248
P2	176.699	161.695	15.004	0.250
P3	176.699	164.435	12.264	0.204
P4	176.699	166.061	10.638	0.177
P5	176.699	167.909	8.790	0.147
P6	176.699	171.173	5.526	0.092
ORILLA (I)	176.699	176.699	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez teniendo estos datos se procede a dibujar la línea de tendencia para poder calcular el tirante promedio.

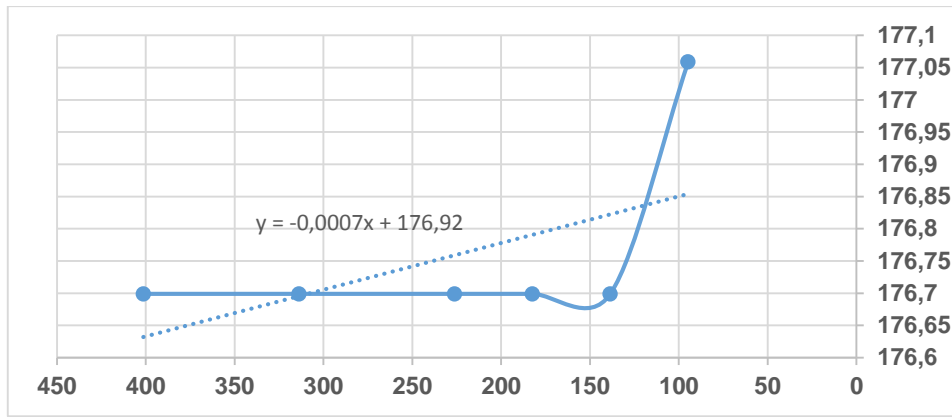


Figura 156: Línea de tendencia del tirante.
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de tener la ecuación de la línea de tendencia sacamos el valor promedio del tirante:

Tabla 40: Tirante promedio de una sección del modelo.

		176.75
Distancia X (modelo)	Distancia (Prototipo)	NIVEL DE AGUA
1.58	94.8	177.059
2.31	138.6	176.699
3.04	182.4	176.699
3.77	226.2	176.699
5.23	313.8	176.699
6.69	401.4	176.699

Fuente: Elaboración Propia.

Y así procedemos con cada sección hasta terminar los cuatros ensayos realizados y obteniendo los siguientes cuadros de resúmenes.

Tabla 41: Tirantes del modelo – Ensayo 1.

ENSAYO 1		
Sección Hidráulica	Nivel de agua (m)	Tirante Hidráulico (m)
X01_I	175.14	0.22
X01_01	175.44	0.25
X01_02	178.12	0.21
X01_03	178.17	0.22
X01_04	177.93	0.22
X01_05	176.98	0.28
X01_06	177.81	0.23
X01_07	177.19	0.24
X01_08	176.75	0.29
X01_09	177.12	0.26
X01_O	176.99	0.22

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 42: Tirantes del modelo – Ensayo 3.

ENSAYO 3		
Sección Hidráulica	Nivel de agua (m)	Tirante Hidráulico (m)
X03_I	177.14	0.2
X03_01	177.18	0.25
X03_02	177.50	0.26
X03_03	177.11	0.22
X03_04	176.87	0.22
X03_05	177.24	0.38
X03_06	176.99	0.25
X03_07	177.45	0.23
X03_08	177.57	0.21
X03_09	177.06	0.23
X03_O	177.01	0.21

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 43: Tirantes del modelo – Ensayo 4.

ENSAYO 4		
Sección Hidráulica	Nivel de agua (m)	Tirante Hidráulico (m)
X04_I	177.27	0.22
X04_01	177.36	0.22
X04_02	177.95	0.22
X04_03	177.42	0.21
X04_04	177.70	0.23
X04_05	177.55	0.25
X04_06	177.02	0.22
X04_07	178.10	0.24
X04_08	178.02	0.22
X04_09	176.98	0.24
X04_O	176.99	0.21

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla 44: Tirantes del modelo – Ensayo 6.

ENSAYO 6		
Sección Hidráulica	Nivel de agua (m)	Tirante Hidráulico (m)
X06_I	180.65248	0.22
X06_01	180.8606	0.25
X06_02	180.88034	0.21
X06_03	180.84672	0.3
X06_04	180.62964	0.29
X06_05	180.320092	0.33
X06_06	180.1233	0.24
X06_07	179.88632	0.25
X06_08	179.59114	0.23
X06_09	179.3924	0.25
X06_O	178.00952	0.2

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez procesado todos los datos mostramos las gráficas de tirantes para cada ensayo, en este caso mostraremos la de sección X0S_08.

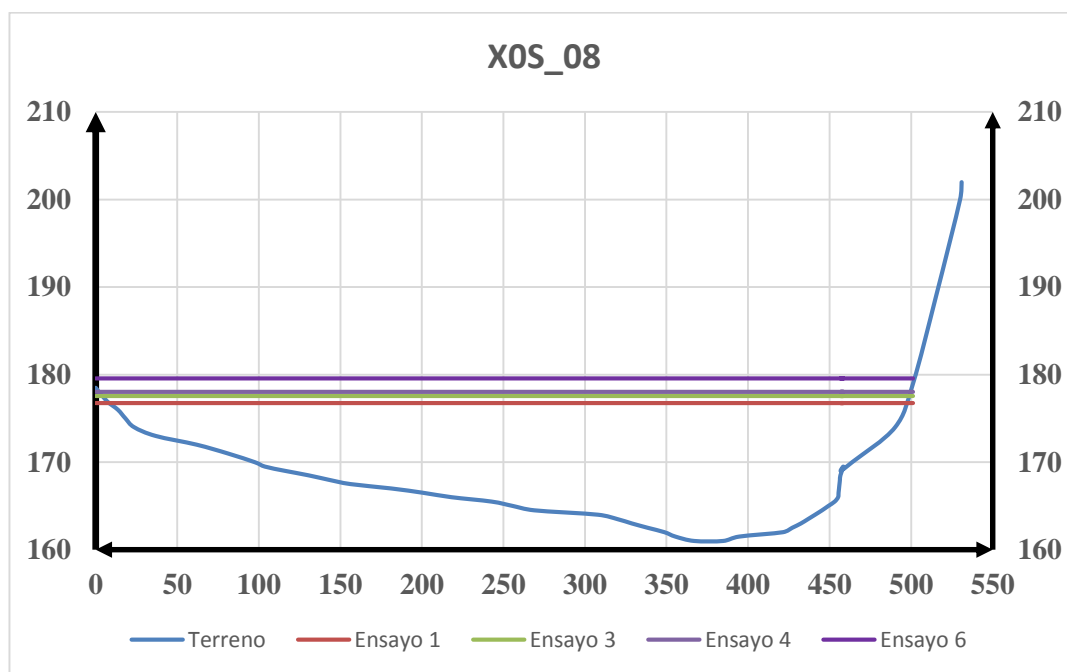


Figura 157: Tirantes medios de cada ensayo.

Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos ver los tirantes en cada ensayo varía mínimamente a comparación del ensayo 6 que fue en el que se ensayó con el caudal total como se explicó anteriormente. Para ver todas las gráficas diríjase a ver el Anexo 9.

4.3.RESULTADOS DE ESTABILIDAD POR LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Los espigones fueron sometidos a fuerzas horizontales como verticales lo cual lo vimos en el capítulo 2.4.2 Engineering LogJams (ELJ). Los espigones que fueron puestos en estos ensayos todos cumplieron exactamente con lo requerido y ninguno llego a fallar. Los datos requeridos fueron tomados de la modelación numérica realizada en el capítulo 3.5. Modelamiento Numérico y los datos geotécnicos del informe de Estudio de Geotecnia de PRZ Ingenieros.

A continuación, mostramos la tabla de resultados de factores de seguridad otorgados por la herramienta computacional para el diseño de cada espigón.

Tabla 45: Factores de Seguridad Ensayo 3.

Ensayo 3		
	F.S. Vertical	F.S. Horizontal
Espigón 1	3.20	2.50
Espigón 2	2.95	2.34
Espigón 3	2.87	2.25
Espigón 4	2.86	2.25
Espigón 5	2.78	2.21
Espigón 6	2.80	2.18
Espigón 7	2.82	2.17
Espigón 8	2.75	2.14
Espigón 9	2.80	2.12
Espigón 10	2.66	2.34
Espigón 11	2.67	2.30
Espigón 12	2.72	2.34

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 46: Factores de Seguridad Ensayo 4.

Ensayo 4		
	F.S. Vertical	F.S. Horizontal
Espigón 1	3.40	2.35
Espigón 2	3.20	2.34
Espigón 3	3.12	2.35
Espigón 4	3.18	2.31
Espigón 5	2.95	2.28
Espigón 6	2.86	2.24
Espigón 7	2.88	2.26
Espigón 8	2.74	2.14
Espigón 9	2.85	2.15
Espigón 10	2.94	2.22
Espigón 11	2.60	2.12

Fuente: *Elaboración Propia.***Tabla 47: Factores de Seguridad Ensayo 6.**

Ensayo 6		
	F.S. Vertical	F.S. Horizontal
Espigón 1	3.22	2.41
Espigón 2	3.20	2.40
Espigón 3	3.18	2.34
Espigón 4	3.20	2.35
Espigón 5	3.00	2.30
Espigón 6	2.84	2.28
Espigón 7	2.90	2.24
Espigón 8	2.80	2.24
Espigón 9	2.76	2.20
Espigón 10	2.74	2.27
Espigón 11	2.66	2.24
Espigón 12	2.58	2.20

Fuente: *Elaboración Propia.*

Como vemos en las tablas anteriores todos los factores de seguridad cumplieron con la recomendación planteada por Knutson y Fealko (ver tabla 7).

Lo que demuestra que los espigones estuvieron bien diseñados y estos resistieron a las fuerzas que actúan sobre ellas como ve en la siguiente figura.



Figura 158: Espigones después del ensayo 4.
Fuente: Elaboración Propia.

Sabemos que un buen diseño depende de tomar todas las fuerzas que actúan sobre estas sin descuidar ninguna, pero también en saber que fenómenos pasan sobre estos, como por ejemplo la socavación en la punta del espigón, como se ve en la siguiente figura, el espigón tuvo una gran socavación en su punta, pero por los pilotes puestos en las estructuras este espigón no sufrió volteo.



Figura 159: Espigón sometido a socavación en la punta de este.
Fuente: Elaboración Propia.

4.4.RESULTADOS DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

El programa de ingeniería denominado DSLOG tiene como objetivo el diseño de grandes estructuras de madera “ELJ”, tomando en consideración los datos propios de la zona, donde se requiera el diseño y posterior construcción de esta obra de aprovechamiento y desviación de flujo.

Como se mencionó anteriormente el lenguaje usado para la programación del software “DSLOG” fue el Visual Basic 2010.

El programa consta con cinco criterios de diseño de los cuales tenemos a Knutson y Fealko, Brooks, Wright, Technical Supplement 14J y por el Laboratorio Nacional de Hidráulica.

4.4.1. MANUAL DE USUARIO DEL SOFTWARE DSLOG

Para hacer referencia al software DSLOG dentro del sistema operativo de Windows, que tiene instalado en su computadora personal, puede identificarse a través del siguiente icono:

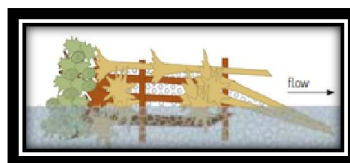


Figura 160: Icono del Programa
Fuente: Elaboración Propia.

a) Como ingresar al programa

Para poder ingresar al software DSLOG, puede hacerlo desde el icono que se encuentra en el escritorio, dando doble click sobre él para ejecutarlo.



Figura 161: Icono del Programa en el escritorio.
Fuente: Elaboración Propia.

Otra forma de ingresar al software es a través del menú de inicio, elección del icono Design LWM, y click sobre este.



Figura 162: Icono del programa en el menú de Inicio.
Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, muestra la pantalla principal del software, desde donde tenemos acceso a la barra de menús. Es la ventana desde donde puede gestionarse todo el proyecto de diseño, ingreso hacia a los diferentes criterios de diseño y en ellos ingresas a las principales herramientas.

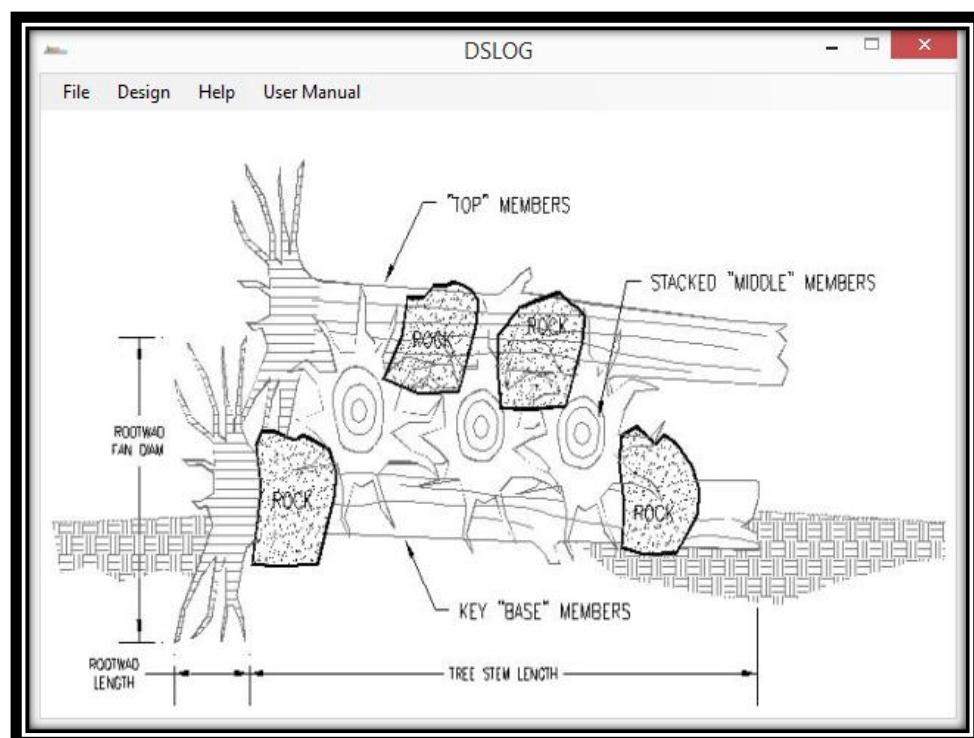


Figura 163: Pantalla Principal Del Programa.
Fuente: Elaboración Propia.

b) Barra de título

Muestra el icono, los botones de administración del formulario y el título de la aplicación:

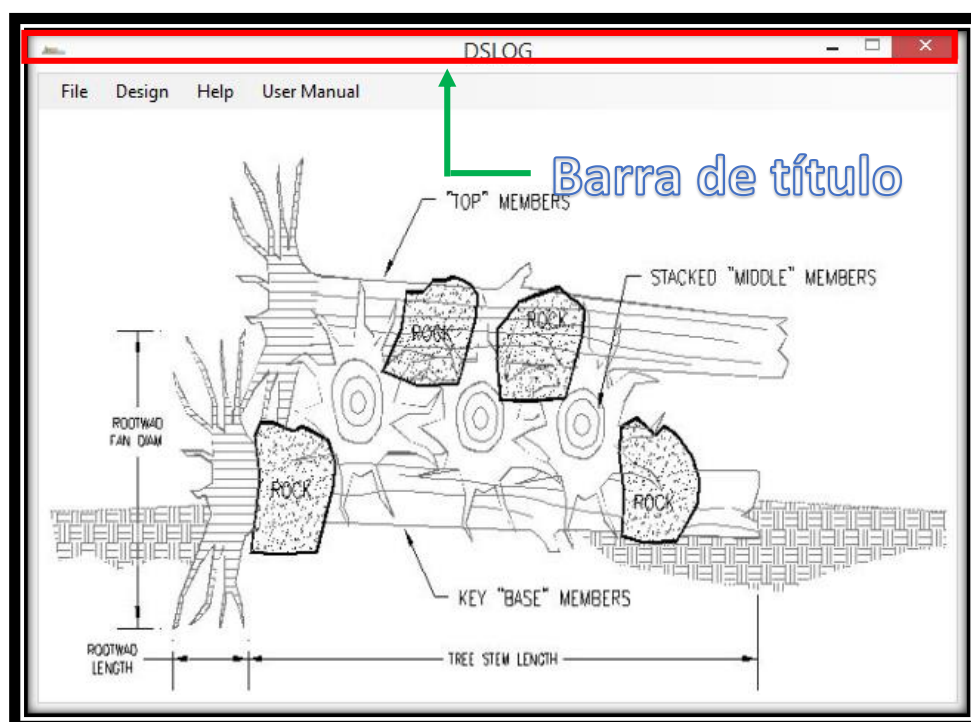


Figura 164: Barra de Título del Programa.
Fuente: Elaboración Propia.

Los botones de administración del formulario principal permiten realizar las siguientes acciones: Minimizar, maximizar y cerrar.

c) Barra de Menú

En esta sección explicaremos cada uno de los componentes, de la barra de menú. A continuación, presentamos la barra de menú:

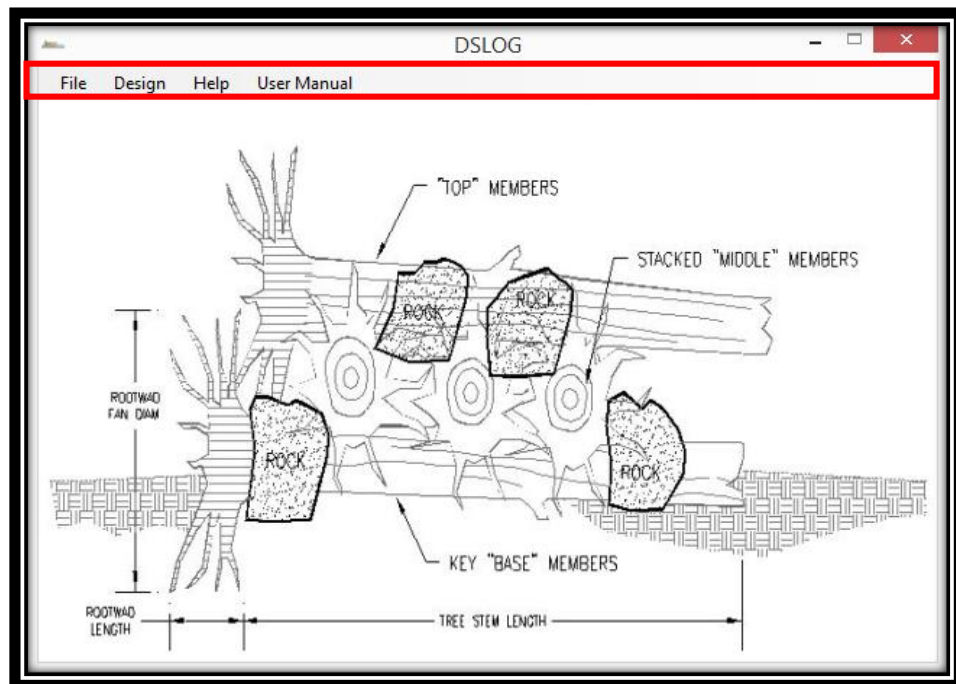


Figura 165: Barra de Menú del Programa.
Fuente: Elaboración Propia.

c.1) Menú File

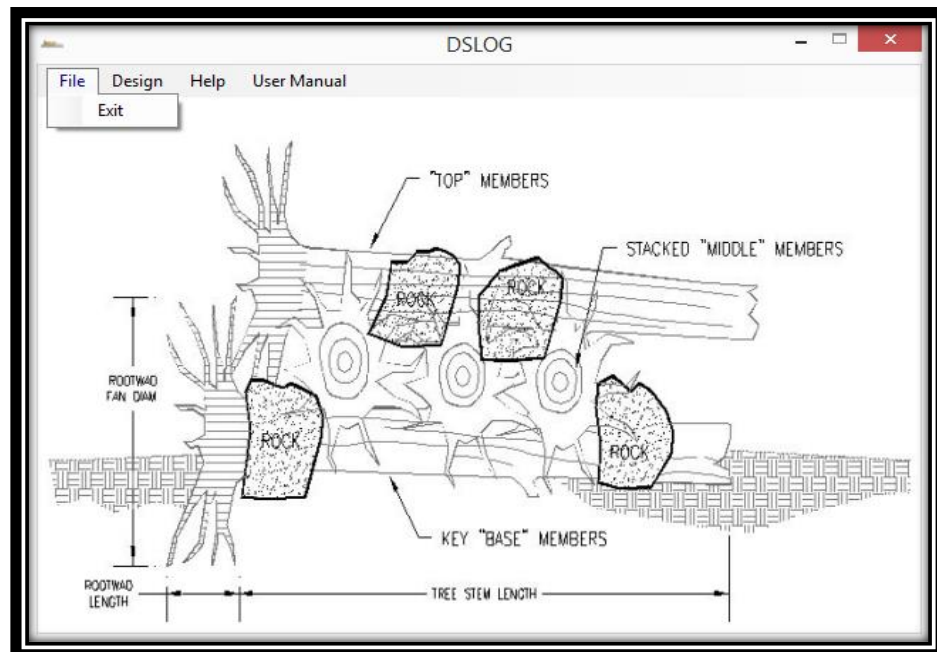


Figura 166: Menú File.
Fuente: Elaboración Propia.

El menú File contiene la opción: Exit

Exit: Finaliza la aplicación del programa.

c.2) Menú Design

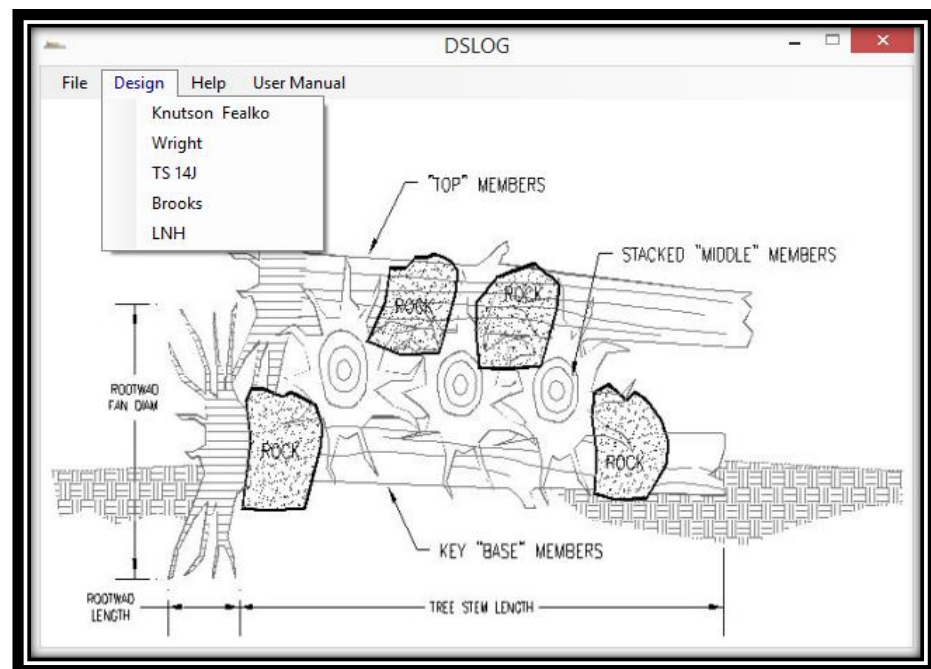


Figura 167: Menú Design.
Fuente: Elaboración Propia.

El menú Design contiene los diferentes criterios de diseño como de Knutson y Fealko, Wright, Technical Supplement 14J, Brooks y por el Laboratorio Nacional de Hidráulica.

c.3) Menú Help

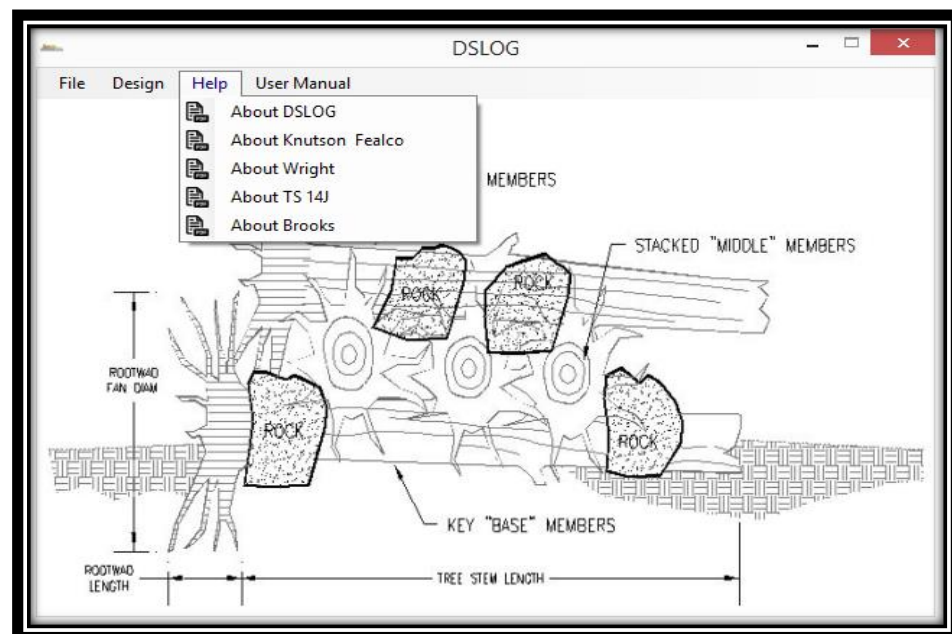


Figura 168: Menú Help.
Fuente: Elaboración Propia.

El menú Help contiene las referencias de cada criterio de diseño, en la cual muestra un archivo en formato .pdf.

c.4) Menú User Manual

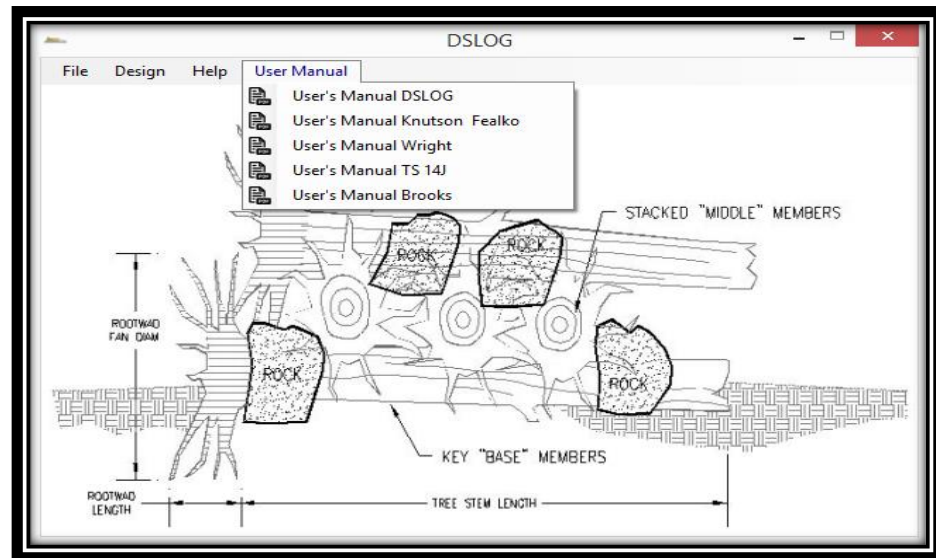


Figura 169: Menú User Manual.
Fuente: Elaboración Propia.


El menú User Manual muestra el manual de usuario de cada criterio de diseño, el cual nos enseña como ingresar los datos paso por paso para poder hacer un correcto uso de esta herramienta.


d) Principales Herramientas




Figura 170: Herramientas Principales del Programa.
Fuente: Elaboración Propia.


La barra de herramientas contiene los siguientes botones: nuevo, abrir, guardar, correr, reporte, referencia y manual de usuario.


 **Nuevo:** Reinicia el proyecto, para empezar de nuevo, perderá datos y resultados que actualmente está trabajando.


 **Abrir archivo:** Puede abrir un archivo existente, anteriormente guardado, con la extensión .txt, para poder continuar con el diseño, o modificarlo. Vale recalcar que solo puede abrir datos, más no así resultados.

 **Guardar como:** Puede guardar un proyecto terminado, o un proyecto que no pudo concluir, para posteriormente trabajarlo. Esta herramienta permite guardar solo datos, mas no resultados.

▶ **Correr:** Este botón permite correr el programa haciendo los cálculos necesarios para generar el balance de las fuerzas.

 **Reporte:** Este botón nos otorga el reporte de resultados del diseño, generado en un archivo pdf, el cual lo puedes guardar en el destino que uno desea.

 **Manual:** Este botón nos muestra el manual de usuario para cada criterio de diseño.

 **Referencia:** Este botón muestra la referencia, es un archivo en formato pdf (libro, paper o tesis) del cual fue sacado el criterio de diseño

Los criterios de diseño se mencionaron en el capítulo 3.6.4. Marco del Programa en el cual se muestra como realizar un correcto uso del criterio de diseño.

4.4.2. INSTALACIÓN DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

Abrir la carpeta Desig LWM, y ejecutar el instalador del software, haciendo doble click sobre Setup como se ve en la figura:

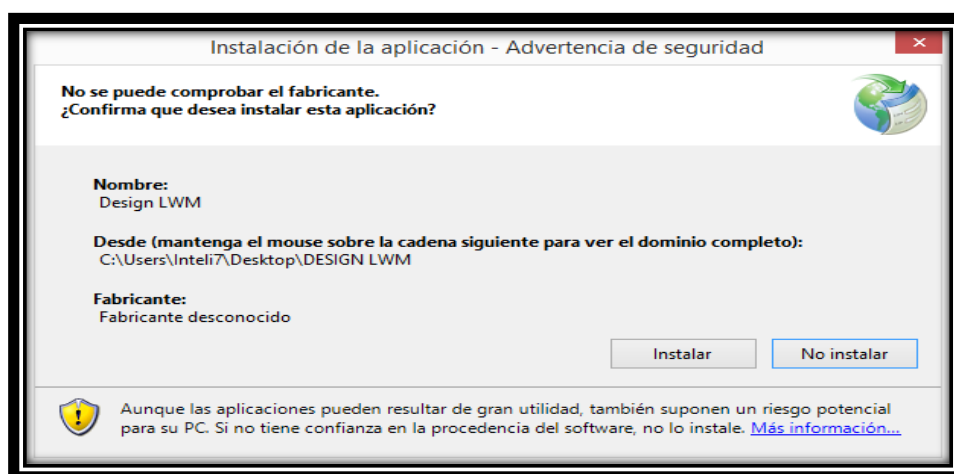


Figura 171: Ventana de Instalación.

Fuente: Elaboración Propia.

Se muestra en la ventana donde tiene que especificar la ruta donde se instalara el software. La instalación se realizará en la siguiente ruta C:\ Users\ Desktop\ Design LWM\ . Una vez definido la ruta, dar en instalar.

Luego aparece la ventana para confirmar la instalación del software:

Cuando la instalación ha terminado correctamente, se muestra la siguiente ventana principal del programa.

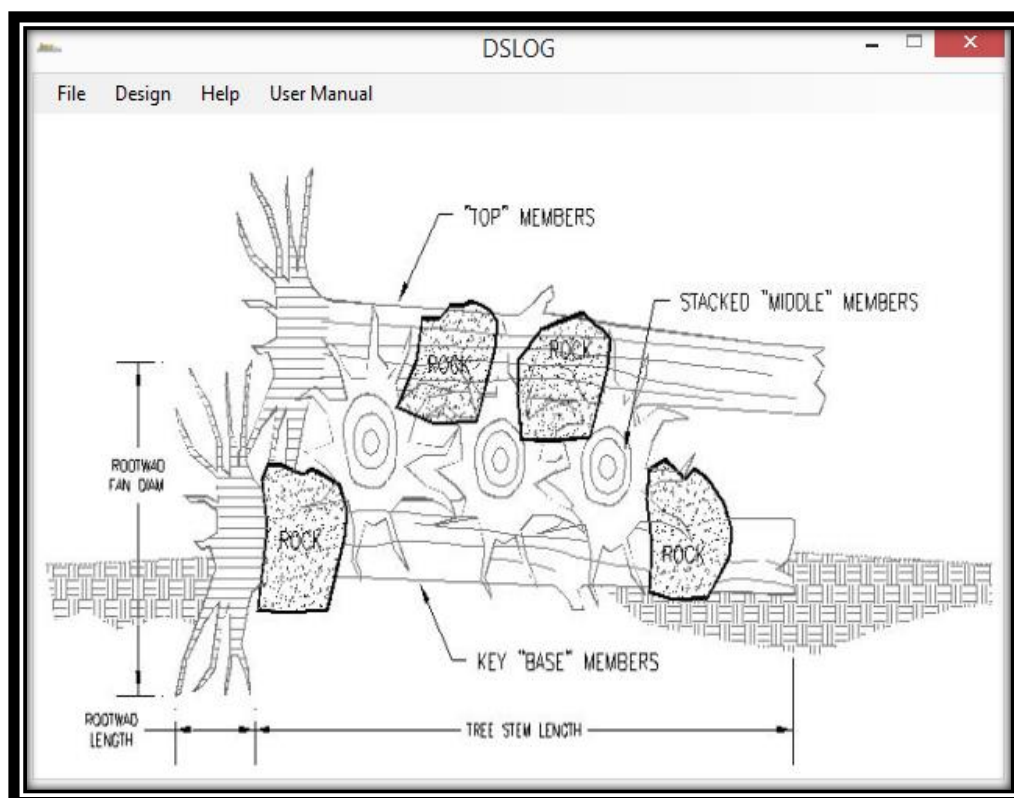


Figura 172: Ventana Principal del Programa.
Fuente: Elaboración Propia.

Ahora puede ir al escritorio y encontrar el icono de la aplicación, desde donde puede ejecutarlo para usar este nuevo aplicativo de ingeniería.

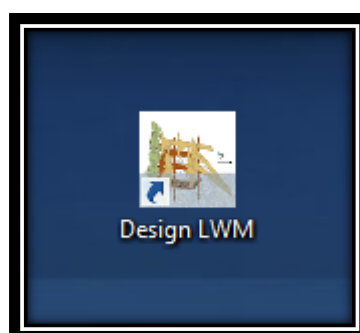


Figura 173: Icono del Programa en el Escritorio.
Fuente: Elaboración Propia.

4.5.GEOMORFOLOGÍA DEL CAUCE

Los cambios geomorfológicos que producen las fuerzas del agua son denominados erosión y sedimentación, en este caso la zona “La pastora” se encuentra afectada por una migración lateral acelerada por lo que es necesario plantear las defensas ribereñas.

Una vez aplicada estas grandes estructuras de madera denominados “ELJ” y ensayado en cada prueba se obtuvo los siguientes resultados como se muestra en la siguiente figura.

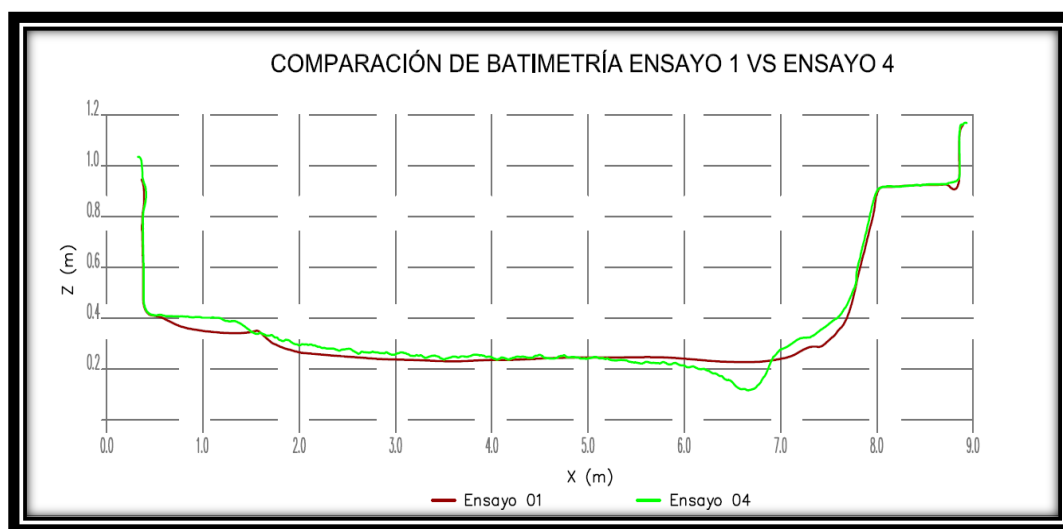


Figura 174: Cambio de batimetría después del ensayo 4.
Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos ver en la figura anterior en una sección típica con espigones vemos que se produjo una sedimentación en la margen derecha y en la punta del espigón una erosión intensa. Mostramos todas las secciones en el Anexo 10.

Como vemos los espigones cumplen con su propósito que es sedimentar en la margen y erosionar hacia el centro del río para formar el nuevo thalweg.

Mostramos las áreas de sedimentación en la siguiente tabla principalmente en las secciones de mediciones mostradas anteriormente.

Tabla 48: Áreas de sedimentación Ensayo 1 vs Ensayo 3.

Ensayo 03	
Sección	Sedimentación
	mm²
X03_I	---
X03_01	88000
X03_02	103000
X03_03	67000
X03_04	40000
X03_05	0.000
X03_06	1000
X03_07	2000
X03_08	11000
X03_09	22000
X03_O	---

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 49: Áreas de sedimentación Ensayo 1 vs Ensayo 4.

Ensayo 04	
Sección	Sedimentación
	mm²
X04_I	---
X04_01	65000
X04_02	61000
X04_03	66000
X04_04	19000
X04_05	6000
X04_06	2000
X04_07	43000
X04_08	20000
X04_09	6000
X04_O	---

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 50: Áreas de sedimentación Ensayo 1 vs Ensayo 6.

Ensayo 06	
Sección	Sedimentación
	mm²
X06_I	---
X06_01	110000
X06_02	81000
X06_03	95000
X06_04	48000
X06_05	3000
X06_06	5000
X06_07	27000
X06_08	14000
X06_09	14000
X06_O	---

Fuente: Elaboración Propia.

En algunas secciones no se produjo sedimentación por lo que predominó la erosión en toda la sección, la sección de salida no presentó cambio alguno.



Figura 175: Cambio en forma del lecho.
Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos ver se produjo una sedimentación considerable por lo que las estructuras fueron bien planteadas y pudieron cumplir su función.

4.6.DISCUSIÓN

Con los estudios realizados en la presente tesis y el estudio hecho por Brooks en el proyecto de reintroducción de madera en el río Williams, se han realizado comparaciones de deposición de sedimentos (sedimentación).

4.6.1. TESIS DE INVESTIGACIÓN

Se realizó 6 ensayos, de la cual solo se tomó en cuenta el ensayo 1, ensayo 3, ensayo 4 y ensayo 6. Los cuales describimos a continuación:

Ensayo 01: Se simuló un caudal de $14341 \text{ m}^3/\text{s}$ en prototipo que vendría hacer 514.28 l/s en modelo. En este ensayo no se colocó espigones, ya que solo se vería resultados de velocidades, tirantes y cambio en el lecho para futuras comparaciones.

Ensayo 03: En este ensayo se modeló el mismo caudal que para el Ensayo 1 con la diferencia que se colocaron 12 espigones.

También realizamos todas las mediciones que, en el anterior ensayo, con la diferencia que se midió velocidades aguas arriba de cada espigón, en la parte central del espigón y aguas abajo de cada espigón.

Ensayo 04: Este ensayo es similar al Ensayo 3 con un ligero cambio, colocamos 11 espigones. Y continuamos con el mismo procedimiento de recolección de datos.

Ensayo 06: En este último ensayo, modificamos el número de espigones a 12 y procedimos hacer las mismas mediciones como en el Ensayo 3.

4.6.2. PROYECTO DE REINTRODUCCIÓN DE MADERA EN EL RIO WILLIAMS

En setiembre del año 2000, se construyeron 20 ELJ que incorporan 436 troncos en un tramo de 1100 m para un caudal de $350 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la presente tesis demuestran que las estructuras ELJ cambian la línea de flujo (thalweg) hacia el centro del canal y disminuye el flujo secundario que da origen a la migración lateral. Por otro lado, disminuyen la velocidad entre espigones lo que hace que las partículas en suspensión se depositen entre estos. Estas velocidades disminuyeron respecto al ensayo 1 varían en un 30% respecto al ensayo 3, en un 50% respecto al ensayo 4 y en un 60% a más en el ensayo 6. La geomorfología del lecho sufrió un cambio favorable llegando a obtener una sedimentación entre los espigones de $334\,000 \text{ mm}^2$ respecto al ensayo 3, $288\,000 \text{ mm}^2$ respecto al ensayo 4 y $397\,000 \text{ mm}^2$ respecto al ensayo 6; lo que demuestra

que se está recuperando la rehabilitación ribereña. En lo concerniente a la parte de ingeniería las estructuras no sufrieron ningún tipo de desprendimiento de sus miembros, por lo que se valida el buen rendimiento de la herramienta computacional.

Mientras que Brooks da resultados de su proyecto después de 5 años de haber construidos los ELJs, concluyendo que el incremento neto en el almacenamiento de sedimentos es de $40 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^2$ con una pérdida durante el mismo periodo de $-15 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^2$; pero adicionalmente a la regeneración ribereña también hizo estudio sobre el impacto ecológico demostrando que por estas estructuras se aumentó la abundancia de los peces en un 53.4% y en el mismo tiempo hubo una disminución de 13.2%.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

- En el análisis de estabilidad hidráulica, se ha demostrado que las grandes estructuras de madera para defensas ribereñas cumplieron eficientemente su función, y no llegaron a sufrir volcadura o desprendimiento de sus miembros estructurales; ello debido a la buena performance de la herramienta computacional denominada “DSLOG”, que ha permitido darnos los factores de seguridad adecuado de acuerdo a lo mínimo según Knutson y Fealko; por lo que la herramienta computacional otorga muy buenos resultados en un tiempo óptimo. Adicionalmente los resultados del programa nos otorgan un reporte de las ecuaciones que se utilizó en el criterio de diseño.
- Los fenómenos de migración lateral erosiva que ocurre en la margen derecha del río Madre de Dios en la zona “La Pastora”, es debido a la velocidad de impacto que tiene el agua en la curva del meandro pero principalmente por el flujo secundario que ocurre en este, el cual hace que las que las partículas finas de la margen derecha se laven y por los efectos de vorticidad que hay en ellos cause esta migración lateral, obteniendo un promedio de 2.65 m anual, el cual tenía una variación mínima de 1.28 m y máxima de 6.62 m. Esto se ha obtenido gracias a la aplicación de las imágenes satelitales LandSat 7 y Landsat 8 entre los años 2000 y 2015.
- En lo correspondiente al estudio hidrológico del informe de “PRZ ingenieros” se obtuvo los periodos de retorno lo cual se detallan a continuación los que serán usados para el modelamiento hidráulico con el modelo numérico IBER.

✓ Periodo de retorno $Tr = 2.2$ años	$Q_{2.2} = 8003 \text{ m}^3/\text{s}$
✓ Periodo de retorno $Tr = 25$ años	$Q_{25} = 12997 \text{ m}^3/\text{s}$
✓ Periodo de retorno $Tr = 50$ años	$Q_{50} = 14341 \text{ m}^3/\text{s}$
✓ Periodo de retorno $Tr = 100$ años	$Q_{100} = 15789 \text{ m}^3/\text{s}$

Con el modelo IBER se obtuvieron velocidades y tirantes, que para ello se hizo una previa calibración del modelo numérico; el cual se comparó resultados con respecto al IRD llegando a obtener una desviación relativa menor de 1% de los tirantes, por lo que tiene una alta confiabilidad los resultados obtenidos por el modelo numérico.

En cuanto a la calibración de velocidades, el IBER brinda excelentes resultados, porque incluye un módulo de turbulencia que es favorable para ríos meándricos, como es el presente caso, en el cual se tuvo en cuenta la capa límite como factor predominante en este módulo, obteniendo un porcentaje de error del 15%, si bien es cierto que el porcentaje es alto, se debe considerar rangos de aplicación para el software diseñado.

En el análisis de los resultados de velocidades obtenidas del modelo físico, se obtuvo que las velocidades respecto al ensayo 1 varían un 30% respecto al ensayo 3, en un 50% respecto al ensayo 4 y en un 60% a más en el ensayo 6, diciendo esto que las estructuras LogJams son aplicables a ríos meándricos con esta magnitud de caudal.

En el análisis de los tirantes obtenidos del modelo físico, estos permanecieron casi constantes por lo que estas estructuras tal como en teoría son deflectores de flujo y su misión es desviar la corriente hacia el centro del río.

Respecto al análisis de la geomorfología del cauce, se obtuvo que los espigones producen grandes áreas de sedimentaciones aguas arriba y entre ellos, pero a la vez estos producen una erosión en la punta de estos.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo físico, y de acuerdo a las condiciones naturales que presenta el río Madre de Dios, por la presencia de grandes árboles (madera), es que se propone emplear una estructura de control de erosión, denominados espigones LogJams. Estos espigones moderaron la corriente principal, alejando el thalweg de la orilla hacia el centro del río y debilitando las corrientes secundarias que se originan en tramos curvos.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Es necesario saber cuál es la vida útil de cada tipo de madera por lo que se recomienda hacer un estudio de las diferentes especies que tiene nuestra selva peruana para así poder usarlas como fuente de material en estas obras de estructuras de defensas ribereñas.
- En el proceso de estabilidad de los espigones en el modelo físico, el fenómeno de socavación en la punta del espigón fue muy grande por lo que se recomienda estudiar con mayor detalle el componente de los pilotes de madera.
- Se recomienda que, para un trabajo más detallado sobre la herramienta computacional, en la que se pueda añadir el código para el cálculo de permeabilidad ya que este es un factor muy importante para la desviación o disminución del flujo secundario.
- Se recomienda en casos de socavación en los espigones colocar geo celdas o geotextiles biodegradables.
- Hoy en día existen muchos modelos numéricos donde se pueden incluir estructuras impermeables, pero en este caso esos espigones son permeables por lo que algunos software no tienen la capacidad de resolver ecuaciones en 3 dimensiones, es por tal, que se recomienda investigar sobre software que resuelvan las ecuaciones en 3 dimensiones como el Open Foam, Telemac, Ansys ya que esto llevaría el nivel de la ingeniería hidráulica y de otras ramas a otro nivel, sin la necesidad de hacer modelos físicos que cuestan mucho dinero.

CAPITULO VII

7. REFERENCIAS

Abbe, T.B. and Montgomery, D.R. (1996). *“Interaction of Large Woody Debris, Channel Hydraulics and Habitat Formation in Large Rivers.”* Regulated Rivers Research & Management. 12, pp. 201-221.

Abbe, T. B. and Montgomery, D.R. (2003a). *“Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington.”* Geomorphology 51: 81-107.

Arbeláez, A. C. (2003). *Geomorfología Fluvial*. Cauca: Universidad de Cauca. Facultad de Ingeniería Civil.

Brown Scott A. (1985). Design of spur-Type Streambank stabilization structures. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1985.

Brooks, A. et al. (2006). *“Design guideline for the reintroduction of wood into Australian streams”*, Land & Water, Australia, Canberra.

Comisión Nacional del Agua, Instituto de ingeniería, UNAM. Inicio de Movimiento y Acorazamiento. *Capítulo 8. Manual de Ingeniería de Ríos*. México, D.F.: Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1996.

D ’Aoust and Robert G. Millar (2000). *“Stability of Ballasted Woody Debris Habitat Structures”*.

Doll Barbara A. et al. *“Stream Restoration”* A natural channel design Handbook. Prepared by the North Carolina Stream Restoration Institute and North Carolina Sea Grant.

Fernández Espinoza Joel Manuel, *“Propuesta de restauración del tramo urbano del río Rímac mediante la aplicación de bioingeniería”*, 2015.

Gracia-Sánchez, J. y Maza Álvarez, J.A (1997). *Morfología de Ríos. Capítulo 11. Manual de Ingeniería de Ríos*. Publicación 590. México, D.F.: Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Herrera, 2006 Environmental Consultants. (2006). *“Conceptual Design Guidelines- Application of Engineered Logjams”*, pp.6-7. Washington.

Knutson y Fealko (2014). *“Reclamation Managing Water in the West”*- Pacific Northwest Region, Resource and Technical Services, Large Woody Material – Risk Based Design Guidelines.

Maza J.A.(1975). *“Diseño de Espigones”* - Revista Recursos Hidráulicos de México - Vol 4 Nov. 2 1975.

MAZA-ÁLVAREZ, J.A. *“Erosión en ríos y obras de protección. Capítulo 13. Manual de Ingeniería de Ríos”*. Publicación 590. México, D.F.: Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1997.

Montgomery, D.R., Collins, B.D., Buffington, J.M., and Abbe, T.B. (2003). "*Geomorphic Effects of Wood in Rivers*". American Fisheries Society Symposium. 37, pp. 21-47.

Natural Resources Conservation Service. 2007. "*Use of large Woody material for hábitat and bank protection*", Technical Supplement TS 14J. National Engineering Handbook 210-VI-NEH. Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.

Odebrecht (2011) "*Defensas Ribereñas Zona La Pastora Km 480 + 910*" *Estudio de Hidrología*.

Parola, Arthur. 2000. "*Debris forces on highway bridges*", National Cooperative Highway Research Program Report 445. National Cooperative Highway Research Program, Washington, D.C.

Przedwojski B. Blazejewski R., Pilarczyk K.W. (1995) "*River Training Techniques*". A.A. Balkema, Rotterdam. 625 p.

Rafferty, M. 2013. "*Development of a computational design tool for evaluating the stability of large wood structures proposed for stream enhancement*". Fort Collins, Colorado.

Richardson, E.V., Stevens, M.A., Simos, D.B., (1975). "*The design of spurs for river training*". XVI th Congress of IAHR, Sao Paulo, Brazil. Vol.2, paper B47:382-388.

Rocha, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Lima: Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería.

Rosgen, D. L. (1994). *A classification of natural rivers*. ELSEVIER. CATENA, 169- 199.

Suárez, J. (2001). "*Control de Erosión en Zonas Tropicales*". Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Recuperado el 27 de Febrero de 2014.

Suárez, J. (2001). Espigones. *Control de erosión en zonas tropicales*, pp. 463-489. Bucaramanga-Colombia: Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos.

ANEXOS

**ANEXO 1: CARTA DE VALIDACION DE ENSAYOS EN EL
MODELO FISICO DEL LABORATORIO NACIONAL DE
HIDRAULICA**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA

Av. Túpac Amaru N° 210 Rimac, Puerta N° 4-B -UNI - Tel. 4 811920 - 4 811991 LIMA PERÚ

E-mail: lnh_uni@uni.edu.pe lnh_uni@hotmail.com lahuni2011@gmail.com



Lima, 25 de Junio de 2018

Oficio N° 160/2018-LNH

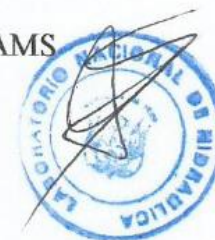
Señor Ing.
JAIME MEDINA LEIVA
Coordinador de Investigación
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
Universidad del Altiplano - Puno

Presente

Estimado Ingeniero Medina:

Por medio de la presente me es grato saludarlo y hacer de su conocimiento que el Sr. Luis Antony Huaranca Quispe, identificado con código de estudiante N° 095011 de la Universidad Nacional del Altiplano, ha participado en el proyecto N° 358-PNICP-PIAP-2014, Espigones Fabricados Con Troncos De Árboles: Una Alternativa Contra La Erosión En Ríos Meándricos, el cual ha sido cofinanciado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (INNOVATE PERU). El Sr. Huaranca respondió a la convocatoria realizada por el Ing° Luis Castro Inga para participar en este estudio y se desempeñó como Asistente de Investigación desde el 1 de octubre del 2015 hasta noviembre del 2017. El proyecto consistía en un programa experimental para probar, en modelo físico, estructuras de control de erosión tipo espigones ELJ (troncos entramados diseñados mediante ingeniería). El propósito era diseñar estructuras que permitieran mitigar los efectos erosivos en la margen externa de un meandro empleando materiales locales. Durante su participación en este proyecto desarrolló las siguientes actividades:

- Replanteo del lecho móvil (nivelación y colocación de tarugos de secciones transversales)
- Apoyo en la fabricación de los espigones de madera
- Monitoreo aéreo con Drone
- Lectura de tirantes
- Lectura de velocidades con el vectrino profile
- Procesamiento de datos de velocidades
- Procesamiento de datos de tirantes
- Procesamiento de datos del cambio de lecho
- Elaboración del software "DSLOG" que diseña espigones LOGJAMS
- Elaboración de un software para el diseño de rápidas.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA**

Av. Túpac Amaru Nº 210 Rímac, Puerta Nº 4-B -UNI - Tel. 4 811920 - 4 811991 LIMA PERÚ

E-mail: lnh_uni@uni.edu.pe lnh_uni@hotmail.com lnhuni2011@gmail.com



Cabe mencionar que el Sr. Huaranca cumplió con responsabilidad, diligencia y buena disposición para el trabajo en equipo las tareas encomendadas, además de mostrar una gran capacidad de aprendizaje.

El Laboratorio Nacional de Hidráulica le facilitó datos al Sr. Luis Antony Huaranca Quispe para que pudiera desarrollar la tesis "Desarrollo de una Herramienta Computacional para el diseño de grandes estructuras de madera para Defensas Ribereñas aplicado al tramo la Pastora del Río madre de Dios - Perú", de su autoría. Es necesario mencionar que el LNH empleó el modelo desarrollado para un proyecto de ingeniería como base para realizar pruebas de procedimientos alternativos de diseño en el proyecto N° 358-PNICP-PIAP-2014, auspiciado por INNOVATE.

Espero que esta carta sirva para aclarar la participación del Sr. Huaranca en el desarrollo del proyecto y validar el origen de los datos empleados en su tesis.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para hacerles llegar mis saludos e invitarlos a conocer nuestras instalaciones, esperando que puedan generarse mayores lazos de colaboración.

Atentamente,



**ANEXO 2: ESTUDIO DE HIDROLOGIA “DEFENSAS RIBEREÑAS
ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”**



CORREDOR VIAL INTEROCEÁNICO SUR

TRAMO 3

PUENTE INAMBARI - IÑAPARI

DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910

ESTUDIO DE HIDROLOGIA

LIMA, DICIEMBRE 2011

DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA**INFORME FINAL DE HIDROLOGÍA****1. INTRODUCCIÓN**

El estudio de hidrología forma parte de los estudios básicos para el diseño de las defensas ribereñas de la margen derecha del río Madre de Dios, en la zona La Pastora de la ciudad de Puerto Maldonado, diseños que requieren de estudios de máximas avenidas.

El río Madre de Dios no dispone de registros de caudales, por lo que en este estudio se han generado caudales de avenidas a partir de:

- Marcas dejadas por máximas avenidas que han ocurrido en la zona
- Con datos de precipitaciones máximas.

2. CUENCA DEL RIO MADRE DE DIOS**2.1 Generalidades**

La cuenca del río Madre de Dios geográficamente se ubica entre los 69°15' y 72°10' de longitud oeste, y entre los 11°19' y 14°40' de latitud sur. Limita por el norte con la cuenca del río Las Piedras, por el este con la cuenca del río Tambopata, por el oeste con la cuenca del río Urubamba, y por el sur con la cuenca del Lago Titicaca. En las Fig. N° 1, se muestra la cuenca del río Madre de Dios, y en la Foto 1 una imagen satelital de la zona donde se ubica la cuenca

El río Madre de Dios, que se encuentra en la región Madre de Dios – Perú, es un afluente del río Madeira (Brasil), y pertenece a la cuenca del río Amazonas, tiene una variación altimétrica desde aproximadamente 171 msnm (en la zona de estudio en la zona La Pastora - Puerto Maldonado) hasta 5980 msnm en el límite de la cuenca con la cuenca del Lago Titicaca. Desde la zona La Pastora, en Puerto Maldonado, el área de la cuenca es de 56 552.69 Km² (Fig. 01).

2.2 Parámetros Geomorfológicos

La cuenca, por su magnitud y ubicación, tiene tres zonas bastante diferenciadas:

- Una zona de llanura amazónica, con vegetación densa, terrenos de escasa pendiente y suelos potentes arcillosos pesados, generalmente húmedos y con precipitación durante la mayor parte del año
- Una zona de selva alta, compuesto de pequeñas colinas cubiertas con vegetación tupida
- Una zona de sierra que llega hasta una altitud máxima de 5980 msnm

En el Cuadro N° 1 se presentan los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Madre de Dios.

Cuadro N° 1 Cuenca del río Madre de Dios. Parámetros Geomorfológicos

Parámetros	Cuenca del Río Madre de Dios
Área hasta la zona La Pastora (km ²)	56 553
Perímetro (km)	1929.48
Longitud del Cauce Principal (km)	817.071
Pendiente Promedio del Cauce Principal en la zona de estudio (%)	0.0005
Factor de Forma (adimensional)	0.45
Índice de Compacidad (adimensional)	2.29
Altitud Media (m.s.n.m.)	1442
Pendiente de la Cuenca (%)	0.0031

Fuente: Elaboración propia



Fig. 1 Cuenca del río Madre de Dios, hasta la zona de La Pastora – Puerto Maldonado

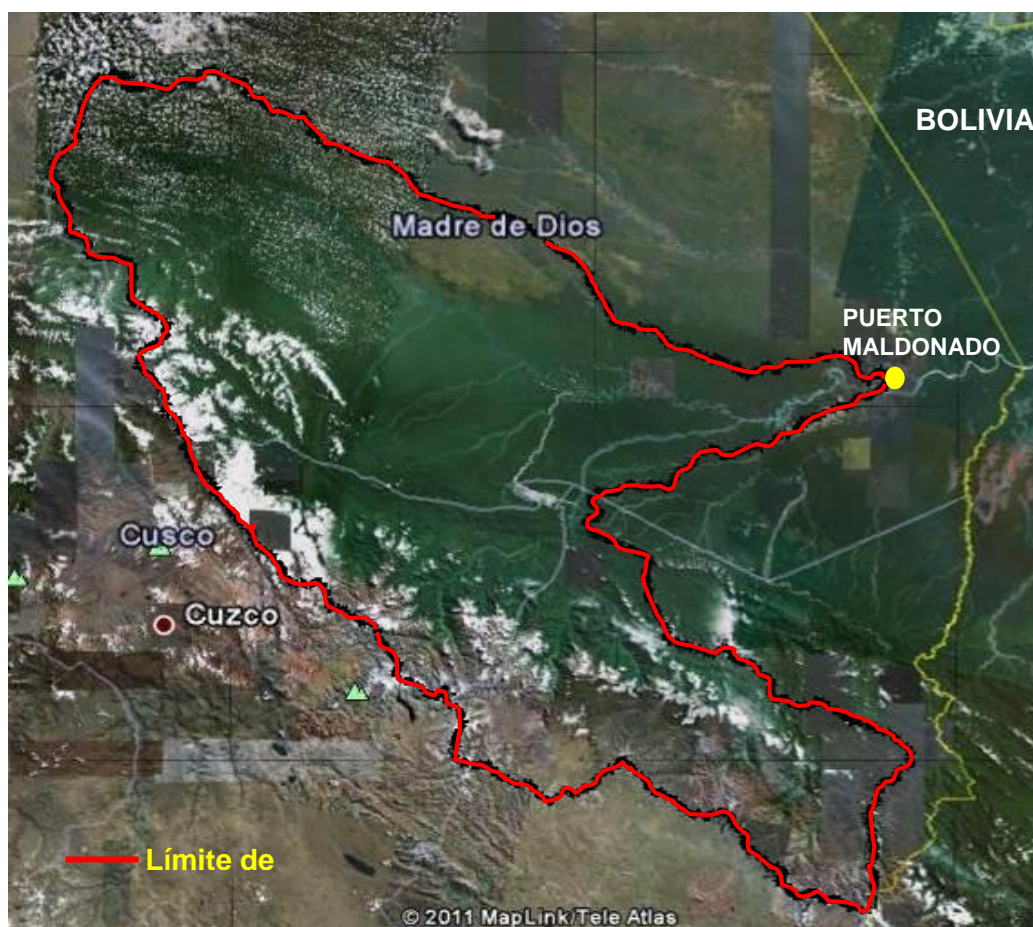


Foto. 1: Foto satelital de la zona de la cuenca del río Madre de Dios

3. CAUDALES MAXIMOS DE DISEÑO

3.1 Generalidades

Tal como se menciona, el río Madre de Dios no dispone de registros de caudales, por lo que los caudales máximos deben ser generados. Se tienen diferentes métodos para los cálculos de caudales, métodos que permiten definir el orden de magnitud de los caudales máximos en el río Madre de Dios. En el presente estudio se obtuvieron caudales máximos de:

- Por cálculos hidráulicos, tomando en cuenta las marcas dejadas por máximas avenidas, y por lo observado por los pobladores de la zona.
- A partir de datos de precipitaciones máximas de 24 horas.

3.2 Estudio y selección de la información disponible de precipitaciones

En la cuenca del río Madre de Dios se han identificado 08 estaciones, distribuidas adecuadamente en la cuenca, que disponen de registros de precipitaciones máximas en 24 horas; de estas, sólo 05 estaciones disponen de suficiente información pluviométrica para cálculos estadísticos adecuados. En el Cuadro N° 2 se presenta la relación de las estaciones, y en la Fig. 2 se muestra la ubicación de estas estaciones.

Cuadro N° 2 Estaciones Pluviométricas Importantes en la cuenca del río Madre de Dios

Nombre	Años de Registro	Latitud (S)	Longitud (O)	Altitud (msnm)
Puerto Maldonado	1992 – 1995	12° 35´	69° 12´	256
	1998 - 2010			
Salvación*	1987	11° 21´	69° 35´	520
	2001 - 2005			
Pakitza*	2002 -2005	11° 56´	71° 16´	350
San Gabán	1965 – 1988	12° 35´	69° 12´	635
	1993 - 2010			
Quincemil	1964 – 1977	13° 13´	70° 45´	651
	1997 - 2010			
Rocotal*	2000 – 2002	13° 06´	71° 34´	2010
	2005 - 2007			
Limbani	1964 – 1977	14° 07´	69° 41´	3183
	1986 – 2004			
	2006 - 2010			
Ollachea	1963 – 1984	13° 48´	70° 29´	3420
	1986			
	1993 - 2010			

* Estaciones que tienen escasa información

En el Cuadro N° 3 se tiene el registro de precipitaciones máximas de 24 horas (mm), medidos en las estaciones que se indican en el Cuadro N° 2

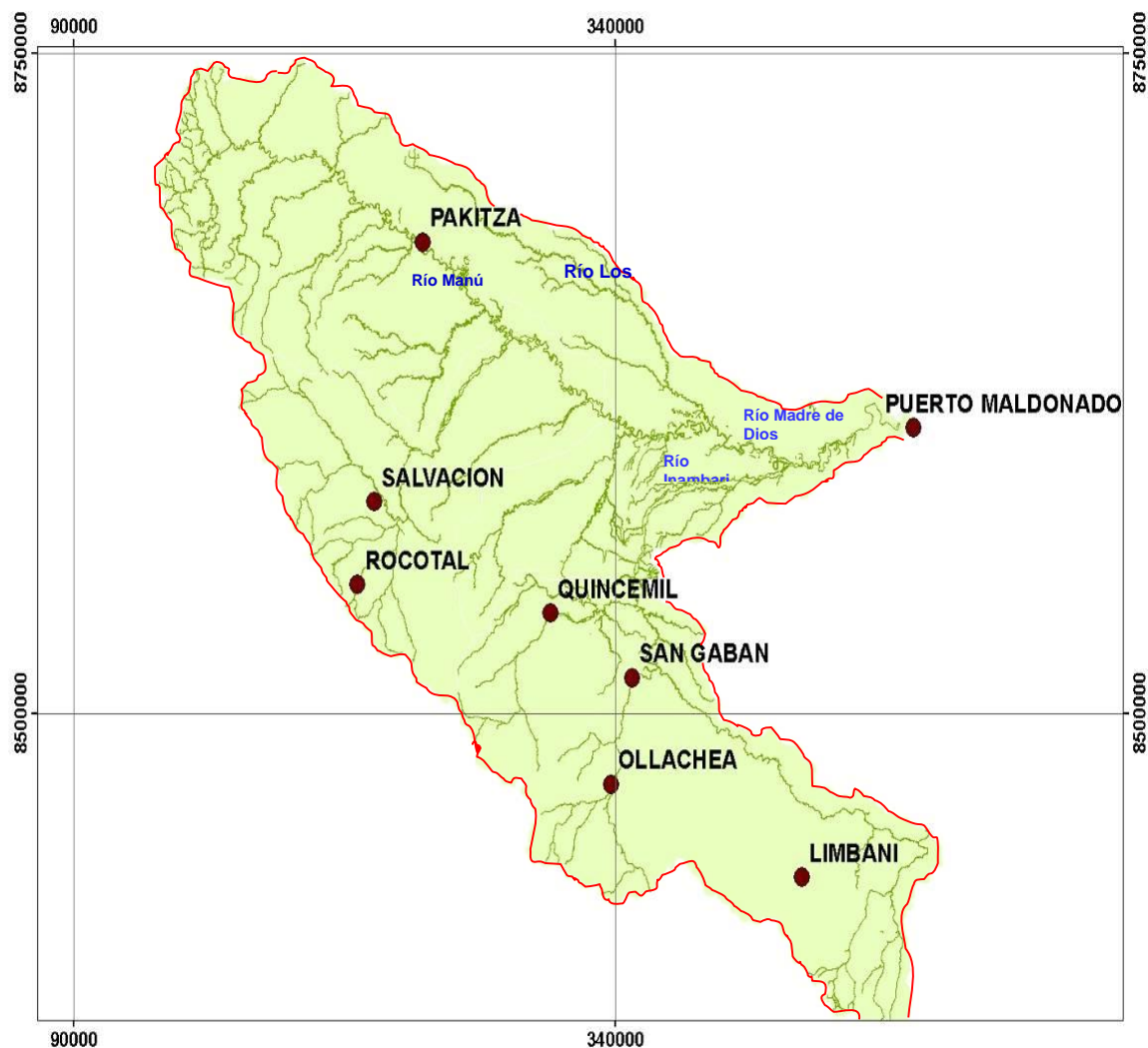


Fig. 2 Estaciones pluviométricas en la cuenca del río Madre de Dios, usadas en el estudio de hidrología



Cuadro Nº 3 Información de Precipitación máxima de 24 horas (mm) en estaciones pluviométricas importantes en la cuenca del río Madre de Dios

Año	Pakitza 350 msnm	Año	Rocotal 2010 msnm	Año	Salvación 520 msnm	Año	Puerto Maldonado 256 msnm
92 - 93		92 - 93		92 - 93		92 - 93	120,0
93 - 94		93 - 94		93 - 94		93 - 94	99,0
94 - 95		94 - 95		94 - 95		94 - 95	101,4
95 - 96		95 - 96		95 - 96		95 - 96	
96 - 97		96 - 97		96 - 97		96 - 97	
97 - 98		97 - 98		97 - 98		97 - 98	
98 - 99		98 - 99		98 - 99		98 - 99	76,9
99 - 00		99 - 00		99 - 00		99 - 00	107,5
00 - 01		00 - 01	97,3	00 - 01		00 - 01	158,3
01 - 02		01 - 02	166,8	01 - 02	158,6	01 - 02	158,9
02 - 03	148,0	02 - 03		02 - 03	170,2	02 - 03	153,8
03 - 04	98,7	03 - 04		03 - 04	218,7	03 - 04	92,0
04 - 05	121,0	04 - 05		04 - 05	138,0	04 - 05	113,0
05 - 06		05 - 06	86,4	05 - 06		05 - 06	120,3
06 - 07		06 - 07		06 - 07		06 - 07	70,6
07 - 08		07 - 08	107,7	07 - 08		07 - 08	145,0
Prom.	122.6	Prom.	114.6	Prom.	171.4	Prom.	116.7



Cuadro 3 (Cont.) Información de Precipitación máxima de 24 horas (mm) en estaciones pluviométricas importantes en la cuenca del río Madre de Dios

Año	Quincemil 651 msnm	Año	San Gabán 635 msnm	Año	Ollachea 3420 msnm	Año	Limbani 3183 msnm
63 - 64		63 - 64		63 - 64	31,0	63 - 64	
64 - 65	230,8	64 - 65		64 - 65	22,5	64 - 65	42,9
65 - 66	163	65 - 66	210,0	65 - 66	33,5	65 - 66	30,1
66 - 67	192	66 - 67	187,0	66 - 67	31,5	66 - 67	38,1
67 - 68	264,2	67 - 68	144,3	67 - 68	41,0	67 - 68	28,4
68 - 69	206,5	68 - 69	147,6	68 - 69	47,5	68 - 69	37,0
69 - 70	187,3	69 - 70	135,4	69 - 70	36,0	69 - 70	32,0
70 - 71	130,2	70 - 71	251,3	70 - 71	38,1	70 - 71	24,0
71 - 72	270	71 - 72	129,8	71 - 72	42,0	71 - 72	23,4
72 - 73	270	72 - 73	180,1	72 - 73	37,6	72 - 73	35,1
73 - 74	200	73 - 74	229,2	73 - 74	48,4	73 - 74	18,8
74 - 75	175,4	74 - 75	200,2	74 - 75	25,0	74 - 75	21,0
75 - 76	183,8	75 - 76	105,1	75 - 76	36,4	75 - 76	23,8
76 - 77	276,2	76 - 77	167,0	76 - 77	39,8	76 - 77	13,9
77 - 78		77 - 78	109,9	77 - 78	35,0	77 - 78	
78 - 79		78 - 79	176,0	78 - 79	29,2	78 - 79	
79 - 80		79 - 80	119,0	79 - 80	39,8	79 - 80	
80 - 81		80 - 81	231,2	80 - 81	29,2	80 - 81	
81 - 82		81 - 82	198,2	81 - 82	34,0	81 - 82	
82 - 83		82 - 83	230,5	82 - 83	27,6	82 - 83	
83 - 84		83 - 84	109,2	83 - 84	40,0	83 - 84	
84 - 85		84 - 85	163,2	84 - 85		84 - 85	
85 - 86		85 - 86	145,7	85 - 86		85 - 86	
86 - 87		86 - 87	110,3	86 - 87		86 - 87	22,4



Año	Quincemil 651 msnm	Año	San Gabán 635 msnm	Año	Ollachea 3420 msnm	Año	Limbani 3183 msnm
87 - 88		87 - 88	132,3	87 - 88		87 - 88	37,2
88 - 89		88 - 89	105,6	88 - 89		88 - 89	13,7
89 - 90		89 - 90		89 - 90		89 - 90	18,6
90 - 91		90 - 91		90 - 91		90 - 91	18,4
91 - 92		91 - 92		91 - 92		91 - 92	23,3
92 - 93		92 - 93		92 - 93		92 - 93	34,6
93 - 94		93 - 94	270,5	93 - 94	43,0	93 - 94	57,3
94 - 95		94 - 95	151,5	94 - 95	29,2	94 - 95	27,8
95 - 96		95 - 96	179,0	95 - 96	33,0	95 - 96	36,4
96 - 97		96 - 97	149,5	96 - 97	75,8	96 - 97	41,0
97 - 98	172,2	97 - 98	146,6	97 - 98	104,0	97 - 98	53,8
98 - 99	224	98 - 99	383,7	98 - 99	44,0	98 - 99	59,4
99 - 00	198,9	99 - 00	179,6	99 - 00	35,9	99 - 00	40,5
00 - 01	175,4	00 - 01	394,8	00 - 01	55,0	00 - 01	38,3
01 - 02	160	01 - 02	318,3	01 - 02	33,5	01 - 02	33,6
02 - 03	235,5	02 - 03	175,3	02 - 03	42,8	02 - 03	36,4
03 - 04	166,1	03 - 04	117,4	03 - 04	33,0	03 - 04	34,6
04 - 05	120,0	04 - 05	224,3	04 - 05	48,1	04 - 05	
05 - 06	153,7	05 - 06	234,0	05 - 06	35,9	05 - 06	
06 - 07	187,4	06 - 07	556,6	06 - 07	74,7	06 - 07	51,9
07 - 08	243,9	07 - 08	441,7	07 - 08	27,5	07 - 08	29,2
08 - 09	252,4	08 - 09	306,5	08 - 09	42,2	08 - 09	66,2
09 - 10	205,2	09 - 10	138,2	09 - 10	32,6	09 - 10	34,7
Prom	201.7	Prom	202.1	Prom	40.4	Prom	33.7



Tal como se observa en el Cuadro N° 3, hay estaciones que tienen muy escasa información, sin embargo la información que disponen es muy útil para identificar otras estaciones con suficiente información, situadas en altitudes del mismo orden de magnitud o que tengan información con un comportamiento hidrológico similar; lo cual hace que sea posible calcular precipitaciones máximas, con diferentes periodos de retorno, en las zonas donde se encuentran estas estaciones con escasa información pluviométrica

Analizando la variación de la precipitación con la altitud se observa que desde Puerto Maldonado el valor promedio de la precipitación máxima de 24 horas se incrementa con la altitud, hasta llegar a selva alta; luego en sierra los valores van disminuyendo con la altitud, y a altitudes mayores a 3000 msnm las precipitaciones máximas promedio de 24 horas son menores a 50 mm.

3.3 Selección de las estaciones a considerar en el estudio

Estudiando el Cuadro N° 3 se observa que sólo 05 estaciones tienen la suficiente información para un análisis estadístico, estas son: Puerto Maldonado (256 msnm), San Gabán (635 msnm), Quincemil (772 msnm), Limbani (3183 msnm) y Olaechea (3420 msnm).

Con referencia a las estaciones que tienen escasa información pluviométrica (Pakitza, Salvación y Rocotal), fue posible obtener valores de precipitaciones máximas de 24 horas, con diferentes periodos de retorno, en zonas donde se ubican estas estaciones, con ayuda del Estudio Hidrológico del Perú, del convenio IILA – SENAMHI - UNI

3.4 Estudio de las muestras de precipitaciones en las estaciones que tienen información suficiente

Se hizo la prueba de bondad de ajuste con la información de las estaciones que tienen más de 12 años de registro. La función de probabilidad que mejor se ajustan a las muestras de datos de las estaciones pluviométricas se indican en el Cuadro N° 4 (Ver Anexo 2).

Cuadro N° 4 Resultado de las pruebas de bondad de ajuste

Estación	Función de probabilidad que mejor se ajusta a la muestra de datos
Puerto Maldonado	Gumbel
San Gabán	Gumbel
Quincemil	Gumbel
Limbani	Gumbel
Olaechea	Log Normal

En el Cuadro N° 5 se muestra los valores de precipitación máxima de 24 horas para diferentes periodos de retorno.

Cuadro N° 5 Cuenca del río Madre de Dios. Precipitación Máxima en 24 Horas para diferentes periodos de retorno

Periodo de Retorno (años)	Precipitación máxima de 24 horas (mm)				
	Puerto Maldonado (256 msnm)	San Gabán (635 msnm)	Quincemil (772 msnm)	Limbani (3183 msnm)	Olaechea (3420 msnm)
2.2	116.5	198.3	200.5	33.9	39.7
25	197.2	431.1	307.6	65.4	65.3
50	218.2	491.8	335.5	73.6	71.5
100	239.1	552.0	363.2	81.7	77.7
500	287.4	691.3	427.3	100.6	91.8

FUENTE: Elaboración propia

3.5 Determinación de precipitaciones máximas, con diferentes periodos de retorno, para las zonas de estaciones con escasa información

Las estaciones pluviométricas Pakitza, Rocotal y Salvación tienen escasa información, por lo que se ha procedido a utilizar el método que se presenta en el Estudio Hidrológico del Perú (IILA – SENAMHI – UNI) para generar precipitaciones máximas, con diferentes periodos de retorno, en las zonas donde se ubican estas estaciones.

El método desarrollado en este estudio para el cálculo de la precipitación, con un determinado periodo de retorno, consiste en aplicar la siguiente ecuación:

$$P_{Tr} = e_g \cdot (1 + k_g \cdot \log(T_r))$$

Donde:

P_{Tr} = Precipitación (mm) para un periodo de retorno de T_r

e_g = Precipitación Máxima diaria (mm), valor que depende de las subzonas pluviométricas definidas en el Estudio Hidrológico del Perú (Fig. 3)

k_g = Parámetro de frecuencia, valor que también depende de las subzonas pluviométricas

En el Cuadro N° 6 se muestra las subzonas, definidas en el Estudio Hidrológico del Perú, a las que pertenecen las estaciones en la cuenca del río Madre de Dios

Cuadro N° 6 Subzonas pluviométricas, definidas en el estudio de la hidrología del Perú, a las que pertenecen las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Madre de Dios (Fig. 3)

Subzona 123(1)	Subzona 123(3)
Pakitza	Quincemil
Puerto Maldonado	Limbani
	Ollachea
	Salvación
	Rocotal
	San Gabán

En el Cuadro N° 7 se muestra el valor de los parámetros utilizados para calcular las precipitaciones, para distintos periodos de retorno, usando el método del IILA – SENAMHI – UNI.

Cuadro N° 7 Valores de los parámetros k_g y e_g usados en los cálculos

Zona	k_g	SubZona	e_g
123	0.553	123(1)	85
123	0.553	123(3)	$100 - 0.022 \cdot y$

y = altitud de la estación, en metros

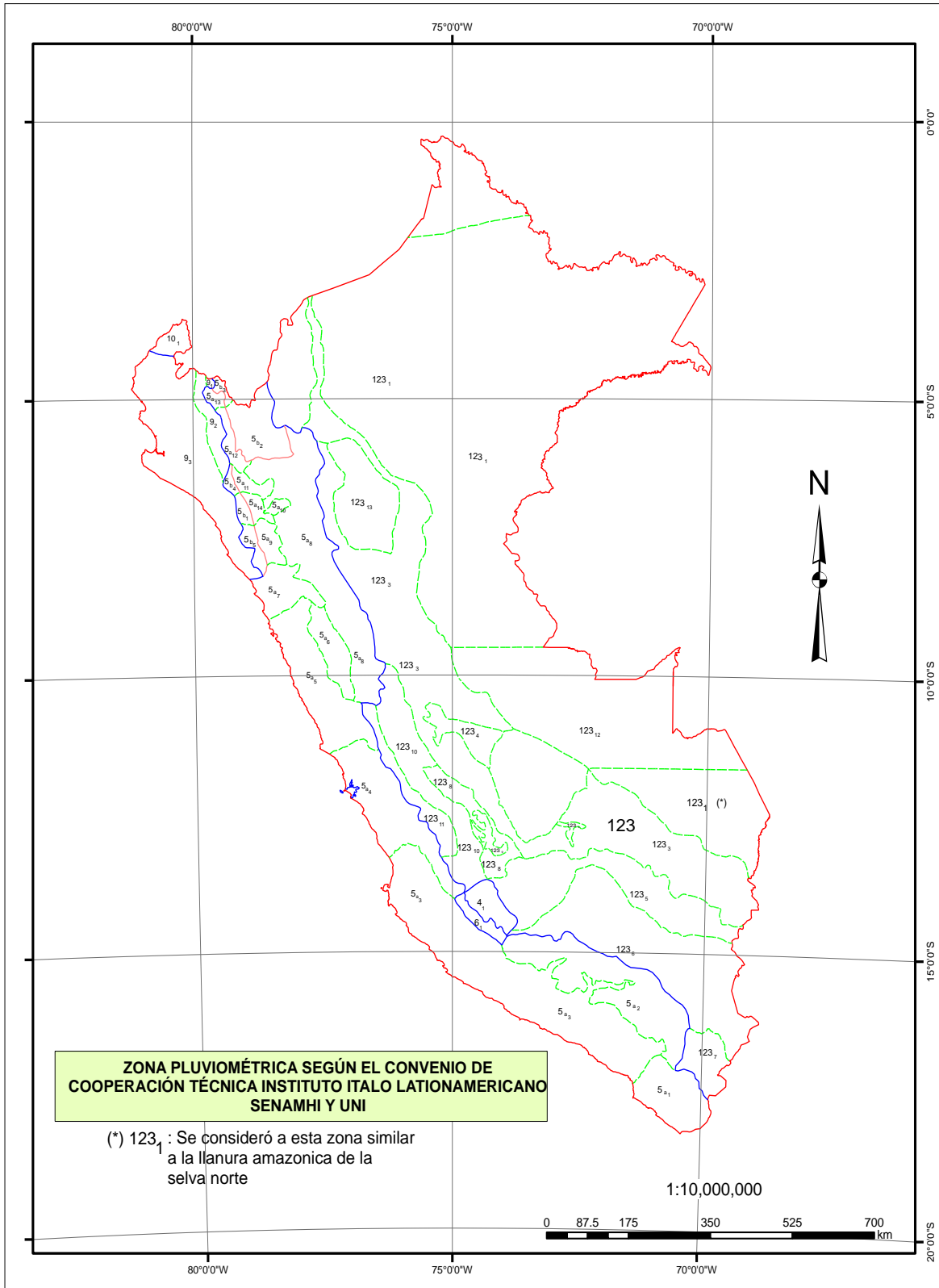


Fig. 3 Zonas Pluviométricas del Estudio Hidrológico del Perú (IILA – SENAMHI – UNI)



Para la determinación de las precipitaciones, con diferentes periodos de retorno, en la zona donde se ubican las estaciones pluviométricas Pakitza, Rocotal y Salvación, se siguen los siguientes pasos:

- Estudiando la escasa información, su ubicación y altitud, que tiene la estación en estudio, se identifica otra estación, con suficiente información, que tenga un comportamiento hidrológico similar. En el Cuadro N° 5 se muestra los resultados del análisis estadístico de las estaciones que tienen suficiente información. Los resultados del estudio comparativo indica que:
 - ✓ La estación Pakitza tiene un comportamiento parecido a la estación Puerto Maldonado
 - ✓ La estación Rocotal tiene un comportamiento parecido a la estación Puerto Maldonado
 - ✓ La estación Salvación tiene un comportamiento parecido a la estación Quincemil
- Por ejemplo, aplicando la siguiente relación se obtienen los datos en la estación Pakitza, que se requieren para el estudio hidrológico del proyecto de defensas ribereñas:

$$\frac{P_{Pakitza}^{AF}}{PTr_{Pakitza}^{IILA}} = \frac{P_{PuertoMaldonado}^{AF}}{PTr_{PuertoMaldonado}^{IILA}}$$

Donde:

$P_{Puerto Maldonado}^{AF}$ = Resultado del análisis estadístico en la estación Puerto Maldonado
(Cuadro N° 5)

$PTr_{Puerto Maldonado}^{IILA}$ = Resultado en la estación de Puerto Maldonado, aplicando el método del IILA-SENAMHI-UNI

$PTr_{Pakitza}^{IILA}$ = Resultado en la estación de Pakitza, aplicando el método del IILA-SENAMHI-UNI

$P_{Pakitza}^{AF}$ = Precipitación máxima de 24 horas obtenida en la estación Pakitza, para ser usada en el estudio hidrológico del proyecto



Los resultados para las tres estaciones se muestran en el Cuadro N° 8

Cuadro N° 8 Precipitación máxima de 24 horas, para diferentes periodos de retorno, obtenidas sobre la base del estudio IILA-SENAMHI-UNI

Periodo de Retorno (años)	Precipitación máxima de 24 horas (mm)		
	Pakitza (350 msnm)	Salvación (520 msnm)	Rocotal (2010 msnm)
2.2	116.5	213.9	33.9
25	197.6	328.1	193.0
50	218.8	358.0	213.6
100	239.8	387.5	234.2
500	288.3	455.8	281.5

FUENTE: Elaboración propia

3.6. Estimación de caudales máximos

Se aplican dos métodos para el cálculo del orden de magnitud de los caudales máximos, a fin de tener mejores criterios para la selección de los caudales de diseño:

- Determinación de caudales máximos a partir de marcas dejadas por las avenidas que han ocurrido en la zona de estudio, y por información proporcionada por los pobladores de la zona
- Determinación de caudales máximos a partir de datos de precipitación

3.6.1. Estimación de caudales máximos sobre la base de marcas dejadas por los máximos niveles de agua que han ocurrido en la zona de estudio.

Durante los trabajos del levantamiento topográfico y batimétrico, y con las versiones de los pobladores de la zona, se identificaron las marcas dejadas por las máximas avenidas que han ocurrido en la zona de estudio. En la Foto 2 se indica hasta donde aproximadamente llegan las aguas de máximas avenidas en la zona del embarcadero La Pastora, lo cual corresponde a un nivel de agua de avenida de 180.5 msnm.

Para la determinación del caudal máximo se usa el programa de modelo bidimensional RIVER 2D. En el mes de octubre del 2011 el Laboratorio Nacional de Hidráulica efectuó mediciones de velocidad y cálculo de caudales en tres secciones del río Madre de Dios, datos que sirvieron para calibrar el modelo RIVER 2D.

Para determinar el orden de magnitud de la máxima avenida, sobre la base de marcas dejadas en la ribera del río, al programa se le dio la siguiente información básica:

- Curvas de nivel del cauce principal del río
- Curvas de nivel de la llanura de inundación
- Valores del coeficiente n de Manning, los cuales se muestran en el Cuadro N° 9
- Gradiente hidráulico inicial de $S = 0.0005$



Foto. 2 Nivel promedio de máximos niveles de agua en la zona del embarcadero La Pastora

Cuadro N° 9 Valores del coeficiente n de Manning usados en la aplicación del programa RIVER 2D

Sector	Rugosidad de Manning (adimensional)	Rugosidad Absoluta (m)
Cauce Principal	0.04	1.21
Llanura de inundación	0.14	18.2

Las características de la topografía de la llanura de inundación, y de la batimetría del cauce principal se muestran en la Fig. 4, y los valores de la rugosidad se muestran en la Fig. 5. En la Fig. 6 se muestran los máximos niveles de agua en el tramo en estudio.

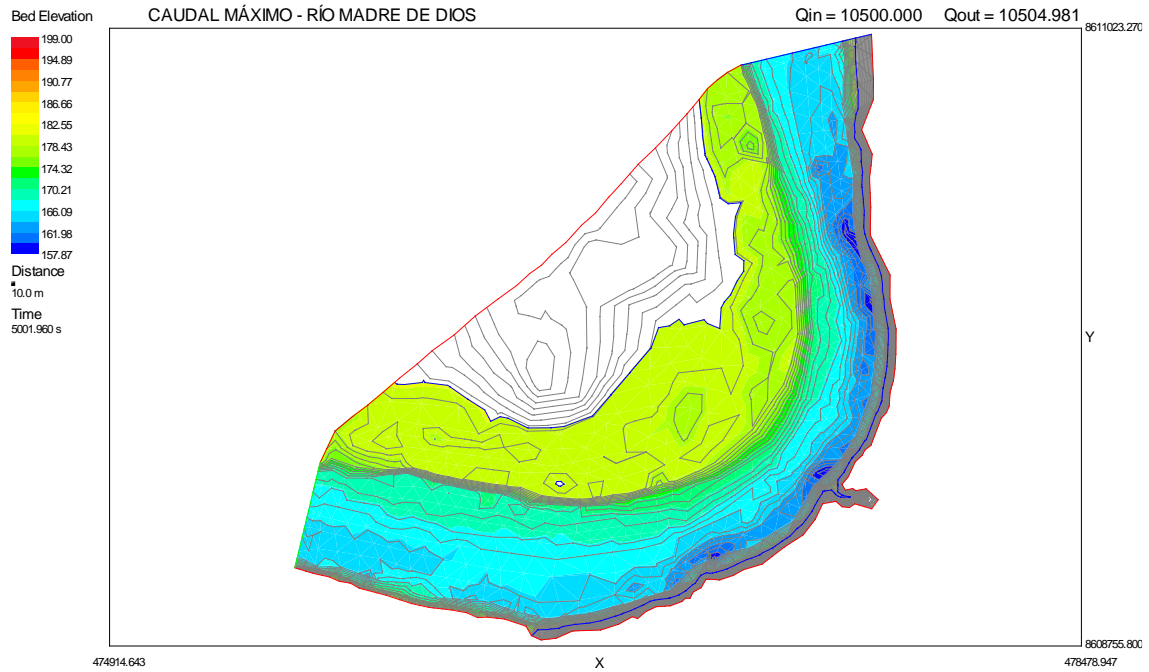


Fig. 4 Río Madre de Dios. Características de la topografía de la llanura de inundación, y de la batimetría del cauce principal (Programa RIVER 2D)

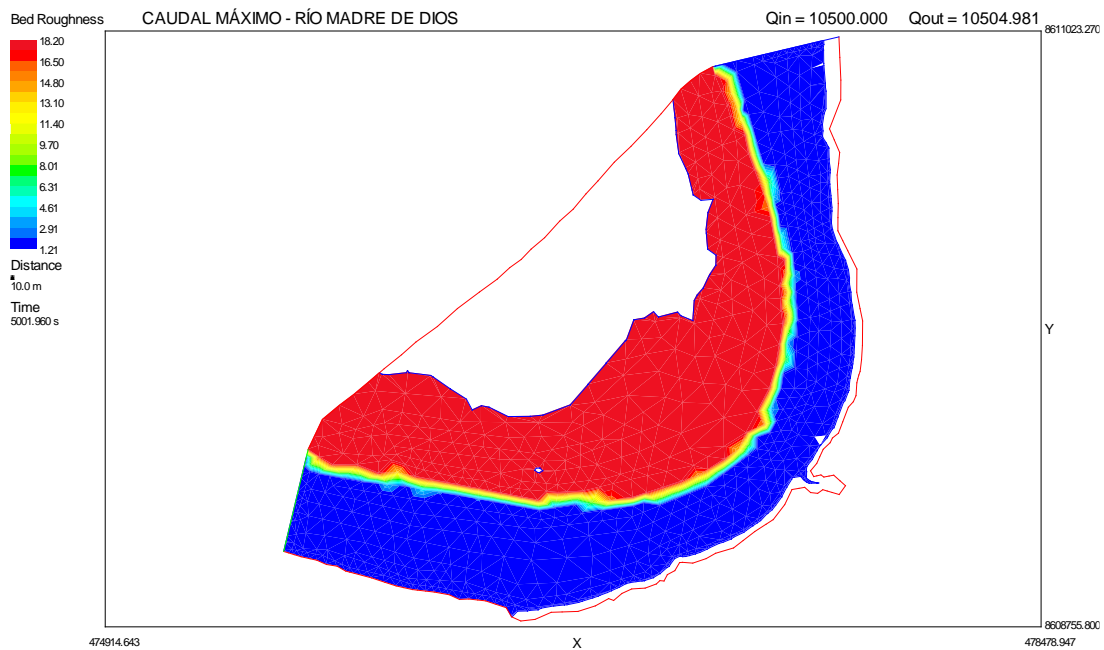


Fig. 5 Rugosidades del tramo simulado

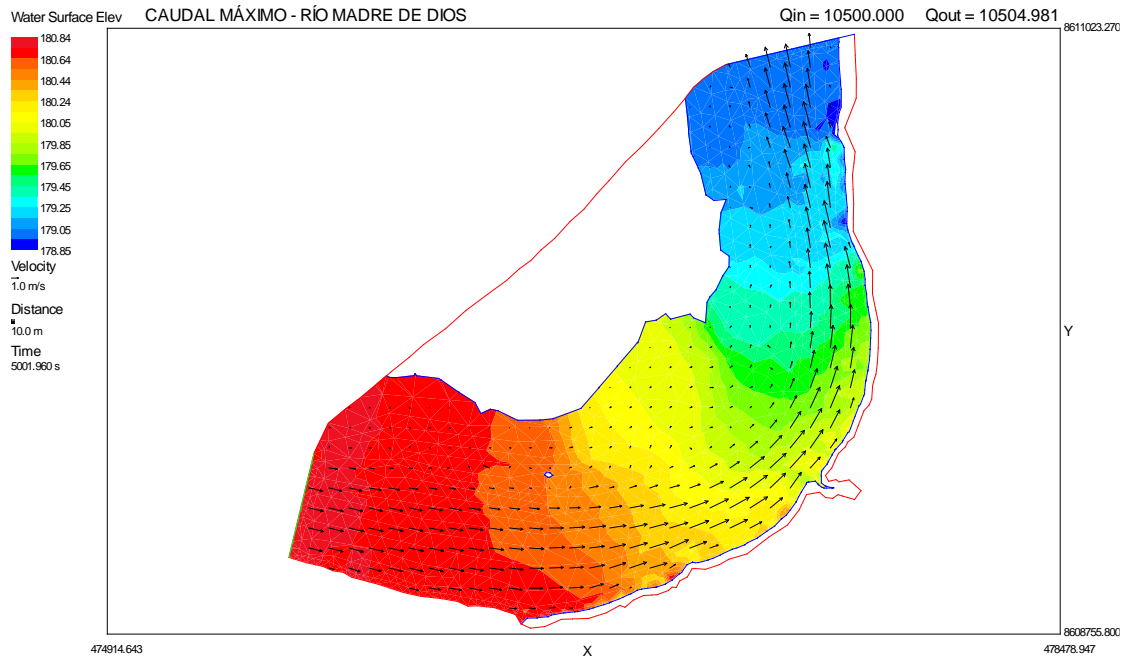


Fig. 6 Niveles de agua en el tramo en estudio, considerando una cota máxima inicial de 180.5 msnm

Con la información topográfica, batimétrica y de rugosidades, además de la cota del máximo nivel de agua observado de 180.5 msnm y de la pendiente del gradiente hidráulico de 0.0005 m/m, se obtuvo un caudal de avenida, aplicando el modelo RIVER 2D, con un orden de magnitud de:

$Q_{max} = 10,500\text{m}^3/\text{s}$, caudal que tiene un periodo de retorno de aproximadamente $T_r = 8$ años

3.6.2 Caudales máximos obtenidos a partir de datos de precipitación, aplicando el programa HEC-HMS V.3.4

- Subdivisión de la cuenca del río Madre de Dios

Dado su tamaño, se divide a la cuenca del río Madre de Dios en subcuencas, con el fin de analizar aproximadamente el tránsito de avenidas a lo largo de la cuenca, en la Fig. 7 se muestra la subdivisión de la cuenca, donde el área de influencia de cada estación pluviométrica fue definida mediante los polígonos de Thiessen. En el cuadro N° 10 se muestra las características de las subcuencas. La información pluviométrica usada es la que se muestra en los Cuadros N° 7 y N° 8.

Se usó el método del Hidrograma Unitario para la determinación de los caudales máximos en las subcuencas de la cuenca del río Madre de Dios, donde para la aplicación del método se requiere de información de datos de Precipitación Máxima en 24 horas. Sobre la base de estas consideraciones se ha aplicado el programa HEC-HMS V. 3.4.

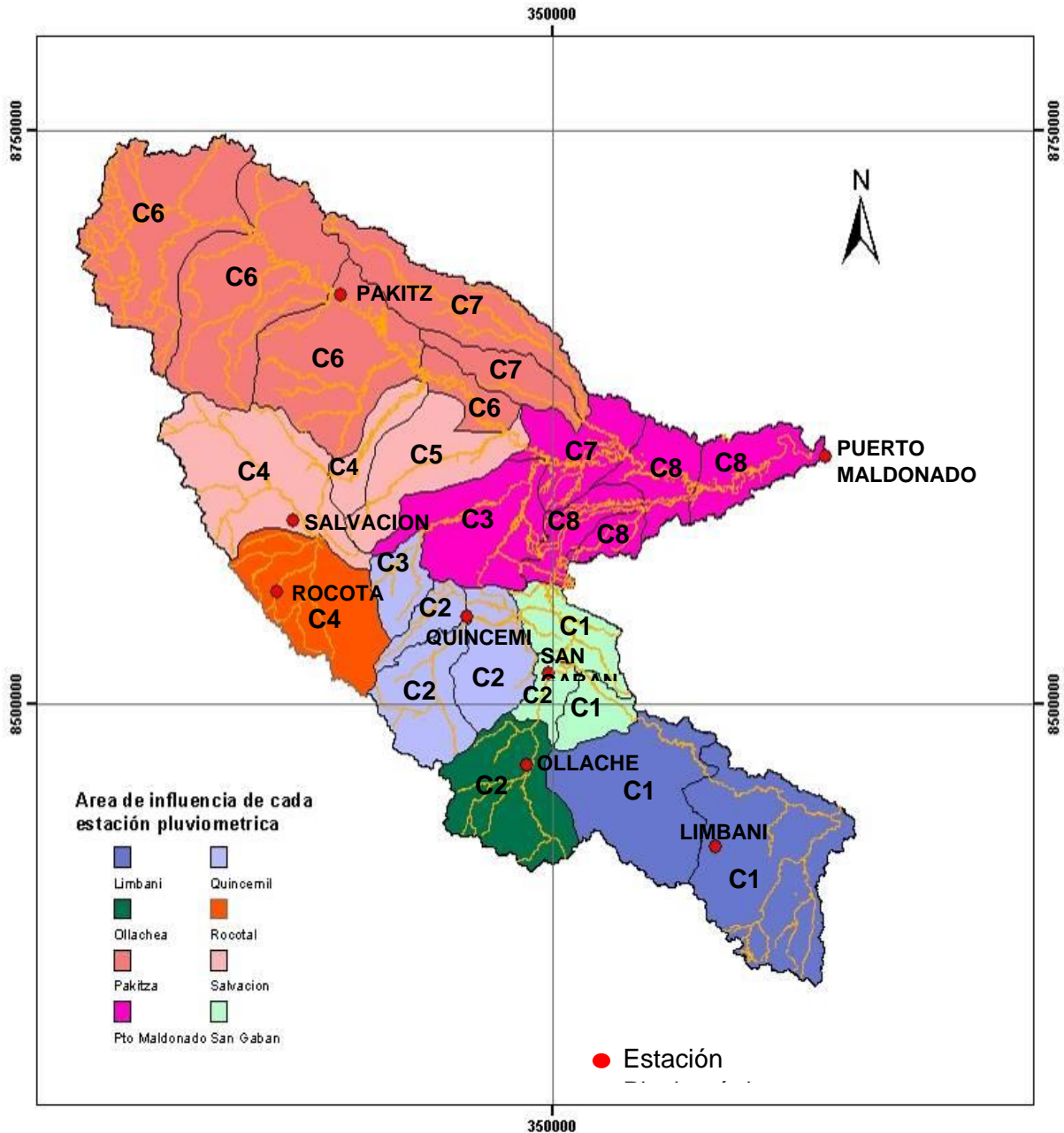


Fig. 7 Cuenca del río Madre de Dios. Definición de subcuencas principales y secundarias para el cálculo de caudales máximos. El área de influencia de cada estación fue definida con la ayuda de los polígonos de Thiessen.

En el siguiente Cuadro N° 10 se muestra las características de cada subcuenca

Cuadro Nº 10 Características de las subcuencas del Río Madre de Dios.

Subcuencas Principales	Sub Cuencas secundarias	Área (Km ²)	Longitud del cauce principal L (Km)	Longitud del cauce hasta la altura del centroide de la cuenca
C1	C1 ₁	1345.53	91.07	36.70
	C1 ₂	799.76	124.25	68.33
	C1 ₃	3773.61	54.04	26.72
	C1 ₄	4915.12	173.89	120.40
C2	C2 ₁	595.20	88.29	48.711
	C2 ₂	1738.34	71.67	30.08
	C2 ₃	629.37	64.84	31.37
	C2 ₄	2764.10	38.79	25.33
	C2 ₅	1891.88	88.22	55.22
C3	C3 ₁	2864.07	111.19	49.43
	C3 ₂	843.44	68.31	49.43
C4	C4 ₁	911.41	98.92	46.61
	C4 ₂	4178.85	97.89	50.42
	C4 ₃	2752.00	133.6	64.35
C5	C5 ₁	2443.57	162.85	80.56
C6	C6 ₁	820.9	103.29	54.36
	C6 ₂	3912.41	163.10	131.77
	C6 ₃	4879.63	168.61	101.28
	C6 ₄	4481.60	204.15	98.371
C7	C7 ₁	1750.71	83.23	60.232
	C7 ₂	1100.36	137.32	76.315
	C7 ₃	2783.26	313.84	175.98
C8	C8 ₁	1468.13	130.09	77.14
	C8 ₂	1310.96	62.98	33.49
	C8 ₃	502.52	56.80	29.94
	C8 ₄	1026.01	82.54	39.61



- Aplicación del método del Hidrograma Unitario de Snyder

Se obtuvieron los caudales máximos en las subcuencas aplicando el método del Hidrograma Unitario de Snyder.

En el método del Hidrograma Unitario de Snyder el tiempo de retardo de la cuenca está dado por:

$$t_l = C_t (LL_c)^{0.3}$$

Donde:

C_t = coeficiente asociado con la capacidad de almacenamiento de la subcuenca

L = longitud del cauce principal en la subcuenca, Km

L_c = longitud del cauce principal hasta la altura del centroide de la subcuenca, Km

El caudal correspondiente a 1 cm de precipitación está dado por:

$$Q_p = \frac{2.78C_p A}{t_l}$$

Donde:

A = Área de la sub cuenca, Km²

C_p = Coeficiente que determina la magnitud del máximo caudal, relacionado con el gradiente de la cuenca y su capacidad de almacenamiento.

El coeficiente de Pico (C_p) varía normalmente entre estos valores 0,56 y 0,69, el cual está relacionado con el tiempo base del hidrograma. Un menor valor de C_p da un caudal pico menor.

El coeficiente C_t varía entre 1,35 y 1,65 para las áreas de montaña, con inclinación a tomar los valores más altos cuando se trata de cuencas con pendientes bajas.

En el Cuadro N° 8 se muestran los valores se C_t y C_p usados para cada subcuenca.

Cuadro N° 11 Valores de los coeficientes C_p y C_t , del hidrograma unitario de Snyder, usados en cada subcuenca del río Madre de Dios

Subcuenca	C_p	C_t
C1	0.62	1.45
C2	0.60	1.5
C3	0.58	1.55
C4	0.6	1.5
C5	0.58	1.55
C6	0.56	1.62
C7	0.56	1.62
C8	0.56	1.62

Para la determinación de la precipitación efectiva se tiene lo siguiente:

- Las cuencas ubicadas en llanura amazónica, de pendientes pequeñas, tienen suelos arcillosos, cuando durante el periodo de altas precipitaciones la cuenca se satura un porcentaje significativo de lluvia se queda entre la vegetación tupida. El número de curva está aproximadamente entre $CN = 60$ a $CN = 70$.
- Las cuencas de selva alta, cuya pendiente y características de suelos permiten tener un mayor potencial de escurrimiento que las cuencas de selva baja. El número de curva está aproximadamente entre $CN = 70$ a $CN = 75$
- Cuencas de sierra, con relativa escasa vegetación y suelos más permeables. El número de curva está aproximadamente entre $CN = 79$ a $CN = 86$

En el Cuadro N° 12 se muestra el valor del número de curva considerado en cada subcuenca del río Madre de Dios



Cuadro Nº 12 *Número de Curva considerado en cada subcuenca del río Madre de Dios*

Subcuenca	Número de Curva CN	Subcuenca	Número de Curva CN
C1	80	C5	70
C2	75	C6	65
C3	70	C7	65
C4	75	C8	65

- **Modelamiento de la cuenca del río Madre de Dios**

Con los cálculos efectuados en cada subcuenca, se usa el programa HEC-HMS V 3.4 para la determinación de los caudales de avenida en la zona de La Pastora en Puerto Maldonado. Este es un programa que genera caudales a partir de datos de precipitación, y toma en cuenta el amortiguamiento de ondas de avenida al recorrer tramos de los ríos en la cuenca, hasta llegar a la zona de estudio.

En la Fig. 8 se muestra el modelamiento de la cuenca del río Madre de Dios, sobre la base de las subcuencas de la Fig. 7, y que es usado en el programa.

<p>Ministerio de Transportes y Comunicaciones</p>	<p>INGENIERIA DE DETALLE DEFENSAS RIBEREÑAS SECTOR LA PASTORA KM 480+070 – KM 480+910</p>	<p>IIRSA SUR</p>
---	---	------------------

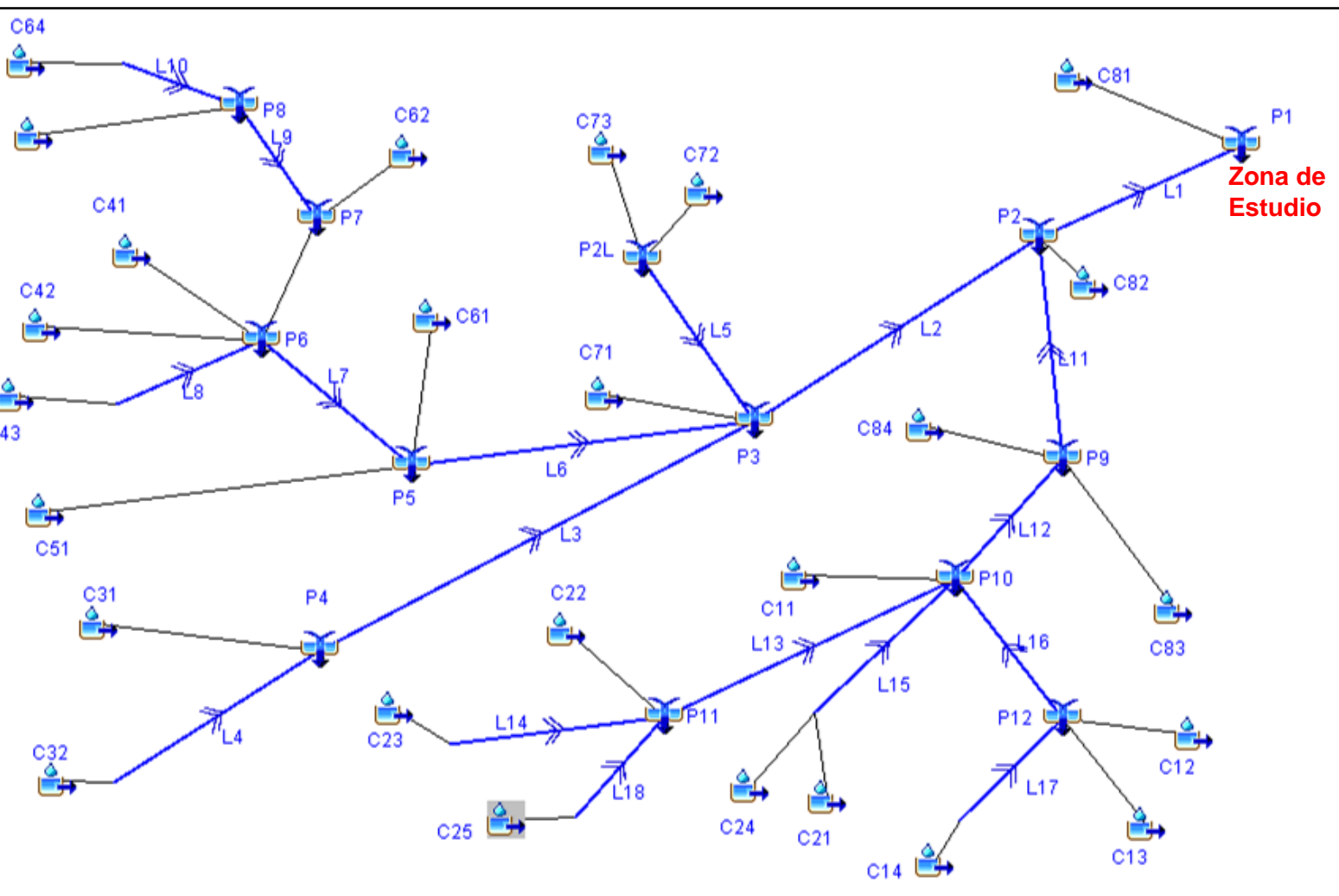


Fig.8 Esquema de modelamiento de la cuenca del río Madre de Dios usado en el programa HEC-HMS



La información y consideraciones tomadas en el programa son:

- Modelo Hidrograma Unitario HEC-HMS v3.4
- Distribución temporal de tormenta: SCS Tipo I
- Separación de escorrentía: Método del SCS
- Transformación:
 - Hidrograma Unitario de Snyder
 - Tiempo de concentración según Snyder que incluye factor de pendiente
 - Método de enrutamiento de Muskingum:

En el método de Muskingum el almacenamiento **S** a lo largo de un canal es una función lineal de la entrada **I** y de la salida **O**, definida en la siguiente ecuación:

$$S = K [X I + (1 - X) O]$$

En corrientes naturales, X se encuentra entre 0.0 y 0.5 con un valor medio cercano a 0.3; X= 0 significa una máxima atenuación y X = 0.5 significa no atenuación. Asimismo, no se necesita una gran precisión en la determinación de X debido a que los resultados del método son relativamente insensibles al valor de este parámetro.

(ref: Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Gestión Forestal y Ambiental).

Sin embargo considerado que algunas subcuencas están en llanura amazónica y otras subcuencas están en zona de sierra se han definido los valores de X que se muestran en el Cuadro N° 13 .

Cuadro N° 13 Valor del de Muskingum X en las subcuencas del río Madre de Dios

Subcuenca	X	Subcuenca	X
C1	0.45	C5	0.40
C2	0.45	C6	0.35
C3	0.40	C7	0.35
C4	0.45	C8	0.35



El valor de K se obtuvo mediante una fórmula de aproximación sugerida por el Hec HMS

$$K = L / (V_w)$$

Donde:

$$V_w = (1.33 \text{ a } 1.67) * V_m$$

L = es la longitud del cauce donde se produce el tránsito de la avenida. En este caso se utilizó $V_w = 1.65 V_m$, donde V_m es la velocidad media.

En el Cuadro N° 14 se muestra los valores de K usados en el programa

Cuadro N° 14 Valores de K de Muskingum usado en el programa HEC-HMS v3.4 (Fig. 8)

Tramo	K (Horas)	Tramo	K (Horas)
L1	11.6	L10	8.77
L2	5.83	L11*	2.03
L3	7.71	L12*	6.08
L4	7.20	L13*	3.83
L5	4.44	L14*	3.25
L6	10.59	L15*	5.67
L7	9.67	L16*	5.67
L8	10.93	L17*	9.53
L9	9.88	L18*	2.29

(*) Cuenca del río Inambari

- Determinación de los caudales máximos en el río Madre de Dios en la zona de estudio

Dado el tamaño de la cuenca, que tiene un área de 56 552.69 Km², para la determinación de los caudales máximos en la zona de estudio, con diferentes periodos de retorno, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- No es posible que en toda la cuenca ocurran al mismo tiempo precipitaciones con un determinado periodo de retorno



- Mediante un estudio del comportamiento de las precipitaciones, en cada estación, a lo largo del año, es posible identificar zonas de la cuenca donde pueden ocurrir al mismo tiempo máximas precipitaciones. En la aplicación del programa HEC-HMS V.3.4, se hace llover en determinadas zonas, previamente agrupadas mediante un estudio de las áreas de influencia de las estaciones pluviométricas, una precipitación máxima de 24 horas con un determinado periodo de retorno, y en las demás zonas aledañas se hace llover una precipitación máxima con un periodo de retorno de $Tr = 2.2$ años, valor que representa una precipitación máxima promedio. El área de influencia de cada estación pluviométrica fue determinada mediante polígonos de Thiessen
- El procedimiento continúa mediante la agrupación de otras zonas. Al final se selecciona como la avenida de diseño el mayor valor obtenido

Para la identificación de las zonas de la cuenca donde pueden ocurrir al mismo tiempo máximas precipitaciones, se estudia el comportamiento del promedio de las precipitaciones máximas de 24 horas, en cada estación, a lo largo del año. En el Cuadro N° 15 se muestra estos promedios

Cuadro N° 15 Estaciones pluviométricas en la cuenca del río Madre de Dios. Valores promedio de precipitaciones máximas de 24 horas a lo largo del año

ESTACION	ALTITUD	MES											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PUERTO MALDONADO	256	78.22	60.29	55.79	63.6	39.6	28.5	27.94	26.9	32.26	52.36	53.28	70.22
PAKITZA	350	47.3	54.2	79.3	81.3	63.2	32.2	17.0	25.8	19.9	82.0	69.2	65.1
SALVACIÓN	520	91.8	127.2	100	98.2	71.9	47.1	66.7	67	56.6	135.2	97.1	104.9
SAN GABAN	635	140.3	131.9	108.4	88.1	72.4	69.6	80.4	75.3	71.7	98.3	99.6	108.9
QUINCEMIL	651	175.5	93.4	118.2	69.5	115	50.7	120.7	55.2	136.9	90.8	113.7	111.6
ROCOTAL	2010	56.9	59.7	57.9	69.4	27.8	16.1	20.0	44.4	77.9	76.7	63.9	69.1
LIMBANI	3185	26.4	26.3	22.9	15.6	8.1	5.8	50.0	11.5	11.0	18.6	19.9	21.7
OLLACHEA	3420	28.7	28.3	25.2	17.7	8.4	6.5	6.8	11.7	13.0	18.4	18.7	27.2

Nn Mes donde se producen los valores máximos



En el Cuadro N° 15 se puede identificar que en la cuenca del río Inambari las máximas precipitaciones ocurren alrededor del mes de enero, y en las cuencas de los ríos Manú y Los Amigos (Fig. 2) las épocas de máximas precipitaciones no coinciden con las de la cuenca del río Inambari.

Sobre la base de los resultados del Cuadro N° 15, la ubicación geográfica de las estaciones y su altitud, se ha identificado aproximadamente las zonas donde puede ocurrir, al mismo tiempo, un evento de máximas precipitaciones. Tomando en cuenta lo definido en la Fig. 7 se tienen las siguientes zonas:

Zona 1 = Área de influencia de las estaciones Pakitza, Salvación y Rocotal

Zona 2 = Área de influencia de las estaciones Puerto Maldonado, San Gabán y Quincemil

Zona 3 = Área de influencia de las estaciones Quincemil, San Gabán y Ollachea

Zona 4 = Área de Influencia de las estaciones San Gabán, Ollachea y Limbani

Los resultados obtenidos, aplicando el programa HEC-HMS V 3.4, se muestran en los Cuadros del N° 16 al N° 19.



Cuadro N° 16: *Río Madre de Dios (Zona La Pastora – Puerto Maldonado). Caudales máximos, para un periodo de retorno de $Tr = 2.2$ años, obtenidos aplicando el programa HEC-HMS V 3.4*

Zonas donde ocurren las máximas precipitaciones	Estaciones involucradas	Periodo de Retorno Tr (años)	Q_{max} (m^3/s) $Tr = 2.2$ años
Zona 1	Pakitza	2.2	5248
	Salvación	2.2	
	Rocotal	2.2	
Zona 2	Puerto Maldonado	2.2	8003
	Quincemil	2.2	
	San Gabán	2.2	
Zona 3	Quincemil	2.2	7078
	San Gabán	2.2	
	Ollachea	2.2	
Zona 4	San Gabán	2.2	2333
	Ollachea	2.2	
	Limbani	2.2	



Cuadro Nº 17 *Río Madre de Dios (Zona La Pastora – Puerto Maldonado). Caudales máximos, para un periodo de retorno de $Tr = 25$ años, obtenidos aplicando el programa HEC-HMS V 3.4*

Zonas donde ocurren las máximas precipitaciones	Estaciones involucradas	Qmax (m ³ /s) Tr = 25 años
Zona 1	Pakitza	11492
	Salvación	
	Rocotal	
Zona 2	Puerto Maldonado	12997
	Quincemil	
	San Gabán	
Zona 3	Quincemil	12095
	San Gabán	
	Ollachea	
Zona 4	San Gabán	7356
	Ollachea	
	Limbani	



Cuadro Nº 18 *Río Madre de Dios (Zona La Pastora – Puerto Maldonado). Caudales máximos, para un periodo de retorno de $T_r = 50$ años, obtenidos aplicando el programa HEC-HMS V 3.4*

Zonas donde ocurren las máximas precipitaciones	Estaciones involucradas	Qmax (m ³ /s) Tr = 50 años
Zona 1	Pakitza	9988
	Salvación	
	Rocotal	
Zona 2	Puerto Maldonado	14341
	Quincemil	
	San Gabán	
Zona 3	Quincemil	13439
	San Gabán	
	Ollachea	
Zona 4	San Gabán	8698
	Ollachea	
	Limbani	



Cuadro N° 19: *Río Madre de Dios (Zona La Pastora – Puerto Maldonado). Caudales máximos, para un periodo de retorno de $T_r = 100$ años, obtenidos aplicando el programa HEC-HMS V 3.4*

Zonas donde ocurren las máximas precipitaciones	Estaciones involucradas	Qmax (m ³ /s) Tr = 100 años
Zona 1	Pakitza	13322
	Salvación	
	Rocotal	
Zona 2	Puerto Maldonado	15789
	Quincemil	
	San Gabán	
Zona 3	Quincemil	14889
	San Gabán	
	Ollachea	
Zona 4	San Gabán	10149
	Ollachea	
	Lim bani	

- Caudales máximos de diseño

Los caudales máximos de diseño se obtienen seleccionando los máximos valores que se muestran en los Cuadros del N° 16 al N° 19. En el Cuadro N° 20 se muestran los caudales máximos de diseño a ser usados en el proyecto de defensas ribereñas

Cuadro Nº 20 *Río Madre de Dios, zona La Pastora – Puerto Maldonado. Caudales máximos de diseño a ser usados en el proyecto de defensas ribereñas, obtenidos aplicando el programa HEC-HMS V 3.4*

Periodo de retorno T (años)	Qmax (m ³ /s)
2.2	8003
25	12997
50	14341
100	15789

En las figuras del 9 al 12 se muestran los hidrogramas de las máximas avenidas, obtenidas aplicando el programa HEC-HMS V 3.4

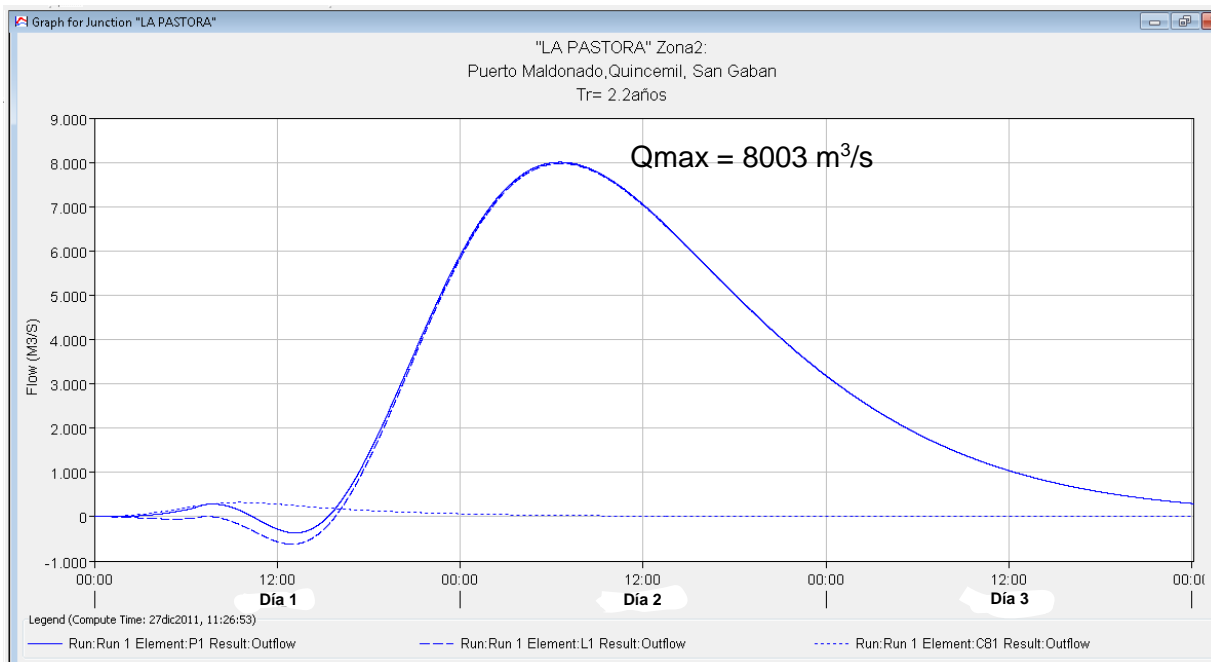


Fig. 9 *Río Madre de Dios, zona La Pastora – Puerto Maldonado. Hidrograma de la avenida con un periodo de retorno de Tr = 2.2 años (Resultados del programa HEC-HMS V 3.4)*

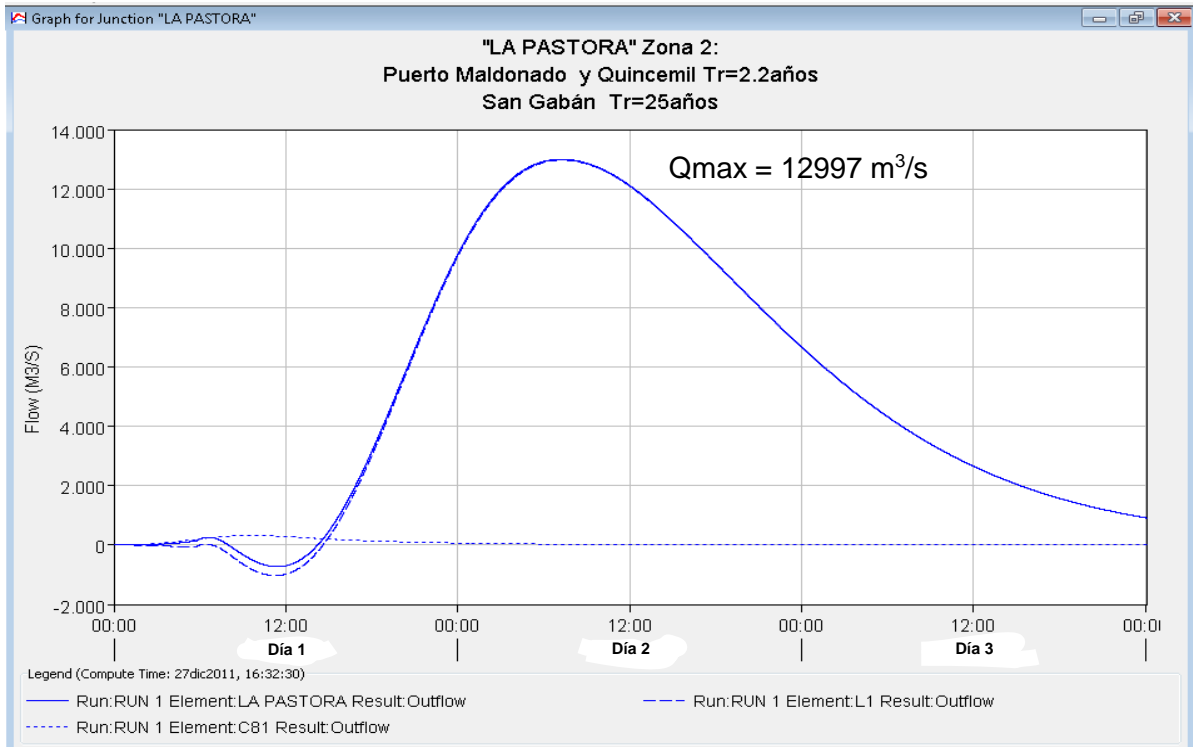


Fig. 10 Río Madre de Dios, zona La Pastora – Puerto Maldonado. Hidrograma de la avenida con un periodo de retorno de $Tr = 25$ años (Resultados del programa HEC-HMS V 3.4)

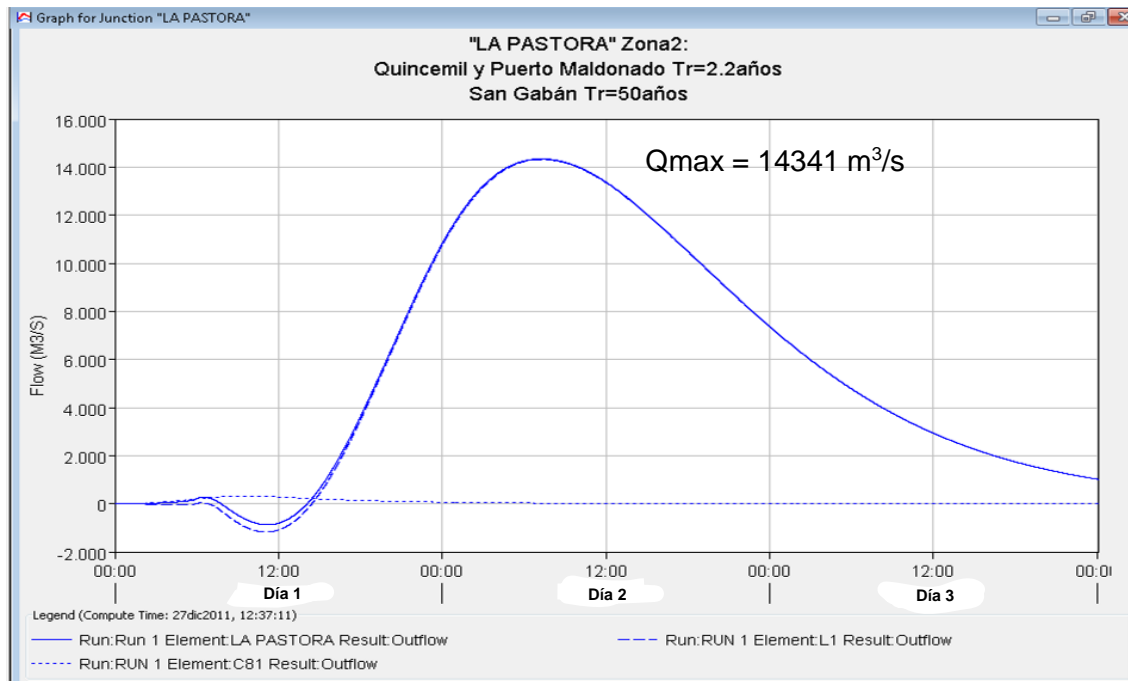


Fig. 11 Río Madre de Dios, zona La Pastora – Puerto Maldonado. Hidrograma de la avenida con un periodo de retorno de $Tr = 50$ años (Resultados del programa HEC-HMS V 3.4)

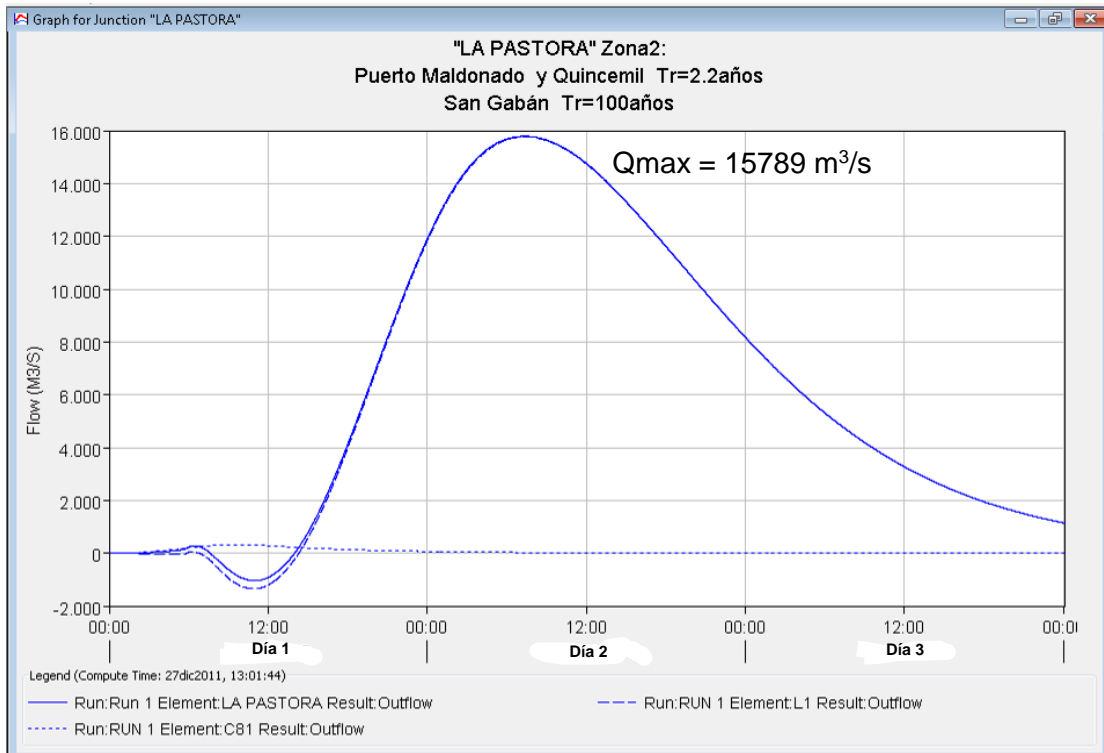


Fig. 12 Río Madre de Dios, zona La Pastora – Puerto Maldonado. Hidrograma de la avenida con un periodo de retorno de $Tr = 100$ años (Resultados del programa HEC-HMS V 3.4)

1. CONCLUSIONES

- a. El río Madre de Dios no dispone de un registro de máximas avenidas, por lo que se han generado las máximas avenidas a partir de datos de precipitaciones máximas
- b. Para los cálculos de caudales máximos se han usado los datos de precipitación máxima de 24 horas registrados en estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Madre de Dios
- c. Aplicando el programa HEC-HMS V. 3.4 se han obtenido los caudales máximos de diseño, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Periodo de retorno T (años)	Qmax (m³/s)
2.2	8003
25	12997
50	14341
100	15789

**ANEXO 3: ESTUDIO DE SUELOS “DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA
LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”**



CORREDOR VIAL INTEROCEÁNICO SUR

TRAMO 3

PUENTE INAMBARI - IÑAPARI

DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910

ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

LIMA, NOVIEMBRE/2011

**DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA****INFORME FINAL DE ESTUDIO DE SUELOS****1.0 INTRODUCCIÓN**

El corredor vial Interoceánico Sur- Tramo 3 facilita la integración entre la selva brasileña y el Océano Pacífico atravesando la Amazonía peruana, la cordillera de los andes y la franja costera mediante una carretera completamente asfaltada de 2,593 Km. Esta carretera cruza la ciudad de Puerto Maldonado que se encuentra flanqueada por los ríos Madre de Dios y Tambopata. En los últimos años se viene produciendo un excesivo transporte de sedimentos en el río Madre de Dios, posiblemente por los procesos de deforestación en la cuenca y de la actividad minera que se desarrolla aguas arriba del río. En la zona denominada La Pastora el río Madre de Dios, deposita los sedimentos en la margen izquierda, generando un mayor radio del meandro en la margen derecha del río que ocasiona la erosión fluvial del pie de los taludes y la socavación lateral de la ribera. Este proceso produce inestabilidad en los taludes de la margen derecha, que va avanzando rápidamente en dirección de la plataforma de la carretera interoceánica pudiendo llegar a afectar su integridad a corto plazo entre la progresiva 480+070 y 480+910.

2.0 OBJETIVO

Debido a la constante modificación del cauce del cauce principal del río Madre de Dios, en la zona de estudio, es necesario dotar de una solución permanente para evitar la afectación de la población asentada en las inmediaciones de los acantilados en el sector de La Pastora, evitando la ocurrencia de pérdidas de vidas humanas y daños de la infraestructura.

El objetivo del presente informe geotécnico es la determinación de las características físico mecánicas de los suelos que conforman el área de estudio; para evaluar la estabilidad de los taludes en la zona denominada La Pastora que colinda con el corredor vial interoceánico. Se busca identificar las causas que producen la inestabilidad en los taludes en la margen derecha del río Madre de Dios, para proponer las soluciones que mantengan estables los acantilados y garanticen la integridad de la carretera interoceánica en el tramo en estudio.

El presente estudio de suelos servirá de base para el diseño de las defensas ribereñas y la estabilización de los taludes de la margen derecha del río Madre de Dios en la zona



La Pastora de la ciudad de Puerto Maldonado. El estudio comprende el estudio de los sedimentos del cauce del río y la determinación de las características físico mecánicas de los suelos de ambas riberas.

3.0 UBICACIÓN

La zona de estudio La Pastora se encuentra ubicada en la margen derecha del río Madre de Dios colindante con la carretera interoceánica entre la progresiva 480+070 y 480+910. La ruta de acceso a la zona de los trabajos se encuentra a 15 minutos, en movilidad, desde el centro de la ciudad de Puerto Maldonado. En la Foto 1 se muestra la ubicación de la zona de estudio en la ciudad de Puerto Maldonado en la ribera derecha del río Madre de Dios. El río al entrar en la curva cerrada en la zona de La Pastora, forma el meandro La Pastora que se está moviendo hacia el sureste, provocando la inestabilidad de los taludes de la margen derecha; mientras que al otro lado se tiene al meandro conocido como Nuevo Amanecer que se desplaza con dirección oeste, produciendo un estrechamiento de la ciudad de Puerto Maldonado de aproximadamente 3m al año. Políticamente, la zona de estudio La Pastora se encuentra en la ciudad de Puerto Maldonado, Distrito de Tambopata, Provincia de Tambopata, Departamento Madre de Dios.



Fotografía Nº 1 Zona de los levantamientos topográficos y batimétricos en La Pastora (Línea blanca). Se pueden apreciar los meandros La Pastora y Nuevo Amanecer a ambos lados de la ciudad de Puerto Maldonado.



4.0 GEOLOGIA REGIONAL

La geomorfología de la selva baja es esencialmente plana, la altitud varía entre 80 a 400 m.s.n.m. Debido a este poco cambio de nivel en una gran longitud de terreno, los ríos discurren lentamente, por lo que en la estación seca, el río forma lagunas con meandros sinuosos. Esta región se encuentra en estado de madurez o avanzada erosión. El llano amazónico está caracterizado por su gran humedad y terreno cubierto por una densa vegetación tropical. En la zona de Madre de Dios la extensa llanura se halla suavemente inclinada hacia el Este, con un territorio suavemente ondulado; con lomadas, colinas, depresiones, terrazas aluviales, etc., modelados en sedimentos blandos y sub-horizontales del terciario superior y materiales aluviales del cuaternario. La geomorfología regional de la selva está determinada por las cadenas montañosas con un alineamiento estructural en dirección NO – SE conformando: mesetas estructurales, laderas estructurales, colinas altas, colinas bajas, domos, llanura amazónica, aguajales, bofedales, llanuras de inundación y valles. Morfológicamente, la selva alta, que también forma parte de la cuenca del río Madre de Dios, está conformada por grupos de pequeñas montañas moderadas. En la línea de cumbre, en los límites al sur de la cuenca, sobresalen picos moderadamente pronunciados, cuyas faldas son cortadas por quebradas profundas con flancos sub-verticales, las que ocasionan una intensa erosión durante la temporada de lluvias. Las terrazas más altas generalmente son muy erosionadas, dando origen a sistemas de colinas con cimas más o menos redondeadas. En la selva baja las elevaciones se presentan en forma de cúpulas independientes y separadas una de otras. Estas terrazas son disectadas por quebradas que la entornan y erosionan, dando origen a las pequeñas laderas, que son sensibles a los deslizamientos si se encuentran sin vegetación.

Los peligros de origen geológico – climático de mayor incidencia en el área del proyecto, son por socavamientos y derrumbes a orillas de los ríos, procesos que se ven favorecidos por la creciente de los ríos, baja o pobre consistencia de las partículas de los materiales y el agua de lluvia en su acción de erosión, transporte y sedimentación; siendo de especial interés los procesos que ocurren en las laderas de los ríos cercanos a las ciudades. Los suelos predominantes en la selva se comportan como suelos medianamente permeables y que en épocas de grandes precipitaciones pluviales se producen infiltraciones. La saturación del suelo relacionada a eventos sísmicos de gran magnitud puede presentar procesos de licuación de suelos y como consecuencia asentamientos diferenciales que pueden llevar al colapso de las bases de estructuras



y/o taludes. El fenómeno de licuación de suelos puede ocurrir en las zonas adyacentes a los ríos por lo que se deben considerar los efectos sísmicos en el diseño en suelos limo arenosos, sueltos y saturados.

En general, la selva baja presenta formaciones geológicas que corresponden a afloramientos de rocas sedimentarias, mayormente areniscas y arcillitas, que cronológicamente van desde el Jurásico superior al Paleógeno, las cuales son cubiertas por depósitos cuaternarios no consolidados. En la región existen zonas con cobertura de suelo residual y orgánico producto de la actividad biológica de la flora y fauna, a lo que se suma la actividad humana. Los depósitos de suelos que pertenecen al cuaternario, están conformados por arenas, arenas limosas y arenas arcillosas. Además, el basamento geológico de las rocas sedimentarias, se ve afectado por fracturas, fallas y pliegues a consecuencia de los procesos tectónicos que han creado marcada inestabilidad y hacen los depósitos más vulnerables a las condiciones climatológicas del trópico húmedo de la región.

En los alrededores de la ciudad de Puerto Maldonado se presentan rocas de origen sedimentario con una edad que corresponde al Cuaternario reciente y antiguo. Se presentan las siguientes unidades litológicas:

- Depósito actual fluvial (Qa – fl).

Son depósitos con acumulaciones de arena fina con estratificación cruzada, que se encuentran en las riberas de los ríos en épocas de estiaje. Se desarrollan a lo largo de los ríos Madre de Dios y Tambopata sobre las terrazas bajas inundables a ambos márgenes de los ríos y en los meandros abandonados. Están compuestos por arenas y limos con estratificación laminar.

- Depósito cuaternario reciente fluvio aluvial – (Qr-flal).

Son depósitos fluviales recientes a lo largo de los ríos Madre de Dios y Tambopata. Están compuestos por arenas finas de granos sub-redondeados a redondeados con abundante cuarzo, que presentan estratificación cruzada y hacia la parte superior presentan capas de limos arenosos de color gris.

**- Depósito cuaternario reciente palustre – (Qr-pa).**

Son depósitos fluviales que se forman a lo largo de los paleocauces de los cursos de agua que cortan la ciudad de Puerto Maldonado. Están conformados por materiales arcillosos en las terrazas medias a bajas y se hallan generalmente cubiertos por árboles.

- Depósito cuaternario holoceno fluvio aluvial – (Qh-flal).

Son los depósitos aluviales más jóvenes que cubren la formación Madre de Dios y tienen una potencia promedio de 20 m a 30 m. Están compuestos por arenas de grano fino con estratificación cruzada que están cubiertas por arenas limosas. Pueden presentar restos de materia orgánica.

- Formación Madre de Dios – (Qp-md).

Esta formación aflora prácticamente en todo el área de Puerto Maldonado, donde se emplazan rellenos cuaternarios, que cubren a la formación Ipururo. Está compuesta por secuencias de arcillitas, limolitas, arenas y gravas inconsolidadas a semiconsolidadas que están endurecidas por la presencia de sustancias cementantes como óxidos de hierro. Presenta tres miembros definidos. El miembro A es la unidad basal que consiste de conglomerados con clastos de arcillas y líticos que están endurecidos por los óxidos de hierro producidos por la lixiviación de sedimentos superiores. También presenta secuencias de arenas de paleocanales fluviales endurecidas por los óxidos. En la parte superior se presentan limos y arcillas menos endurecidas. El miembro B presenta en la base una delgada capa de hematina (óxidos de hierro) y está compuesta por arenas, limolitas y arcillas con restos de turba. El miembro C está compuesto por arenas limosas y limos arcillosos. En la base pueden encontrarse lentes de conglomerado constituidos por clastos líticos de una matriz arenosa.

La formación Madre de Dios presenta una constitución arcillosa de baja plasticidad en donde la cementación contribuye a darle estabilidad. Asimismo, el hecho de que la formación Madre de Dios aparezca en sectores llanos hace que la inestabilidad propia del material se minimice debido a la pendiente débil que no favorece las acciones erosivas.



Cuadro Nº 1 Cronoestratigrafía en la zona de Puerto Maldonado

Era	Sistema	Formación	Espesor	Descripción Litológica
Cenozoico	Cuaternario	Aluvial reciente	0 a 300 m	Suelo arcillo, limo, arenoso, marrón claro. Conglomerado heterogéneo pobremente clasificado.
		Terrazas Aluviales		Conglomerado aluvial y torrencial, con cantos de cuarcitas, intrusivos y esquistos, en matriz areno-gravosa.
		Madre de Dios		Gravas con matriz arcillosa. Areniscas y arcillas arenosas.

La ciudad de Puerto Maldonado se encuentra emplazada sobre una colina baja de suelos residuales de la Formación Madre de Dios del tipo arcilloso, areno-limoso a limo-arcilloso, que tiene un desnivel de 25 a 30 m con respecto al cauce de los ríos Madre de Dios y Tambopata. Gran parte de la ciudad de Puerto Maldonado se encuentra asentada sobre suelos arcillosos inorgánicos de baja a media plasticidad (CL), de consistencia suave a media. En algunos sitios aislados se tiene suelos arcillosos de alta plasticidad (CH), de consistencia suave a muy suave, muy húmedos a saturados.

Existen zonas de la ciudad que se encuentran sujetas a procesos de inundación permanente y deposición de sedimentos finos provenientes del arrastre de los ríos Madre de Dios y Tambopata, donde se tienen suelos limosos a areno-limosos (ML, SM), de baja a media plasticidad, de consistencia suave, ligeramente húmedos a saturados. El área de expansión urbanística, que se encuentra fuera de la ciudad de Puerto Maldonado, se encuentra cubierta de suelos provenientes de depósitos fluviales recientes y antiguos con vegetación propia de la Selva Baja: arcillas inorgánicas (CL y CH), limos inorgánicos (ML) y arenas limosas (SM) de baja a media plasticidad de consistencia suave a media, muy húmedos a saturados. Estos depósitos sedimentarios



se presentan en las terrazas altas de topografía plana a ligeramente ondulada que se caracteriza por presentar buen drenaje y estar constituido por materiales arcillosos con cubiertas de vegetación.

5.0 DESCRIPCION GEOTECNICA DE LA ZONA DE LA PASTORA

Los taludes de La Pastora están constituidos por terrazas aluviales de material cuaternario no consolidado. Generalmente, el suelo predominante es arena de grano fino cementada, color marrón claro con estratificación cruzada, pobremente clasificada (SP - SM), con presencia de mantos de limos arenosos (SM) y arcillas de baja plasticidad (CL). En ciertos sectores los taludes conformados por aluviones recientes compuestos en la superficie por arenas arcillosas y arenas limosas con rocas sedimentarias intemperizadas en la base (areniscas) sin presencia de napa freática, que pueden llegar hasta 30 m de altura sobre el río Madre de Dios.

En base a las calicatas e información geológica disponible, se puede establecer que los taludes en sector La Pastora dentro de la ciudad de Puerto Maldonado, está constituido por una terraza aluvial de material cuaternario no consolidado. Mayormente se compone de arenas limosas cementadas de grano fino, color marrón claro con estratificación cruzada, pobremente clasificada con algunos lentes de arcilla de baja plasticidad. Existen secuencias de arenas limosas y arcillas duras de baja plasticidad con pseudo-estratificaciones, que se pueden asociar a niveles alterados de suelos residuales. Estos sedimentos contrastan con los aluviales por el color, tonalidad (marrón a rojizo), resistencia y consistencia, tal como se puede apreciar en los taludes y escarpes de la terraza de la zona. De acuerdo con el boletín geológico del cuadrángulo de Puerto Maldonado (1996), estos sedimentos corresponden a niveles alterados de la Formación Madre de Dios de la serie del Pleistoceno.

En las fotografías N° 2 y N° 3 se observan los taludes del acantilado en La Pastora con alturas de hasta 30 m, con derrumbes de material no consolidado y paredes verticales en la parte alta. Los taludes varían entre 36° y 54° dependiendo de la conformación y cementación del suelo. De acuerdo a los ensayos de laboratorio y lo observado, el material del talud está clasificado según SUCS, como SM (arena limosa) y SP-SM (arena cementada pobremente gradada con limo) con algunos mantos de arcilla de baja plasticidad. La arena SP encontrada en la margen izquierda no tiene plasticidad y tiene menos de 5 % en peso pasa la malla # 200 (fino). Se asume que este tipo de material presenta coeficientes de permeabilidad del orden de 10^{-3} cm/s, lo que indica que es



permeable. Los mantos de arcilla (CL) tienen más de 70% de finos con características de material impermeable.

Los ensayos de resistencia al corte del material areno limoso en la muestra D-8 (triaxial consolidado no drenado- CD con medición de poros) indican que la muestra presenta una cohesión de 0.5 ton/m^2 con un ángulo de fricción de 34.4° . Sin embargo, al ser suelos residuales se estima que la muestra ensayada ha perdido cementación al estar alterada y saturada para hacer la prueba, por lo que la cohesión debe estar alrededor de 1.5 tn/m^2 . De no ser el caso, los taludes actuales no se podrían sostener con pendientes del orden de 55° .

Según las secciones transversales obtenidas del levantamiento topográfico se tienen taludes entre 18° y 55° con alturas entre 4 y 32 m en las secciones transversales (Ver cuadro 2). El plano topográfico de planta indica que los sectores críticos se encuentran entre la progresiva 1+300 y 3+750 justo donde el meandro tiene mayor radio y se ha producido la socavación del pie del talud por erosión pluvial. La sección más crítica es en la progresiva 2+000, donde los taludes fluctúan entre 50° y 55° con altura de 30 m aproximadamente. Entre las progresivas 0+000 hasta 1+300 y 3+750 a 4+200, las alturas y las pendientes del acantilado se reducen por lo que los taludes se hacen más estables. Las secciones transversales entre las progresivas 1+350 y 2+250 se encuentran colindantes a la carretera interoceánica en el tramo urbano Km 480+070 - Km 480+910.

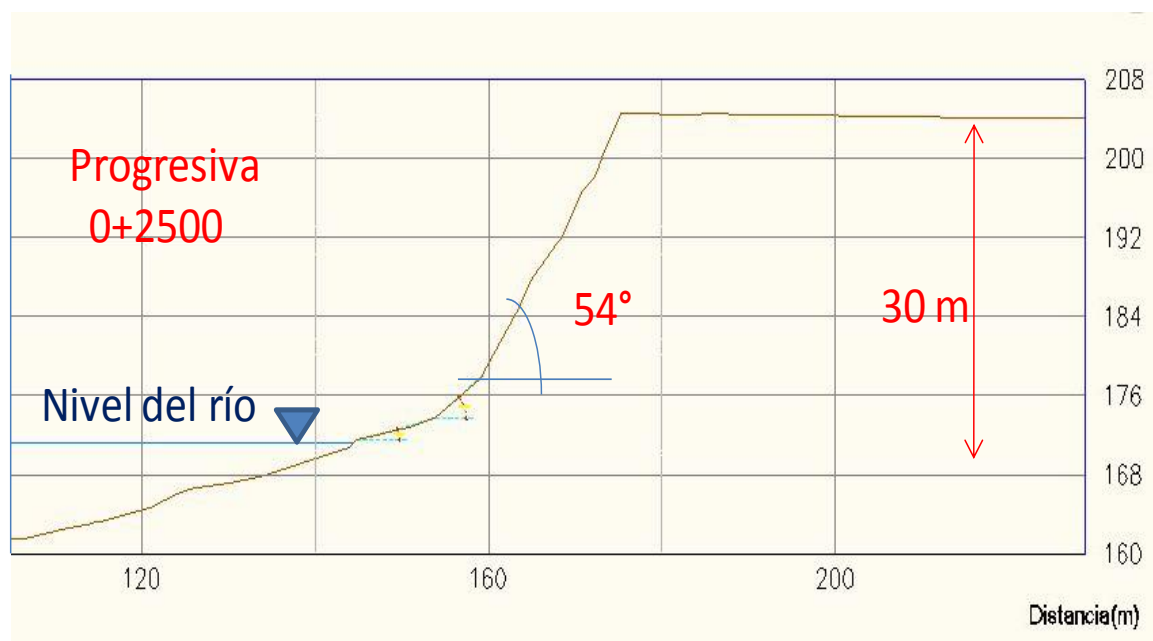


Figura 1. Sección Transversal Crítica del talud en la zona de la Pastora, en la progresiva 2+500 del plano topográfico (no está a escala).



Fotografía Nº 2 Vista del talud en la zona de La Pastora, donde se aprecian derrumbes de material no consolidado y paredes verticales en la parte alta. La falta de vegetación es una constante en este sector.



Fotografía Nº 3 Vista desde la parte alta del talud en la zona de La Pastora, donde se aprecian derrumbes al pie de los acantilados y la deforestación alrededor del meandro La Pastora.

**Cuadro N° 2** Secciones Transversales en la zona de La Pastora

Progresiva Hacia aguas abajo (Del plano topográfico)	Altura máxima sobre el nivel promedio del río (m)	Talud promedio de la sección
0+000	5.0	34°
0+500	5.0	18°
0+1000	5.0	30°
0+1500	30.0	36°
0+2000	32.0	46°
0+2500	30.0	54°
0+3000	30.0	51°
0+3500	30.0	48°
0+4000	6.0	21°

6.0 TRABAJO DE CAMPO

Para evaluar la estabilidad de los taludes en La Pastora fue necesario realizar trabajos de campo en zonas adyacentes a los taludes que nos permitan obtener especímenes de muestra representativas para conocer las características físico - mecánicas de los suelos del talud y la base de los acantilados.

Descripción de los trabajos de campo

Se han realizado exploraciones a cielo abierto mediante calicatas entre 1.5 y 2 m, de las cuales se han tomado muestras de cada una de ellas. En la fotografía N° 4 se presenta la ubicación de las calicatas D-01, D-02, D-03, D-04, D-05, D-08 y D-09 en la margen derecha. La calicata D-06 se realizó en la margen izquierda del río, menor radio del meandro, donde se deposita la arena uniforme (SP) que puede ser usado como cantera. Se tomaron 02 muestras inalteradas de los acantilados D-04 y D-08, en todas calicatas las demás se tomaron muestras alteradas.

Las calicatas D-01, D-02 y D-03 se realizaron en la corona del talud, cercano al borde del acantilado. Las calicatas D-05 y D-09 se realizaron sobre el talud de la ribera derecha. La margen derecha del sector La Pastora presenta un perfil estratigráfico con



presencia de arena limosa, o limo arenoso de baja plasticidad clasificándose según el SUCS como un SP – SM o ML. Las humedades promedio encontradas en el momento de la excavación fueron aproximadamente 4 a 6% en las calicatas de la parte alta. De la exploración realizada para los registros D-04 y D-08, se tomó una muestra inalterada para la ejecución exclusiva del ensayo de corte triaxial consolidado no-drenado con medición de poros (CU). Las actividades realizadas dentro de los trabajos de campo fueron:

- Inspección y verificación del trabajo a efectuar.
- Excavación de calicatas.
- Toma de muestras inalteradas para ensayos de Corte Triaxial CU.
- Toma de muestras alteradas para sus respectivos ensayos de clasificación.
- Fotos.



Nota: La muestra D7 no existe

Fotografía Nº 4 Vista Satelital de la zona de La Pastora, donde se muestra la ubicación de las calicatas y de la toma de muestras inalteradas y alteradas.



7.0 TRABAJOS DE LABORATORIO Y GABINETE

La evaluación de las propiedades geotécnicas del suelo con ensayos especiales como la resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad puede ser muy difícil y costosa, por lo que resultan muy útiles los ensayos estándar de clasificación de suelos realizados para estimar las propiedades. Estos ensayos nos permiten relacionar ciertas propiedades con un grupo de suelos en forma empírica como es el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) que se basa en la granulometría y la plasticidad. Las muestras extraídas de las calicatas fueron enviadas al Laboratorio Geotécnico de la Universidad Nacional de Ingeniería (ver Anexo).

Cuadro N° 3 *Ensayos de Suelos Realizados en la zona de La Pastora*

Ensayo de Laboratorio	Norma	Nº de Ensayos
Análisis Granulométrico	ASTM D-422	09
Límites Líquido	ASTM D-4318	02
Límite Plástico	ASTM D-4318	02
Clasificación de Suelos SUCS	ASTM D2487	09
Humedad Natural	ASTM D2216	09
Densidad Natural In situ	ASTM D-1556	02
Gravedad Específica	ASTM D-854	05
Ensayo al Corte Triaxial Consolidado Drenado	ASTM D-7181	02

Resultados de los ensayos de Laboratorio

De acuerdo a los ensayos de laboratorio realizados, el material del talud de la margen derecha está clasificado (SUCS) como SM (arena limosa) y SP-SM (arena pobremente gradada con limo) con cierta cementación. No tiene plasticidad o muy baja, donde más del 25% en peso pasa la malla # 200 (fino). Se asume que este tipo de material presenta coeficientes de permeabilidad del orden de 10^{-4} cm/s, lo que indica que es un material semi-permeable. De acuerdo a lo observado y a los sondajes realizados, se asume que el talud es homogéneo y está compuesto por arena limosa (SM) o limo arenoso sin



plasticidad con un porcentaje de humedad promedio de 4 a 8% y una densidad húmeda de 1.6 tn/m³.

De los ensayos de triaxiales de corte no drenados de las muestras D-8 y D-4, se considera en forma conservadora, un ángulo de fricción interna Φ de 34°. Se debe tener en cuenta que el suelo del talud se encuentra cementado en un proceso de intemperización de la roca sedimentaria, por lo que incrementa la cohesión obtenida en el laboratorio a 0.15 Kg/cm². En el Anexo adjunto se muestran los resultados de los informes de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos de las muestras extraídas.

Muestras de sedimentos

El D50 promedio del material del cauce es de 0.16 mm

La concentración promedios de los sedimentos en suspensión es de 13 mg/l.

Muestras alteradas de las riberas de la margen derecha

En el Cuadro N° 4 se muestra un resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio de muestras alteradas de los acantilados de la margen derecha.

Cuadro N° 4 Muestras alteradas de las riberas de la margen derecha. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio

Muestra	Grava %	Arena %	Finos %	Clasificación SUCS
D-01	0	75.1	24.9	SM
D-01	Ge= 2.663			
D-02	0	47.0	53.0	ML
D-02	Ge= 2.670			
D-03	1.3	56.4	42.3	SM
D-03	Ge= 2.677			
D-05	0	29.7	70.3	ML
D-05	Ge= 2.706			
D-09	0	93.7	6.3	SP
D-09	Ge= 2.703			



Muestras inalteradas de los acantilados de la margen derecha

En el Cuadro N° 5 se muestra un resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio de muestras inalteradas de los acantilados de la margen derecha.

Cuadro N° 5 Muestras inalteradas de los acantilados de la margen derecha. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio

Muestra	Ensayo Triaxial	ϕ	C (Kpa)	Clasificación SUCS
D-04	CU	33.1°	0	SM
	Grava : 0%	Arena : 65.6%	Fino :34.4 %	
D-08	CU	34.4°	5.3	SP-SM
	Grava : 0%	Arena : 90.1%	Fino :9.1 %	

Muestras alteradas de las riberas de la margen izquierda

En el Cuadro N° 6 se muestra un resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio de muestras alteradas de los acantilados de la margen izquierda.

Cuadro N° 6 Muestras alteradas de las riberas de la margen derecha. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio

Muestra	Grava %	Arena %	Finos %	Clasificación SUCS
D-06	45.6	53.6	0.5	SP
	Ge= 2.760			

* Muestra D-07 es similar a D-06.

8.0 SISMICIDAD DE LA ZONA

El Perú está ubicado en una de las áreas sísmicas más activas del mundo. La mayoría de los sismos de gran magnitud en el Perú son producidos por la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa sudamericana y de los reajustes que se producen en



la corteza terrestre como consecuencia de la subducción y la morfología de la región andina.

En los últimos 500 años se han registrado aproximadamente 20 sismos con magnitudes mayores de 7.5 MW causados por subducción. De acuerdo a la teoría tectónica, la mayor parte de la actividad sísmica se concentra a lo largo de los bordes de las placas. Es decir, la actividad sísmica del área se relaciona con la subducción de la placa oceánica (Nazca) bajo la placa continental sudamericana, en el segmento litoral costero comprendido entre los paralelos 2° y 15° de latitud sur. La subducción se realiza con un desplazamiento del orden de 5 cm. por año, ocasionando fricciones de la corteza, con la consiguiente liberación de energía mediante sismos, los cuales son más violentos cuando son más superficiales. Como los sismos de la región se originan por las fricciones corticales debidas a la subducción de la placa oceánica bajo la continental, resulta que a igualdad de condiciones los sismos resultan más intensos en las regiones costeras, decreciendo generalmente hacia la sierra y selva, donde la subducción y fricción cortical es paulatinamente más profunda (zona de Benioff).

Las zonas alejadas del oriente amazónico como Puerto Maldonado, sufren de pocos eventos sísmicos y de menor intensidad, precisamente por la mayor profundidad en que se produce la subducción bajo esta región, en comparación a lo que ocurre en la costa y sierra.

El área de La Pastora en Puerto Maldonado, se encuentra ubicada en una zona de bajo riesgo sísmico, tanto por la frecuencia de los movimientos, como por la severidad de los mismos, debido a su ocurrencia a mayores profundidades de la corteza.

Se puede esperar sismos con una intensidad de VI a VII grados, y una aceleración máxima horizontal de 0.14 g (aceleración máxima del terreno con un periodo de retorno de 475 años, según Castillo y Alva, 1993). Marcuson (1981) sugiere que un coeficiente sísmico apropiado es $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ de la aceleración máxima incluyendo los efectos de amplificación de la presa.

Como regla práctica se recomienda que el coeficiente sísmico sea aproximadamente el 50% de la máxima aceleración del terreno obtenido del estudio de riesgo sísmico considerando un periodo de recurrencia 500 años. El coeficiente sísmico de diseño recomendado es 0.07 g, para el análisis pseudo-estático de estructuras. Según el código sismo-resistente del Reglamento Nacional de Construcción, el área de estudio se encuentra en la zona sísmica 1 del Perú.



9.0 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE LA PASTORA

De la evaluación realizada se debe enfatizar que el problema ocurrido en los acantilados de La Pastora no es un problema de estabilidad de taludes sino de erosión fluvial del pie de los taludes, y de falta de drenaje superficial debido a las lluvias.

El movimiento del río Madre de Dios hacia la margen derecha, agrandando el meandro, ocasiona la socavación del pie del talud y por consiguiente desestabiliza los sectores superiores, empujando los taludes por encima de su ángulo de equilibrio. Entre las progresivas 1+300 y 3+750 del plano topográfico, la corriente del río ha erosionado el pie de los taludes, ocasionando agrietamientos en los acantilados y deslizamientos superficiales del talud que van avanzando progresivamente hacia la carretera interoceánica entre las progresivas de la vía Km 480+070 y Km 480+910. Además, el retiro de la vegetación por el deslizamiento superficial, y la falta de un sistema de drenaje, han producido cárcavas en el talud que se van agrandando conforme transcurre la temporada de lluvias.

La evaluación de la estabilidad de los taludes en laderas en las zonas tropicales es muy compleja por las dificultades para caracterizar las propiedades de las rocas intemperizadas y los suelos residuales. La pendiente del talud depende de los niveles de meteorización, tipo de suelo y la cohesión. Es difícil cuantificar la influencia de las estructuras rocosas existentes, y del suelo de cobertura, en la sub-superficie del talud. Igualmente las tensiones negativas relacionadas con la humedad representan un aporte importante a la estabilidad de los suelos no saturados.

Para el análisis de estabilidad actual de los taludes de la zona de La Pastora se han definido algunas probables superficie de deslizamiento con los materiales próximos al equilibrio límite y siguiendo el comportamiento de resistencia al corte basado en la envolvente de falla de Mohr-Coulomb. No se han considerado las superficies próximas al talud por no ser reales y por no involucrar la estabilidad integral del talud. Se entiende que todos los factores de seguridad de los taludes son mayores que 1, debido a que se encuentran estables sin grietas en la corona. El análisis de verificación se realizó utilizando el programa SLIDE con el método Simplificado de Bishop y el método de Spencer. Este último es uno de los más rigurosos para el análisis de estabilidad de taludes y considera superficies de falla circulares.

Es importante recalcar que más importante que el método de equilibrio límite, es definir correctamente la geometría del talud a analizar y los parámetros geotécnicos de los



materiales involucrados. Los parámetros utilizados para los materiales del talud se basan en la experiencia personal y los ensayos de laboratorio realizados. De acuerdo a lo observado en los taludes expuestos, se asume que el talud es homogéneo y está compuesto por arena limosa (SM) cementada sin plasticidad con un porcentaje de humedad promedio de 4% y una densidad húmeda de 1.6 tn/m^3 . De los ensayos de triaxiales de corte no drenados, se considera un ángulo de fricción interna Φ de 34.4° . Se debe tener en cuenta que el suelo del talud, se encuentra cementado en un proceso de intemperización de la roca sedimentaria, por lo que incrementa la cohesión obtenida en el laboratorio a 0.15 Kg/cm^2 . Se considera que el único material que interviene directamente en la estabilidad del talud es la arena limosa (SM) cementada. Se debe tener en cuenta que en la parte baja del talud, se observa que el suelo se encuentra más cementado, más parecido a una roca sedimentaria, lo que incrementa la estabilidad global del talud. Se debe considerar que la cohesión aumenta según el tipo de material (arena, arcilla o limo arenoso) y el grado de cementación de la arena.

Para imponer una condición extrema se ha considerado un sismo con un periodo de recurrencia de 500 años. El sismo probable es representado por un coeficiente sísmico horizontal que depende de la zona de ubicación. Para el análisis pseudo-estático se utilizó el Mapa de Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Castillo, CISMID 1993). Según el mapa se tiene una aceleración máxima de la zona de 0.14 g. Como regla práctica, se recomienda que el coeficiente sísmico sea aproximadamente el 50% de la máxima aceleración del terreno obtenido del estudio de riesgo sísmico (Kramer, 1996). Por consiguiente, el coeficiente sísmico horizontal utilizado en el análisis pseudo-estático es 0.07 g. Se ha analizado la estabilidad global del talud perfilado con una pendiente de 54° , 45° y 36° , y con una altura de 30 m; utilizando el programa SLIDE con los métodos de Bishop y Spencer. Para la condición estática, el factor de seguridad crítico es 1.12, 1.19 y 1.79, respectivamente y para la condición pseudo-estática el factor de seguridad es 1.01, 1.07 y 1.56, respectivamente. Se utilizaron parámetros de resistencia de esfuerzos efectivos para ambos casos y no se consideró nivel freático. No se han considerado las cargas verticales por estar fuera de los círculos de falla.

Se concluye que el talud de las laderas en la zona de La Pastora es estable para los ángulos observados (54° a 36°). La estabilidad depende del valor de la cohesión, en los taludes más empinados la arena se encuentra más cementada. Todos los resultados del análisis de estabilidad de los taludes se reducen a que el factor de seguridad es



mayor que uno, para que sea estable. Se entiende que el factor de seguridad está definido como la relación existente entre el momento resistente de las fuerzas que se oponen al deslizamiento y el momento actuante de las fuerzas que propician el movimiento. Sin embargo, para que esto se cumpla en La Pastora se debe implementar un grupo de espigones que estabilicen el pie de los taludes y un sistema de drenaje y protección superficial que evite la formación de cárcavas.

10.0 MEJORAMIENTO DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD

Para el mejoramiento de los taludes en la zona de La Pastora, se pueden aplicar diversas soluciones que se aplican en países desarrollados para la estabilización de taludes. Sin embargo, se ha optado por acciones más realistas que estabilicen el talud. En este sector entre las progresivas 1+300 a 3+750 del plano topográfico se recomienda “desquinchar” manualmente (remover las protuberancias del suelo) formando un talud más perfilado y uniforme. Además, se recomienda la construcción de canales de coronación en la parte alta del talud a unos 5 m del acantilado que desvíen las corrientes de agua hacia las quebradas aledañas fuera del talud.

Adicionalmente, se recomienda la instalación de biomantas anti-erosivas para proteger inmediatamente el suelo, hasta que la vegetación se establezca evitando la posible erosión durante la temporada de lluvias. Las biomantas se fabrican industrialmente a partir de fibras vegetales, fibra de coco y fibras sintéticas. Las fibras se cosen industrialmente formando una trama resistente y se protegen por redes de polipropileno o yute, lo que permite programar su degradabilidad. Las fibras biodegradables al descomponerse se transforman en una capa de material fértil que favorece el crecimiento de la vegetación.

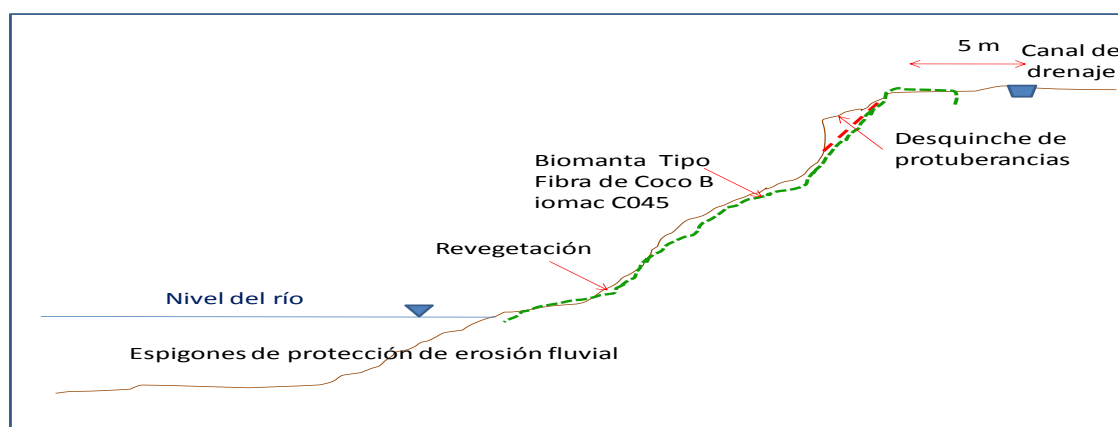


Figura N° 2 Esquema con los trabajos propuestos para la estabilización del talud en la zona de La Pastora colindante con la carretera entre la progresiva Km. 480+070 y Km. 480+910.



Se recomienda la Biomanta tipo Fibra de Coco Biomac C045 de Maccaferri de 450 gr/m². Para su instalación se debe rellenar completamente el espesor de la biomanta, mediante la mezcla de tierra vegetal y semilla de pasto de la región (a razón aprox. de 50 gr/m²). Las semillas deben ser elegidas tomando en cuenta el clima, exposición al sol y el grado deseado de cubierta. El sistema de riego y mantenimiento en la etapa primaria, es fundamental para el crecimiento de la vegetación.

La cobertura vegetal impide la infiltración y evita la erosión superficial reforzando la estructura superficial del suelo. Además, absorbe la energía de la lluvia, amarra o retiene las partículas del suelo y regula la humedad del suelo en días soleados. Finalmente, disminuye la velocidad de escorrentía de la lluvia, retrasa la saturación y con ello la aparición de escorrentía superficial.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De la evaluación realizada se tienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- a) En la zona denominada La Pastora, el río Madre de Dios deposita los sedimentos arenosos (SP) en la margen izquierda generando un mayor radio en la margen derecha del río, que ocasiona una erosión fluvial al pie de los taludes y una socavación lateral de la ribera de la margen derecha. Este proceso produce inestabilidad en los taludes de la margen derecha, que va avanzando rápidamente en dirección a la plataforma de la carretera interoceánica, pudiendo llegar a afectar su integridad a corto plazo entre las progresivas Km. 480+070 y Km. 480+910.
- b) La ciudad de Puerto Maldonado se encuentra emplazada sobre una colina baja de suelos residuales de la Formación Madre de Dios, compuesto por arenas arcillosas y arenas limosas, con rocas sedimentarias meteorizadas en la base (areniscas) sin presencia de napa freática, que pueden llegar hasta 30 m de altura sobre los ríos Madre de Dios y Tambopata. Generalmente, el suelo predominante en La Pastora es arena limosa de grano fino con cierta cementación, color marrón claro con estratificación cruzada, clasificada (SM), con presencia de mantos de limos y arcillas de baja plasticidad.
- c) El problema ocurrido en los acantilados de La Pastora, no es un problema de estabilidad de taludes sino de erosión fluvial del pie de los taludes y de falta de drenaje superficial pluvial. El movimiento del río Madre de Dios hacia la margen derecha ocasiona la socavación del pie del talud y por consiguiente desestabiliza



el talud por encima del nivel del río, empujando los taludes sobre su ángulo de equilibrio. Entre las progresivas 1+300 y 3+750 del plano topográfico, la corriente del río ha erosionado el pie de los taludes, ocasionando agrietamientos en los acantilados y deslizamientos superficiales del talud que van avanzando progresivamente hacia la carretera interoceánica y viviendas aledañas. Este problema se evitará con la construcción de espigones de río a lo largo del tramo, que estabilicen el pie del talud.

- d) Del análisis de estabilidad realizado se concluye que los taludes de los acantilados en la zona de La Pastora son estables en la condición actual. Sin embargo, para mantener la estabilidad se debe implementar un sistema de espigones en el río que estabilicen el pie de los taludes. La erosión superficial y las cárcavas se producen por la falta de un sistema de drenaje y por la pérdida de la vegetación existente producida por el deslizamiento superficial. Este problema se va agrandando conforme transcurre la temporada de lluvias, por lo que se recomienda encauzar el agua de lluvias por canales de coronación en la parte alta, e impermeabilizar la superficie mediante biomantas biodegradables y revegetación en la zona de La Pastora colindante con la carretera entre la progresiva Km. 480+070 y Km. 480+910.
- e) Para el control de las cárcavas en las quebradas adyacentes se debe evitar que grandes flujos de agua bajen a velocidad por las quebradas sin protección, debido a que provocan la erosión del suelo, deforestación y la desestabilización de los taludes; lo que conlleva a proyectar un sistema de drenaje pluvial en las quebradas con colchones de piedras, gaviones, revegetación o muros de concreto, que disminuya la velocidad del agua sin erosionar los taludes en su camino hacia el río Madre de Dios.
- f) Las conclusiones y recomendaciones de este informe son sólo aplicables a la zona de los taludes en La Pastora. No se pueden aplicar a otros fines o a otros sectores.



11.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- a) INGEMMET, Boletín N° 123: Geología del Cuadrángulo de Puerto Maldonado (Hoja 22-x); Lima, Noviembre 1996.
- b) Mapa de Peligros de la Ciudad de Puerto Maldonado, Proyecto INDECI-PNUD PER 02/051 Ciudades Sostenibles, Sistema Nacional de defensa Civil, 2007.
- c) Lambe W., y Whitman R., Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York, 1969.
- d) Das B. M., Principles of Foundation Engineering, Second Edition, PWS-Kent Publishing Company, Boston, 1990.
- e) Kramer S., (1996), Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- f) SLIDE, User's Guide, Rocscience Inc., 2002.
- g) Castillo J. y Alva J., "Peligro Sísmico en el Perú", VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, 1993.
- h) Reglamento Nacional de Construcciones, Norma Técnica de Edificación E.050: Suelos y Cimentaciones.

**ANEXO 4: ESTUDIO DE BATIMETRIA “DEFENSAS RIBEREÑAS
ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”**



CORREDOR VIAL INTEROCEÁNICO SUR

TRAMO 3

PUENTE INAMBARI - IÑAPARI

DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910

BATIMETRIA

LIMA, SETIEMBRE/2011

**DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA****INFORME N° 2****INFORME FINAL DE BATIMETRIA****1. INTRODUCCION**

El presente informe contiene los trabajos que se realizaron en gabinete para el procesamiento de la información obtenida del levantamiento batimétrico del río Madre de Dios, en la zona de “La Pastora” de la ciudad de Puerto Maldonado. La toma de datos batimétricos, tal como se indicó en el Informe N° 1 de trabajos de campo, se efectuó en la segunda semana del mes de septiembre.

En el presente informe se presenta además los estudios de la obtención de muestras de sedimentos de fondo y en suspensión.



Foto 01.- Ubicación del área del levantamiento batimétrico del río Madre de Dios en la imagen satelital de la ciudad de Puerto Maldonado (En naranja)

2. OBJETIVOS

Los objetivos del levantamiento batimétrico son:

- Obtener curvas de nivel del cauce del río con el fin de estudiar las características morfológicas del tramo en estudio, y así analizar el comportamiento hidrodinámico del río para diferentes caudales.
- Estudiar las características de la margen derecha del río, hasta el fondo del cauce, con el fin de diseñar las defensas ribereñas más adecuadas

Para el desarrollo de los objetivos se efectuaron primeramente los siguientes trabajos:

- Levantamiento batimétrico, de aproximadamente 5,0 km de longitud, en un tramo fluvial del río Madre de Dios, con secciones transversales cada 20 m.
- Mediciones hidrométricas para el control de niveles del río
- Toma de muestras de sedimentos de fondo y en suspensión.

3. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL TRABAJO

3.1 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO

El levantamiento batimétrico se realizó de acuerdo a los requerimientos técnicos especificados para este tipo de trabajo, según la Organización Hidrográfica Internacional, Bureau Hidrográfico Internacional y la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina del Perú. Las especificaciones técnicas para los trabajos de batimetría están en función del tipo de estudio para el cual se realiza, para el caso son las siguientes:

LÍNEAS PRINCIPALES	LÍNEAS DE VERIFICACIÓN	REGISTROS DE ECOSONDA	CALIBRACIÓN DE ECOSONDA	REDUCCIÓN DE SONDAJES
Líneas transversales al eje longitudinal del cauce del río y separadas cada 20 metros	Perpendiculares a las líneas principales y separadas cada 50 metros	Continuo en metros	Al inicio y final del sondeaje	Los sondeos serán reducidos por inmersión de transducer, por variación del nivel del río, y por pendiente hidráulica

3.2 CARTOGRAFÍA

Las características de la cartografía son:

ESCALA	DATUM DE REFERENCIA	PROYECCION CARTOGRAFICA
1: 2 000	WGS 84	UTM 19 SUR

4. Equipos utilizados

Para los trabajos batimétricos y muestreo de fondo se utilizaron los siguientes equipos:

- Equipos geodésicos
- Equipos hidrográficos

4.1 Equipos Geodésicos



Foto 02.- Equipos geodésicos

**Descripción:**

Receptor GPS Geodésico diferencial de 40 canales con GPS+ integrado en el receptor/antena con MINTER interface.

Marca: TOPCON. **Modelo:** Hiper.

Compuesto por unidad Base y unidad Rover, adicionalmente un equipo completo de Radio Módem para posicionamiento en modo RTK

**Especificaciones de Rastreo:**

Canales de rastreo: 40 canales L1 GPS (20 GPS L1+L2 GPS/GLONASS).

Señales Rastreadas: L1 / L2 / C/A Código P y Portadora.

Especificaciones de Precisión:**Modo Estático:**

- Precisión Horizontal: $\pm 3 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
- Precisión Vertical: $\pm 4 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

Modo RTK: Real Time Kinematic

- Precisión Horizontal: $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$
- Precisión Vertical: $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

Usos:

- Establecimiento de puntos de control geodésico.
- Establecimiento de redes de control topográfico.
- Densificación de redes de control horizontal y vertical en RTK.
- Levantamientos Topográficos y Batimétricos en RTK.
- Replanteos por coordenadas en RTK.





FICHA TÉCNICA: RECEPTOR GPS HEMISPHERE

Descripción:

Receptor GPS diferencial de 40 canales con GPS+ integrado en el receptor/antena con MINTER interface.

Marca: HEMISPHERE Modelo: RS 220

Compuesto por una antena y un dispositivo GPS, para posicionamiento en modo diferencial



Especificaciones de Rastreo:

Canales de rastreo: 40 canales L1 GPS
20 GPS L1+L2

GPS/GLONASS.

Señales Rastreadas: L1 / L2 / C/A Código P y Portadora.

Utiliza la plataforma Eclipse™

Tecnología exclusiva COAST de SBAS diferencial

Especificaciones de Precisión:

Modo Diferencial:

- Precisión Horizontal:
± 30 cm + 1 ppm
- Precisión Vertical:
± 10 cm + 1 ppm

Modo RTK: Real Time Kinematic

- Precisión Horizontal:
± 5 mm + 1 ppm

4.2 Equipos Hidrográficos

Los equipos designados para trabajos de campo han sido los siguientes:

- 01 Receptor GPS Diferencial con señal OMNISTAR, marca HEMISPHERE, modelo RS 220.
- 01 Ecosonda hidrográfica digital BATHY 500 DF Doble frecuencia
- Software HYPACK MAX 2010 para recolección de datos y post-proceso

- 01 Muestreador de fondo tipo Van Veen
- 01 botella, como muestreador de sólidos en suspensión

FICHA TÉCNICA: ECOSONDA HIDROGRÁFICA

Descripción: Ecosonda Bathy-500DF

Marca: OceanData Modelo: Bathy 500 DF

La ecosonda trabaja conjuntamente con la unidad RTK, para el registro simultáneo de posición (GPS) y profundidad del agua (Ecosonda), para los levantamientos batimétricos, es compatible con software hidrográficos aprobado por la OHI (Organización Hidrográfica Internacional) como Hypack, Winprofile, Hidro, etc



Especificaciones de Precisión:

Depth Ranges: 0-5, 0-10, 0-20, 0-40, 0-80, 0-160, 0-640 Metros.

Phasing: 0-40, 20-60, 40-80, 60-100, 80-120, 100-140, 120-160 through 560-640 Metros.

SISTEMA INTEGRADO TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

Tecnología Utilizada

The diagram illustrates the equipment used in an integrated topographic and bathymetric system. On the left, a vertical column lists the technologies used, including a GNSS receiver, a data logger, the OceanData Bathy-500DF echosounder, a laptop with Hypack software, and a Hypack logo. The main part of the diagram shows various pieces of equipment:

- R "HPER-Y GA":** A GNSS receiver.
- BICOS:** A GNSS receiver.
- ESTACION TOTAL TOPCON:** A total station.
- NIVEL OPTICO TOPCON:** An optical level.
- LAPTOP CON SOFTWARE "HYPACK":** A laptop with Hypack software.
- RADIOS INTERCOMUNICADORES:** Two walkie-talkies.

EQUIPOS UTILIZADOS



5. Metodología de trabajo

5.1 Instalacion de Reglas Limnimetricas

Se instalaron 02 reglas Limnimétricas ubicadas de la siguiente manera:

- Regla Nº 1.- Aguas arriba de la zona del proyecto.
- Regla Nº 2.- Aguas abajo de la zona del proyecto.

Las reglas han sido niveladas con respecto a un BM, el cual fue entregado por el cliente. Las lecturas en las reglas se registraron cada hora, durante la realización de los trabajos de batimetría.

5.2 Levantamiento Batimetrico

Una carta batimétrica es una representación de las características topográficas del lecho marino, del cauce de un río o del fondo de un lago. A diferencia de los levantamientos topográficos, en los levantamientos batimétricos la determinación de la profundidad se hace utilizando una ecosonda hidrográfica digital. Además, el sistema utilizado para el posicionamiento de la embarcación es el sistema satelital GPS. Para realizar el enlace entre la data GPS y de la ecosonda se utiliza el software especializado para levantamientos hidrográficos HYPACK.

La finalidad de realizar el levantamiento batimétrico en este trabajo es determinar la tendencia del Thalweg (línea de navegación óptima) y la geomorfología del lecho fluvial para el estudio correspondiente.

5.3 Posicionamiento de la Embarcación

Para el posicionamiento preciso de la embarcación hidrográfica, se utilizó el Sistema de Posicionamiento Satelital GPS, para lo cual se cuenta con el equipo geodésico de la serie R 220 HEMISPHERE.

La señal satelital es enviada desde una estación en tierra mediante una señal al receptor instalado en la embarcación, la cual nos da una señal cinemática en tiempo real. Las correcciones son enviadas en formato que permite la elaboración de una corrección diferencial aplicable a la cobertura total de la zona de trabajo.

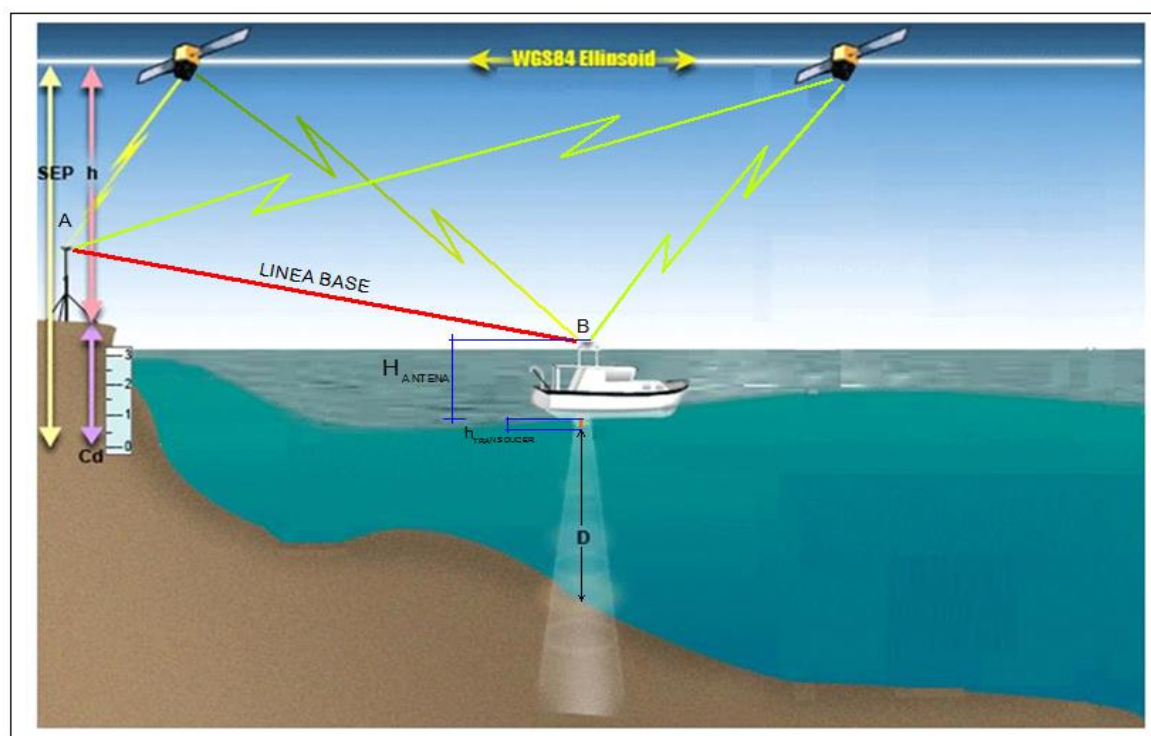


Figura 02.- Posicionamiento de la Embarcación

5.4 Medición y Registro de Profundidades

Para el registro de las profundidades se empleó la Ecosonda Hidrográfica Digital BATHY 500DF, la cual permite el registro de la información de sondaje en forma continua en la computadora, siendo el enlace el software para levantamientos hidrográficos.

Las ecosondas operan basándose en el principio del eco, desde el transreceptor ubicado en el transducer es emitido un pulso ultrasónico que se propaga en el agua a la velocidad del sonido, y que se determina en función de la salinidad y temperatura del agua, al llegar al fondo se refleja en él, retornando al transductor, y la unidad transreceptora mide automáticamente el tiempo que demora el eco en ser recibido. Conociendo la velocidad de propagación del pulso ultrasónico y el tiempo que dura su recorrido, se determina la distancia. Como resultado se puede obtener una gráfica precisa del relieve del fondo por sobre el cual navega la embarcación.

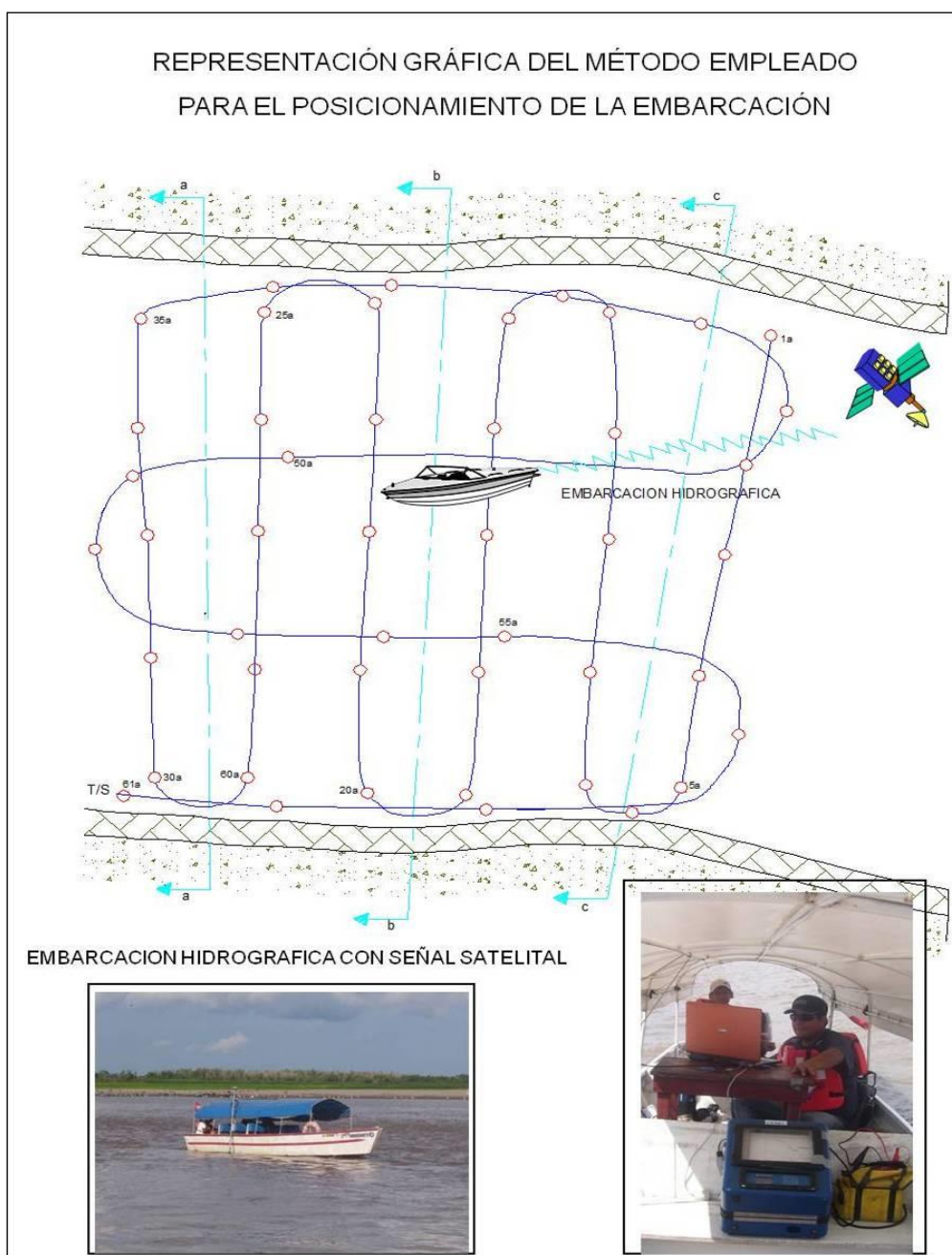


Figura 03.- Esquema del Levantamiento Batimétrico, trabajo realizado en Campo

5.5 Reducción de Sondajes

✓ **Por inmersión del transducer**

Es la reducción debida a la profundidad sumergida del transducer en el momento de la medición.



✓ **Por variación del nivel del río**

Es la reducción que se hace por la variación del nivel del río en m.s.n.m. durante el período de trabajo.

✓ **Por pendiente hidráulica**

Los ríos debido a su movimiento hacia aguas abajo, tienen una pendiente natural, que requiere ser tomada en cuenta, sobre todo cuando se trabaja en grandes longitudes del canal o canales con pendientes pronunciadas.

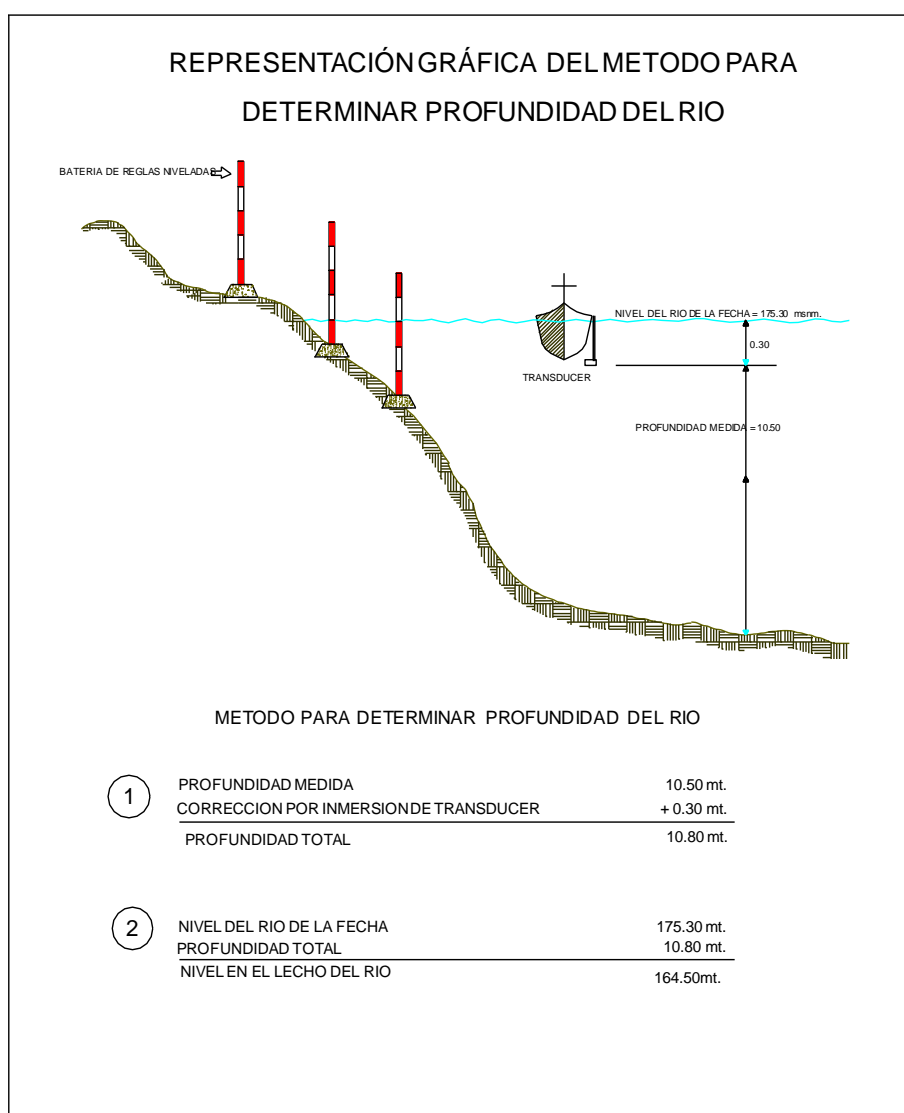


Figura 04.- Esquema en el se aprecia el método para determinar las profundidades del río.



5.6 Nivel de Reducción

La altura de agua con respecto al lecho no se mantiene estable, sino que cambia con el tiempo; esta variación se debe al régimen estacional del área y/o al régimen hidrológico de los ríos, riachuelos o canales aportantes. Cuando se realizan levantamientos en cualquier medio acuático, se requiere adoptar un nivel de referencia o reducción que sirve para estandarizar los sondeos, ya que se ejecuta en distintas horas y días, mientras el nivel de agua con respecto al fondo varía.

Como se puede entender, este método permite controlar el nivel del espejo de agua con una alta precisión. Los niveles que proporciona una regla limnimétrica son valores medios de la variación del nivel. La reducción de sondeos por inmersión de transducer y por variación del nivel de espejo de agua se realiza utilizando el módulo TIDE del software HYPACK.

6. TRABAJO DE CAMPO

6.1 Registro del Nivel del Río

En la margen del río Madre de Dios se instalaron 2 reglas Limnimétricas, ubicada la primera regla a 400 m aguas arriba del embarcadero La Pastora (aguas arriba de la zona del proyecto) y la segunda regla se ubica a 3,2 km aguas abajo desde la primera regla (aguas abajo de la zona del proyecto). En el Cuadro N° 1 se muestra el registro de las lecturas limnimétricas.

Cuadro N° 1 Registro de las lecturas del nivel del río

HORA	11 Setiembre 2011		12 Setiembre 2011		13 Setiembre 2011		14 Setiembre 2011	
	REGLA 1	REGLA 2	REGLA 1	REGLA 2	REGLA 1	REGLA 2	REGLA 1	REGLA 2
09:00					28.1	10.1	29.0	09.0
10:00	27.0	27.0	14.6	14.6	28.0	10.0	29.0	09.0
11:00	26.5	26.4	14.2	14.2	28.0	10.0	29.0	09.0
12:00	25.6	25.5	14.1	14.0	27.9	09.9	28.7	08.7
13:00	25.0	25.0	13.8	13.8	27.8	09.8	28.6	08.6
14:00	24.2	24.2	13.6	13.6	27.7	09.7	28.5	08.5
15:00	23.6	23.6	13.3	13.3	27.6	09.6	28.4	08.4
16:00	23.1	23.0	13.1	13.0	27.4	09.4	29.3	09.2
17:00	22.7	22.7	12.8	12.8	27.2	09.2	29.5	09.4
18:00					27.0	09.0	29.7	09.6

- Ver ubicación en el plano N° PL-GEN-BAT-PRZ-001 Plano de Batimetría (Anexo E).



La lectura de los niveles del río, en cada una de estas reglas, fue efectuada cada hora, de cada día, durante el período de levantamiento batimétrico.

En el siguiente Cuadro N° 2 se aprecia el cálculo de pendiente hidráulica de acuerdo a las lecturas de las reglas limnimétricas establecidas en la zona de trabajo.

La hidro-geomorfología de los ríos de la selva baja se desarrolla en suelos poco estables (limo y arcilla), esto origina que el curso meándrico de los mismos tiendan a variar en el tiempo.

La pendiente hidráulica promedio en ríos amazónicos es de 5×10^{-5} , es decir por cada km existe una variación de 5 cm. En los días de levantamiento se obtuvieron valores de pendiente variable

6.2 TRABAJOS DE BATIMETRÍA

Se definió en campo el área que abarcaría el levantamiento batimétrico, para tal fin se tomó como referencia el polígono proporcionado por el cliente, a partir del cual se realizó la actualización de las áreas a levantar, definiendo líneas transversales cada 20 metros respecto al eje longitudinal del río. Con la ayuda del software HYPACK 2010 y el módulo Line Editor se realizó la planificación de las líneas de levantamiento.

El levantamiento batimétrico abarcó 172,00 has aproximadamente. La profundidad máxima alcanzada fue de 15 metros ubicada en la zona donde desemboca una alcantarilla existente sobre la margen derecha. Los trabajos se llevaron a cabo durante cuatro días a partir del 11 de setiembre. La inmersión del transducer fue de 0,40m. (11Set), 0,38m. (12Set), 0,37m. (13Set.) y 0,35m. (14 y 15Set).

El sistema de posicionamiento es el indicado en la metodología de trabajo. El levantamiento de las líneas transversales y paralelas al eje longitudinal del río se realizó sin contratiempos.

Para la zona de ubicación del thalweg, cercano a la margen derecha, donde se ubicarán las defensas ribereñas, se ha ejecutado un levantamiento batimétrico más al detalle, con mayor concentración de puntos y con secciones paralelas al perfil longitudinal del cauce del río, procurando obtener la mayor información para ver la configuración del lecho del río.

6.3 SECCION TRANSVERSALES CADA 20 M

Se ha ejecutado los trabajos para el levantamiento batimétrico en un tramo fluvial del río Madre de Dios de aproximadamente 5,0km, ubicada en la zona La Pastora. Este levantamiento está compuesto por secciones transversales, al eje del cauce del río espaciadas cada 20 m.

En los planos PL-SEC-BAT-PRZ-001 al 005- Secciones transversales (Anexo E), se puede apreciar las secciones transversales del río en las zonas críticas.

7. TRABAJOS DE GABINETE

La información de las profundidades medidas con la ecosonda, así como también el posicionamiento de la embarcación dada por el receptor GPS, fueron enlazadas por el software hidrográfico HYPACK MAX 2010, el cual almacenó los datos registrados en tiempo real, y posteriormente se ingresaron las correcciones por reducciones de sondajes previamente establecidos.



Figura 05.- Procesamiento de la data de campo en gabinete

Con los datos obtenidos en campo se procedió a elaborar las curvas de nivel, cada metro, del cauce del río

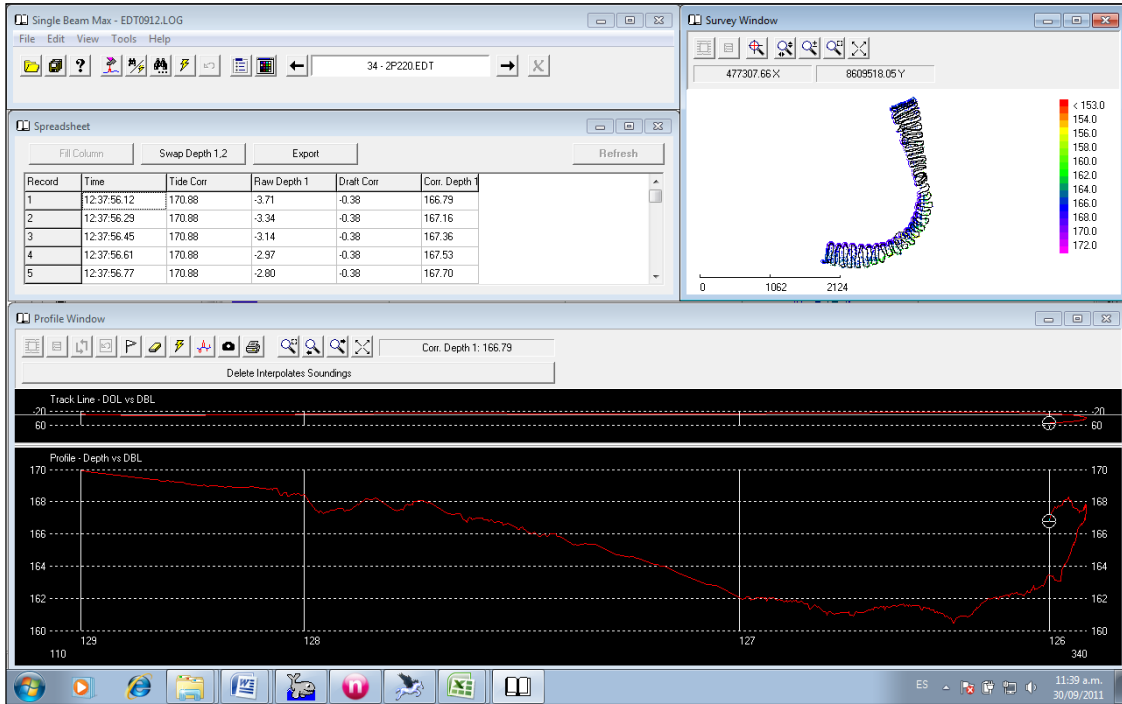


Figura 06.- Procesamiento de información batimétrica SINGLE BEAM EDITOR

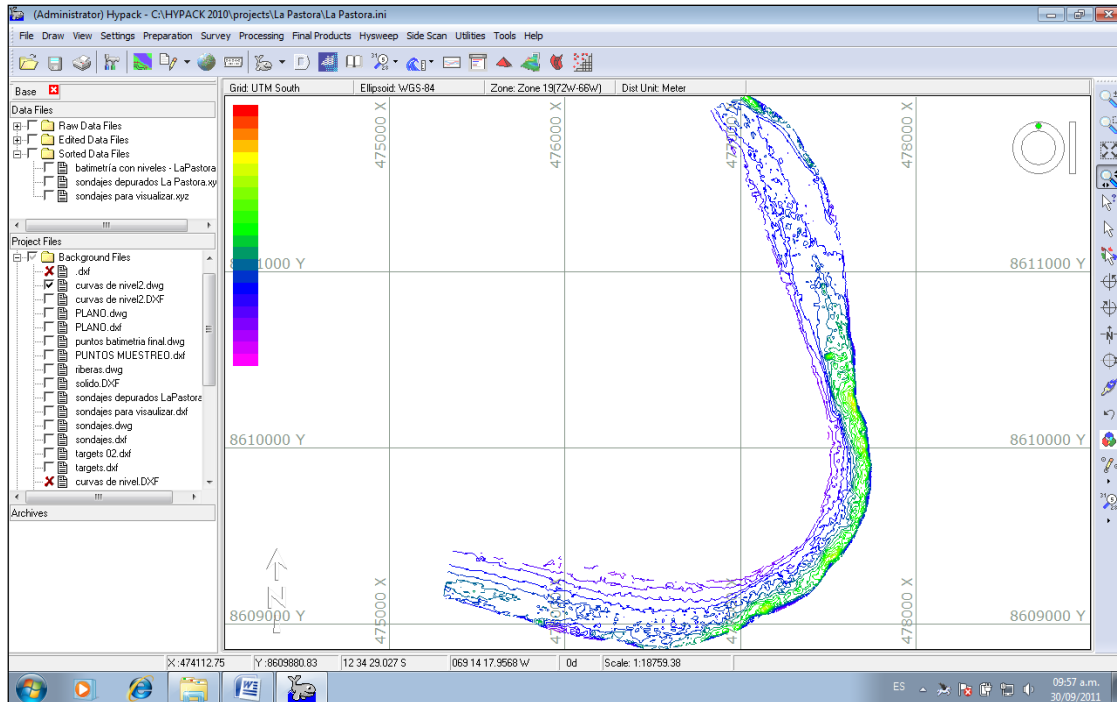


Figura 07.- Vista de planta en el programa HYPACK MAX

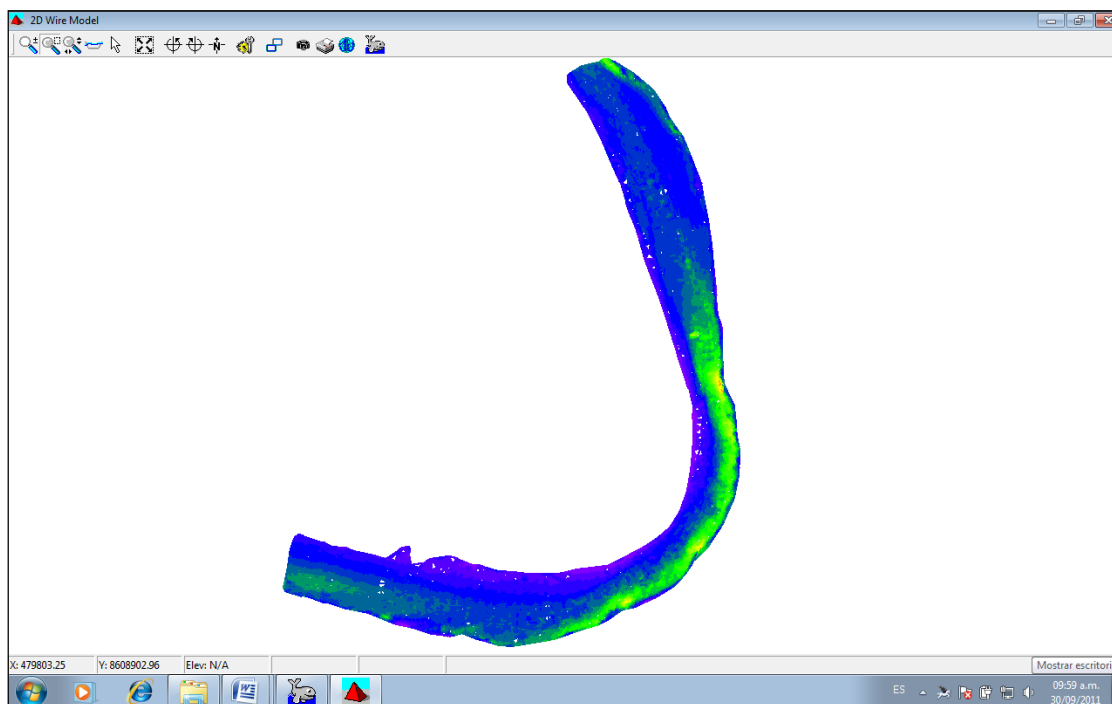


Figura 08.- Vista planta curvas de nivel cada metro TIN MODEL

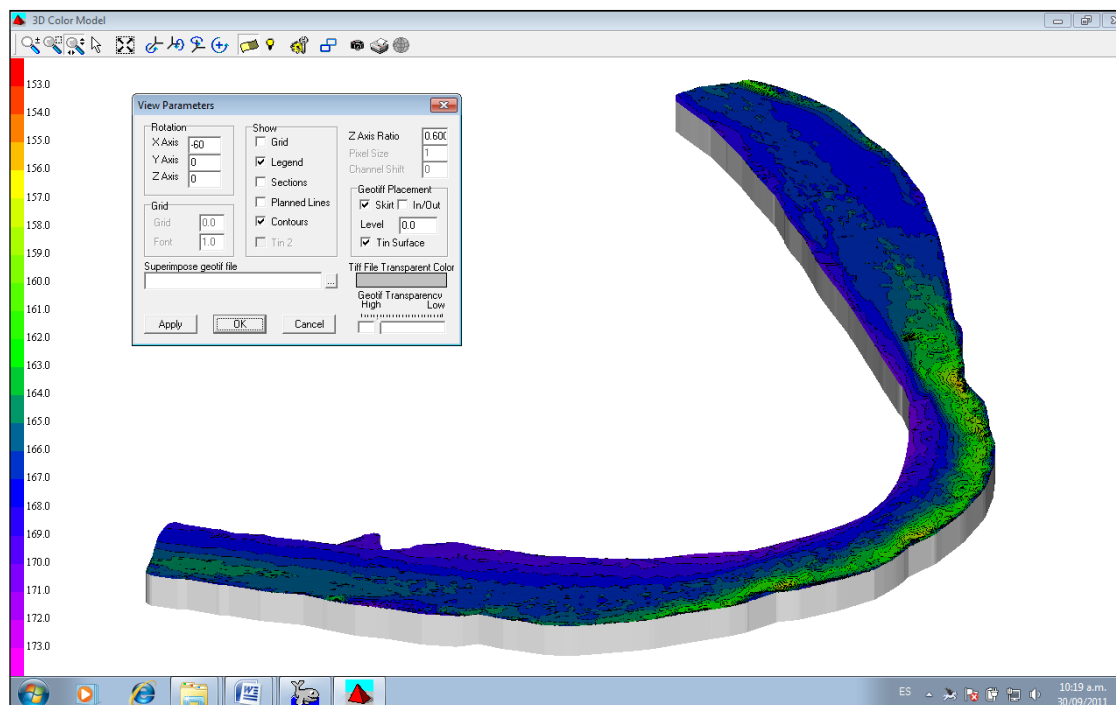


Figura 09.- Modelo Digital en 3D

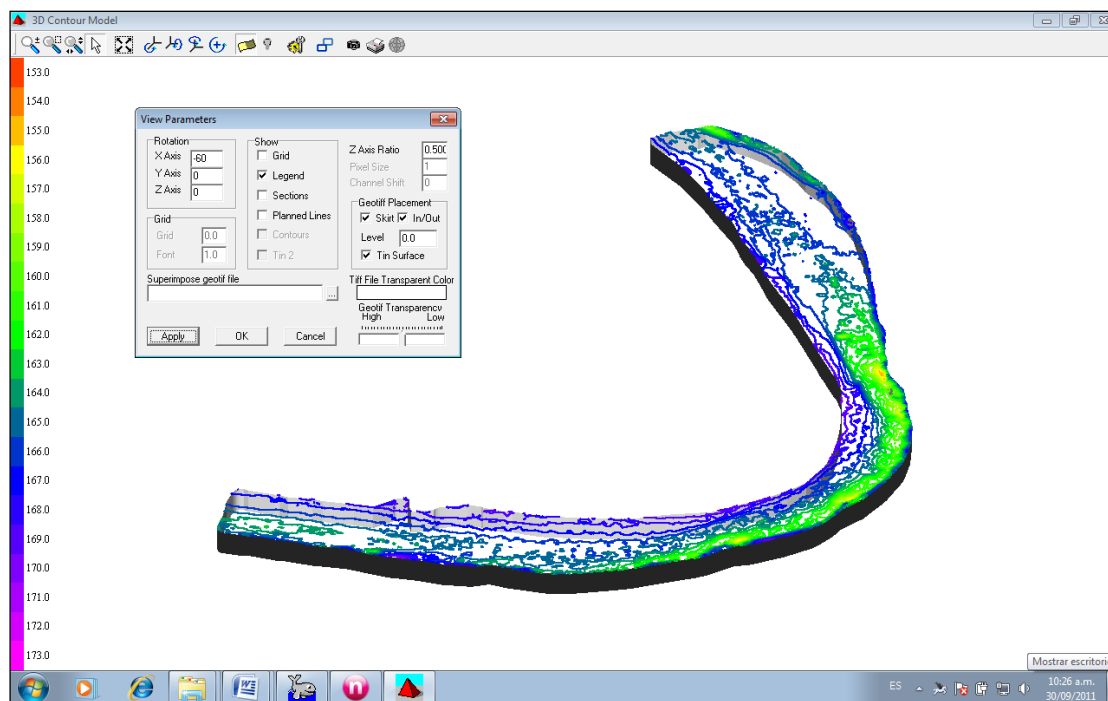


Figura 10.- Generación de curvas de nivel en el subprograma 3D CONTOUR MODEL

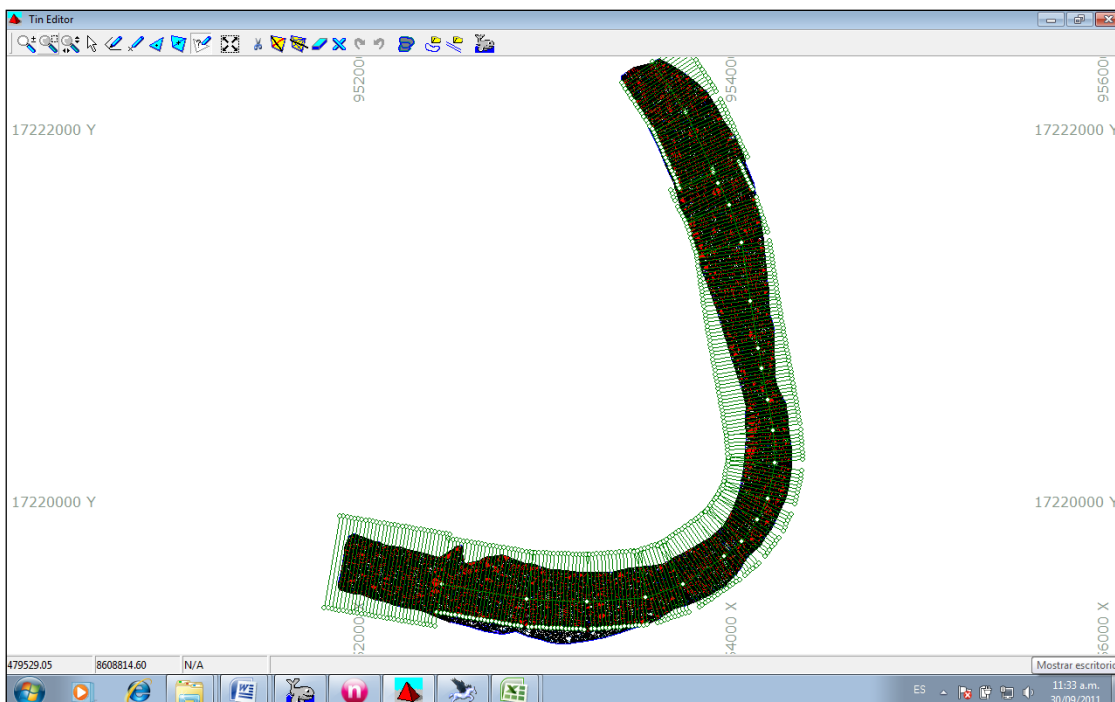


Figura 11.- Generación del Mallado en el Subprograma TIN Model. Vista de líneas planificadas

En el Anexo E se presentan los siguientes planos de batimetría:

- **PL-GEN-BAT-PRZ-001** Plano General de batimetría
Ubicación de muestras de fondo y suspensión
Escala: 1/5000 (1/1)
- **PL-SEC-BAT-PRZ-001 al 005** Secciones transversales del río
Escala: H=1/2000, V=1/200 (1/1)
- **PL-GEN-SED-PRZ-001** Ubicación de puntos de muestreo de sedimentos
Escala: H=1/2000, V=1/200 (1/1)

8. TOMA DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS

8.1 MUESTREO DE MATERIAL DE FONDO

Para conocer las características del material del lecho del río se tomaron muestras en los puntos críticos del tramo en estudio, utilizando un equipo especialmente diseñado para este trabajo.

El procedimiento consiste en arrastrar en el lecho del río el muestreador de fondo (draga tipo Van Veen), maniobrado desde una embarcación, y éste al contacto con el lecho del río recoge muestras de fondo. La cantidad requerida para el análisis puede variar dependiendo del tipo de material que se recolecta, puede ser necesario 500 gr. si es una muestra fina, o 100 gr. si es una gruesa.

El posicionamiento de cada uno de los lugares de muestreo se efectuó con el sistema DGPS mediante el Software Hypack Max 2010. En el Plano PL-GEN-SED-PRZ-001 (Anexo E) se muestra la ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos

Cuadro N° 3 Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos (fondo y en suspensión)

Nº muestra	Este	Norte	Profundidad
M-1	477570	8609377	6.50
M-2	477447	8609231	5.10
M-3	477109	8609058	7.20
M-4	476694	8608913	5.70



8.2 MUESTREO DE MATERIAL EN SUSPENSIÓN

Para conocer la concentración del material que se transporta en suspensión se utilizó el muestreador de material de sólidos en suspensión, el análisis de estas muestras nos permitirá definir la concentración de sedimentos.

El posicionamiento de cada una de los lugares de muestreo se efectuó con el DGPS mediante el Software Hypack 2010.

8.3 ANALISIS DE LAS MUESTRAS DE SEDIMENTOS

Se enviaron al laboratorio de Geoconsult S.A. las muestras recogidas en campo de sedimentos en fondo, y al laboratorio de Agua y Suelo de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Agraria las muestras recogidas en campo de sedimentos en suspensión.

Con los ensayos y análisis de las muestras de fondo y en suspensión, se estimarán parámetros hidráulicos de interés en el tramo fluvial en estudio, pudiendo determinar con el soporte de fórmulas el gasto sólido total, de fondo y suspensión.

Los certificados de los análisis de laboratorio de las muestras de sedimentos se encuentran en el Anexo C

9. CONCLUSIONES

- Se ha efectuado un levantamiento batimétrico en una longitud del río Madre de Dios de aproximadamente 5 km. Los trabajos se efectuaron en época de estiaje del 11 al 15 de setiembre del 2011. El levantamiento batimétrico define un área de 172 hectáreas
- La profundidad promedio del río en la época en que se efectuó el levantamiento batimétrico (Estiaje) es de 11 m
- La profundidad máxima medida, en una zona donde desagua una alcantarilla pluvial, es de 15 m
- En el tramo en estudio, el ancho superficial del río en el periodo de mediciones (Estiaje), varía entre 200 m a 290 m
- La pendiente de la superficie de agua promedio en el periodo de mediciones varió de 2.1×10^{-5} a 6.2×10^{-5}
- Del análisis granulométrico del material de cauce se obtiene un $d_{50} = 0.2$ mm

**ANEXO 5: ESTUDIO DE TOPOGRAFIA “DEFENSAS
RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910”**



CORREDOR VIAL INTEROCEÁNICO SUR

TRAMO 3

PUENTE INAMBARI - IÑAPARI

DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA Km 480+070 – Km 480+910

TOPOGRAFIA

LIMA, NOVIEMBRE 2011

**DEFENSAS RIBEREÑAS ZONA LA PASTORA****INFORME N° 4****INFORME FINAL DE TOPOGRAFIA****1. INTRODUCCION**

El presente informe describe el procesamiento final de información topográfica que son requeridos para el Diseño de Defensas Ribereñas en la margen derecha del río Madre de Dios, en la zona La Pastora de la ciudad de Puerto Maldonado.

El levantamiento topográfico se desarrolló entre la primera y segunda semana de setiembre. El levantamiento de información comprende las áreas situadas en ambos márgenes, por la margen derecha el levantamiento abarca hasta el tramo urbano de la carretera interoceánica que se desarrolla paralelo a esta ribera, y por la margen izquierda abarca la llanura de inundación que existe en esta zona.

2. OBJETIVO

El objetivo del estudio es elaborar un plano topográfico final de ambos márgenes del río Madre de Dios en la zona La Pastora de la ciudad de Puerto Maldonado y unificarlo con el levantamiento batimétrico.

3. UBICACIÓN

La zona de estudio La Pastora se encuentra ubicada en:

Ciudad de Puerto Maldonado.

Distrito de Tambopata.

Provincia de Tambopata.

Departamento Madre de Dios.

La ruta de acceso a la zona de los trabajos se encuentra a 15 minutos, en movilidad, desde el centro de la ciudad de Puerto Maldonado

En la Foto 1 se muestra la ubicación de la zona de estudio en la ciudad de Puerto Maldonado



Foto 1. Zona de los levantamientos topográficos y batimétricos (Línea blanca).

4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE TRABAJO

El clima predominante en la zona es cálido y húmedo con la presencia de lluvias intensas durante el invierno, de enero a abril, y muy escasas lluvias durante el verano comprendido ente julio a octubre. En el lugar de trabajo la temperatura oscila entre los 27°C y 37°C en la mayor parte del año.

El río Madre de Dios en el tramo en estudio presenta dos zonas marcadamente diferentes:

- La margen izquierda del río tiene una amplia llanura de inundación, donde hay presencia de vegetación tupida, árboles y arbustos, aguajales, pequeños riachuelos contribuyentes; y una fauna propia de zonas inundables de selva baja.
- La margen derecha del río está formado por acantilados, los cuales están siendo afectados por severos problemas de socavación lateral. En la parte alta de estos acantilados se desarrollan zonas urbanas de la ciudad de Puerto Maldonado, y donde parte del tramo urbano de la carretera interoceánica se desarrolla paralelo a estos acantilados.

5. DIFICULTADES

En los trabajos de campo de topografía no se presentaron mayores inconvenientes, solo se presentaron dificultades normales que uno encuentra en trabajos de selva baja.



Las principales dificultades encontradas fueron:

- La presencia de vegetación tupida y zonas pantanosas en las llanuras de la margen izquierda.
- El peligro que representaba el levantamiento de las zonas cercanas a los acantilados inestables de la margen derecha.
- La presencia de lluvias esporádicas de alta intensidad.

6. PERSONAL Y EQUIPOS

6.1. Personal

El personal fue dividido en 03 cuadrillas de topografía compuestos de la siguiente forma:

➤ Cuadrilla 1

01 Topógrafo

03 Ayudantes de topografía

02 Peones para desbroce

01 Seguridad

➤ Cuadrilla 2

01 Topógrafo

03 Ayudantes de topografía

02 Peones para desbroce

01 Seguridad

➤ Cuadrilla 3

01 Topógrafo

03 Ayudantes de topografía

02 Peones para desbroce

01 Seguridad

6.2. Equipos

Los equipos utilizados en las mediciones topográficas fueron los siguientes:

01 ESTACIÓN TOTALE TOPCON GPT 3005LW, de características técnicas:



ESPECIFICACIONES	GPT 3005LW
Rango de medición	Sin reflector: Modo normal: hasta 250 m; Modo largo: hasta 1200 m Normal: Prisma 1P 3.000 m
Tiempo de medición	Modo normal 1mm: Aprox. 1.2 seg. 0.2mm: Aprox. 3 seg. Modo Tracking Aprox. 0.3 seg.
Precisión	3mm+2ppm
Método de medida de ángulo	Codificador rotativo absoluto
Desviación estándar (ángulo)	5"
Lectura mínima	1" 5"
Telescopio	
Imagen	Directa
Aumento	30X
Poder de resolución	2.8"
Campo de visual	1° 30'
Apertura óptica	45mm
Enfoque mínimo	1.3 m
Interfaz del usuario	
Pantalla	gráfica LCD / 160 x 64
Datos físicos	
Plomada	Láser
Alimentación	2 Baterías BT-52QA recargable
Dimensiones	336 x184 x174 mm
Peso	5,1 kg

01 ESTACIÓN TOTAL TOPCON GPT 3005W, de características técnicas:



ESPECIFICACIONES	GPT 3005W
Rango de medición	Sin reflector: hasta 1,5 - 250m Normal: Prisma 1P 3.000 m
Tiempo de medición	Modo normal 1mm: Aprox. 1.2 seg. 0.2mm: Aprox. 3 seg. Modo Tracking Aprox. 0.3 seg.
Precisión	1.5 a 25m, $\pm(10\text{mm})$ m.s.e. 25m o mas, $\pm(5\text{mm})$ m.s.e. Prisma $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm}\times D)$ m.s.e.
Método de medida de ángulo	Codificador rotativo absoluto
Desviación estándar (ángulo)	5"
Lectura mínima	1" 5"
Telescopio	
Imagen	Directa
Aumento	30X
Poder de resolución	2.8"
Campo de visual	1° 30'
Apertura óptica	45mm
Enfoque mínimo	1.3 m
Interfaz del usuario	
Pantalla	gráfica LCD / 160 x 64
Datos físicos	
Plomada	Láser
Alimentación	2 Baterías BT-52QA recargable
Dimensiones	336 x184 x174 mm
Peso	5,1 kg



01 ESTACIÓN TOTAL TOPCON GPT 3007W, de características técnicas:

ESPECIFICACIONES	GPT 3007W
Rango de medición	Sin reflector: hasta 1,5 - 250m Normal: Prisma 1P 3.000 m
Tiempo de medición	Modo normal 1mm: Aprox. 1.2 seg. 0.2mm: Aprox. 3 seg. Modo Tracking Aprox. 0.3 seg.
Precisión	1.5 a 25m, $\pm(10\text{mm})$ m.s.e. 25m o mas, $\pm(5\text{mm})$ m.s.e. Prisma $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm}\times D)$ m.s.e.
Método de medida de ángulo	Codificador rotativo absoluto
Desviación estándar (ángulo)	7"
Lectura mínima	5" 10"
Telescopio	
Imagen	Directa
Aumento	30X
Poder de resolución	2.8"
Campo de visual	1° 30'
Apertura óptica	45mm
Enfoque mínimo	1.3 m
Interfaz del usuario	
Pantalla	gráfica LCD / 160 x 64
Datos físicos	
Plomada	Láser
Alimentación	2 Baterías BT-52QA recargable
Dimensiones	336 x184 x174 mm



Foto 2. Fotografía de una Estación Total, en la zona de trabajo.

INSTRUMENTOS / OTROS:

- 09 Prismas marca Topcon con bastón telescópico.
- 09 porta prismas.
- 03 Trípodes.
- 03 winchas de 50m.
- 12 radios de comunicación marca Motorola modelo T5720
- 01 Barcaza (canoa motorizada) para desplazarse a lo largo del cauce del río.
- 01 combi para traslado y acompañamiento en la zona por seguridad

7. TRABAJO DE CAMPO**7.1 Medidas de Seguridad**

Las medidas de seguridad tomadas fueron las siguientes.

- Uso correcto de los equipos de protección personal (EPP), por parte del personal.
- Análisis de riesgos.
- Análisis del área de trabajo.
- Uso adecuado de chalecos salvavidas, cuando se realizaba el cruce del río para efectuar los trabajos de levantamiento topográfico.
- Uso de cuerdas y arnés de seguridad, para los trabajos en pendientes, por ejemplo en zonas de deslizamiento de Taludes.
- Uso de una canoa motorizada para el acceso aguas arriba o aguas abajo del río.
- Radios de largo alcance para comunicarse en caso de accidente y para realizar los trabajos.
- Se contó con una brigadista y botiquín de primeros auxilios.
- Acompañamiento policial.



7.2 Descripción de los trabajos de Campo

Los trabajos de campo se iniciaron el día 09-09-11 y concluyeron el día 18-09-11, comprendiendo las siguientes labores:

a. Se realizó un recorrido del área en estudio, y se definieron los límites del levantamiento topográfico.

De acuerdo a estos lineamientos, las dimensiones del área en estudio son:

- Área levantada topográficamente: 170 Ha aprox.
- Perímetro: 4.7 Km.

b. El levantamiento topográfico fue realizado por tres cuadrillas, dos cuadrillas trabajaron en la llanura de inundación de la margen izquierda, y una cuadrilla en la margen derecha

El sistema de referencia es: Universal Transversal de Mercator (U.T.M.), Elipsoide WGS 84, Zona 19.

Los hitos usados son L-26B y M-4 (Ver cuadro 01), los cuales corresponden a los hitos del Corredor Vial Interoceánico Sur Perú – Brasil.

Cuadro 01. Ubicación de los BMs para los levantamientos topográficos y batimétricos

PUNTOS	NORTE	ESTE	COTA	CODIGO
1	8608188.320	475927.943	206.684	L 26 B
2	8609148.921	477523.241	204.203	M 4

7.3 Procedimiento

Para los levantamientos se utilizaron códigos para la descripción de los puntos topográficos (ver anexo C).

El trabajo se desarrolló tomando como base la Poligonal de precisión de la vía (Foto 3), se procedió a instalar los equipos de estación total, y a tomar los puntos representativos en coordenadas (norte, este) y cotas (m.s.n.m.) del área solicitada.

Los puntos de la poligonal de apoyo se muestran en el Anexo B, los códigos y descripción de puntos topográficos se muestran en el Anexo C, y en el Anexo D se muestra los puntos del levantamiento topográfico.

En el Anexo E se muestran fotografías tomadas durante los trabajos de campo.



Foto 3 Poligonal de Trabajo para el levantamiento topográfico

7.4 Factores de Corrección

Los factores de corrección considerados fueron: factor de corrección por curvatura, factor de corrección para una temperatura de 25°C, y factor de corrección por presión Atmosférica 760 mm de Hg.

8. TRABAJO DE GABINETE

8.1 Descripción de los trabajos de gabinete

Para la elaboración de curvas de nivel se siguió el siguiente procedimiento:

-La primera labor del procesamiento de datos de campo, fue el cálculo y ajuste de las posiciones geodésicas de los puntos de control que se han establecido en campo, a fin de disponer de las coordenadas para los levantamientos topográficos.

-Diariamente eran transferidos los registros digitales de la medición obtenida de las estaciones totales a un computador tipo Notebook, marca Toshiba, modelo ThinkPad, con ayuda del software Topcon Link versión 7.2.3. Luego se realizaba el procesamiento de puntos, a fin de mantener un estricto control de calidad de información.



Figura 01. Transferencia de información de Estación Total a Laptop.

-La data topográfica que se registró en la memoria de las estaciones totales, se descargó y depuró mediante el uso del software AutoCAD Civil 3D 2011. Se realizó el cálculo de coordenadas de los puntos de control topográfico establecidos y el dibujo preliminar de los planos topográficos, estableciendo la planimetría y las líneas que conforman las breaklines o máscaras que permiten controlar el proceso de interpolación de las curvas de nivel. Luego del procesamiento preliminar en campo, la información era enviada vía Internet a la oficina principal en Lima para su procesamiento final.

-Es importante resaltar que una vez generado el modelo digital del terreno, conformado por la superficie formada por la net de triángulos (TIN) que elabora el software AutoCAD Civil 3D, uniendo entre ellos los puntos tomados en el levantamiento y, donde cada lado de los triángulos viene a ser una línea de interpolación de curvas de nivel, se ha procedido a la revisión minuciosa de toda la superficie, a fin de reconformar las líneas de acuerdo a la evaluación de campo. También se han generado las breaklines o líneas obligatorias para definir las líneas de cambio de pendiente del terreno o bordes de estructuras, para que el software las identifique y las tenga en cuenta al generar el TIN.

-Una vez complementada y revisada la información de campo, se procedió a generar el plano topográfico con curvas de nivel cada metro, adecuándolo a la escala adecuada para este proyecto (Ver los planos PL-GEN-TOP-PRZ-01, 02, y 03). En la figura 02 se muestra la topografía y la batimetría unida.

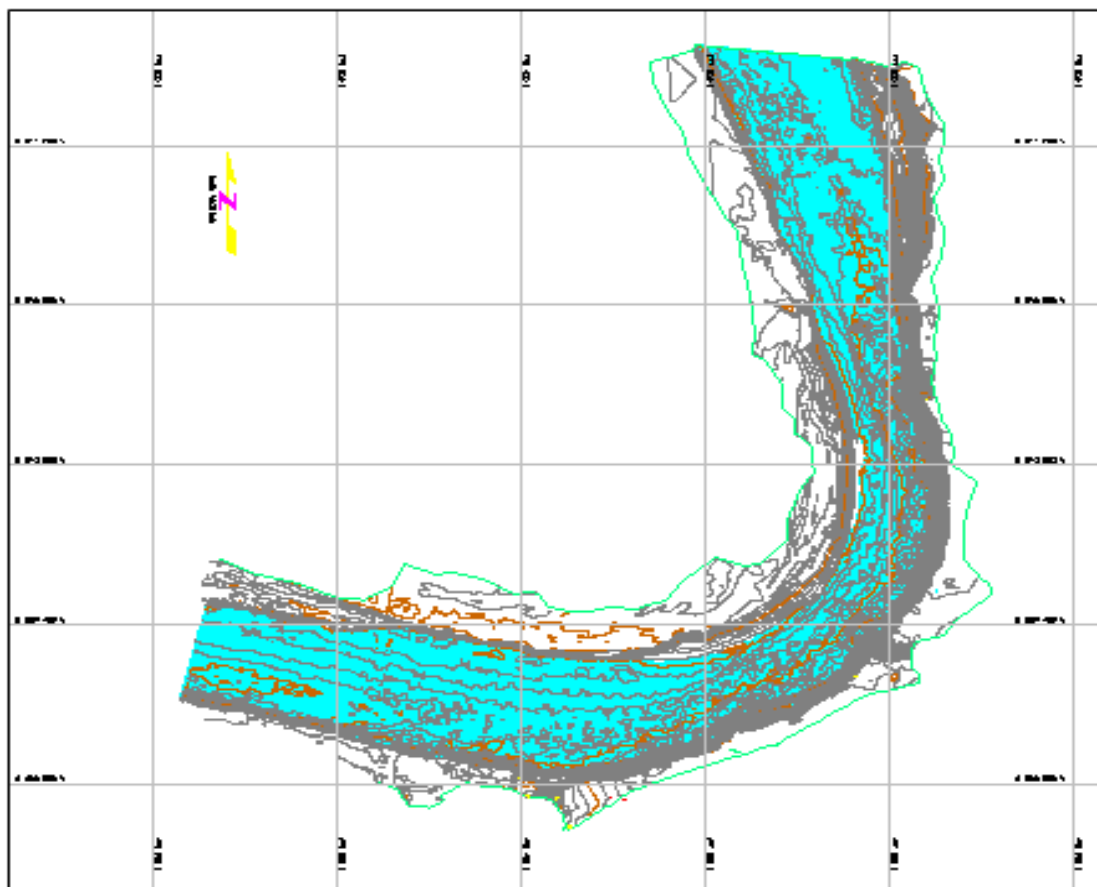


Figura 02. Topografía del área de estudio.

9. CONCLUSIONES

- Se logró realizar un levantamiento topográfico con curvas de nivel cada metro, de la zona de estudio, en un área de 170 Ha aproximadamente.
- La cota de la superficie de agua del río Madre de Dios, durante los días de trabajo (estiaje), varió entre 170.24 msnm y 172.02 msnm.
- En la llanura de inundación, de la margen izquierda del río Madre de Dios, las cotas del terreno varían entre 168.36 msnm y 205.44 msnm.
- La cota de la parte superior de los acantilados de margen derecha, en zonas cercanas a la carretera interoceánica es de 205.44 msnm aproximadamente.
- La altura promedio entre el nivel de la superficie de agua del río (Set. 2011- Estiaje) y la parte superior de los acantilados en zonas cercana a la interoceánica es de $H = 35$ m aproximadamente.


**ANEXO 6: CAMPAÑA DE AFORO EN PUERTO MALDONADO,
SECTOR LA PASTORA - INSTITUT DE RESERCHE POUR LE
DÉVELOPPEMENT.**

2014

PE - 102



Campaña de aforo en Puerto Maldonado


(Río Madre de Dios)
28/01/2014 - 30/01/2014




Río Madre de Dios, La Florida (Puerto Maldonado), el 29 de enero 2014

William Santoro **IRD**
 Gian Flores Ruzilan **ALA Maldonado**
 Robert Subrahraman Deigado **ALA Maldonado**
 Fija ALA de Puerto Maldonado





Publicación HyBAM

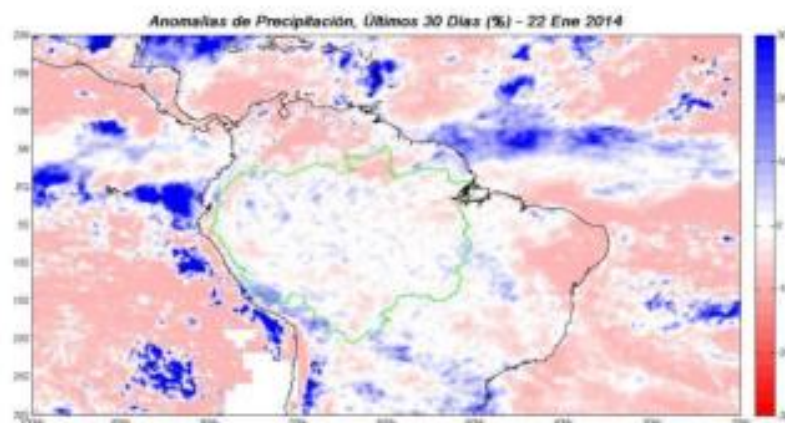
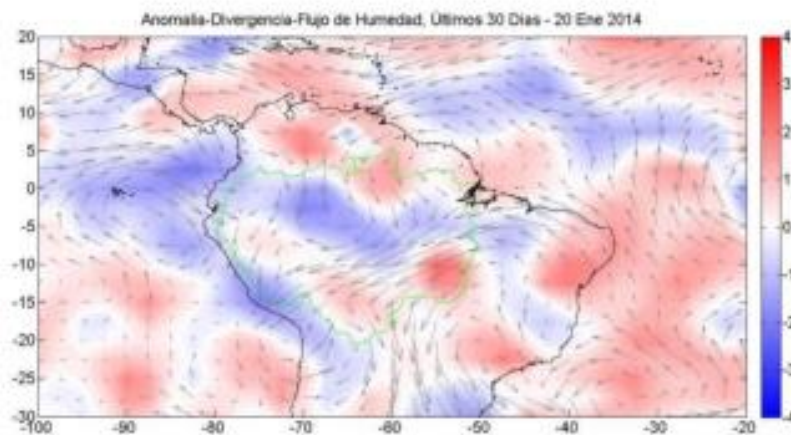
OBJECTIVOS DE LA CAMPAÑA DE AFOROS

Las fuertes anomalías de precipitaciones y la convergencia de flujo de humedad en las cuencas del río Madre De Dios y del río Beni han ocasionado desbordes en la cuenca alta del río Madeira.

Se tomó la decisión de efectuar un aforo en Puerto Maldonado para evaluar el caudal de punta del hidrógrama de crecida y completar la curva de gastos líquidos de la sección.

Se realizó también un aforo sólido.

Las figuras siguientes presentan esas anomalías (figura del proyecto Expres-Amas)



AFOROS LIQUIDOS: RESULTADOS

Estación	Fecha	$H_i \rightarrow H_f$ (cm)	$Q_{GGA} (\sigma/X)$ (m^3/s) (%)	$Q_{BT} (\sigma/X)$ (m^3/s) (%)	V_{GGA} media (m/s)	Área mojada (m^2)	Transects
Puerto Maldonado	29/01/2014	17914 \rightarrow 17909	10 766 (1%)	8 765 (2%)	2,1	4 803	6

Comentarios:

La gran cantidad de palizadas llevada por el río ha complicado la realización del aforo.

En ausencia de estación bien nivelada, se tomó como referencia para la nivelación una marca dibujada y nivelada por Odebrecht en referencia a un mojón principal georeferenciado y ubicado en la carretera.

Esta marca se encontró debajo del agua el día del aforo. Se tomó entonces otra referencia, más arriba (1448 mm encima).



Posición de la marca:

[-12.58434°; -69.21681°; 178.858 m hae]

CURVA DE GASTOSLIQUIDOS

El aforo de la presente misión obliga a trazar una nueva curva de calibración, aunque que esta curva, pasando por el nuevo aforo podría subestimar el caudal del río en la parte alta: en efecto, el cambio de la geometría de la sección debida a la inundación cambia la natura de la relación $Q = f(H)$ en la parte alta de la calibración.

Sin embargo, las orillas de la sección aforada no estaban muy inundadas y las velocidades cerca de esas orillas casi nulas. La subestimación debe ser así muy débil, pero se necesitará más aforos en aguas altas para poder confirmar la nueva curva de calibración.

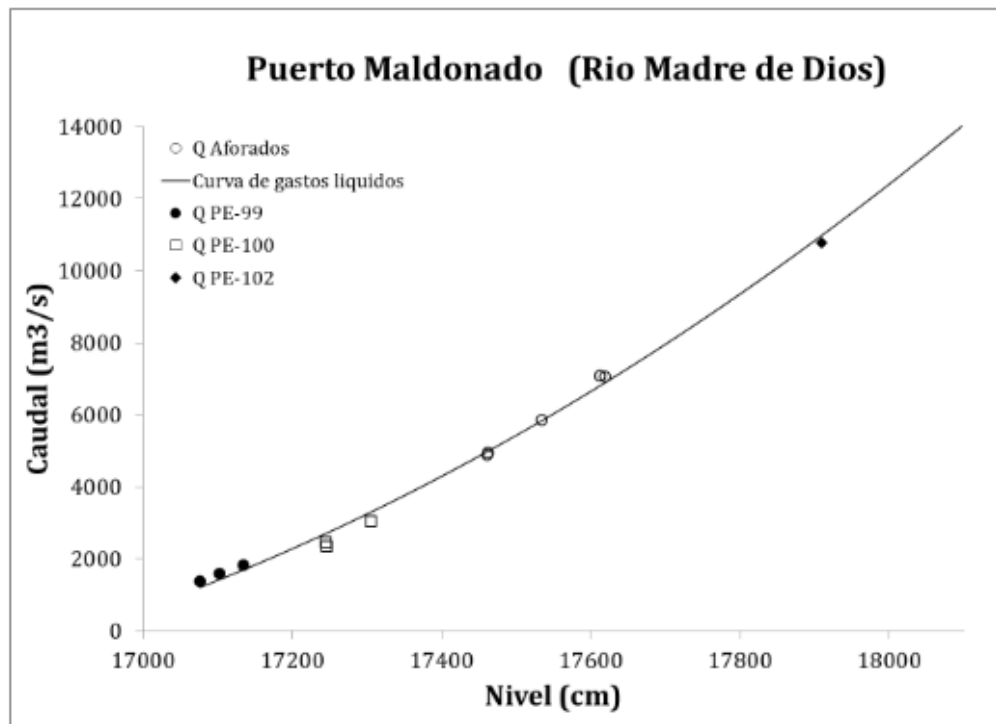


Figura 1 : Curva de descarga del río Madre de Dios en Puerto Maldonado (sector La Pastora)

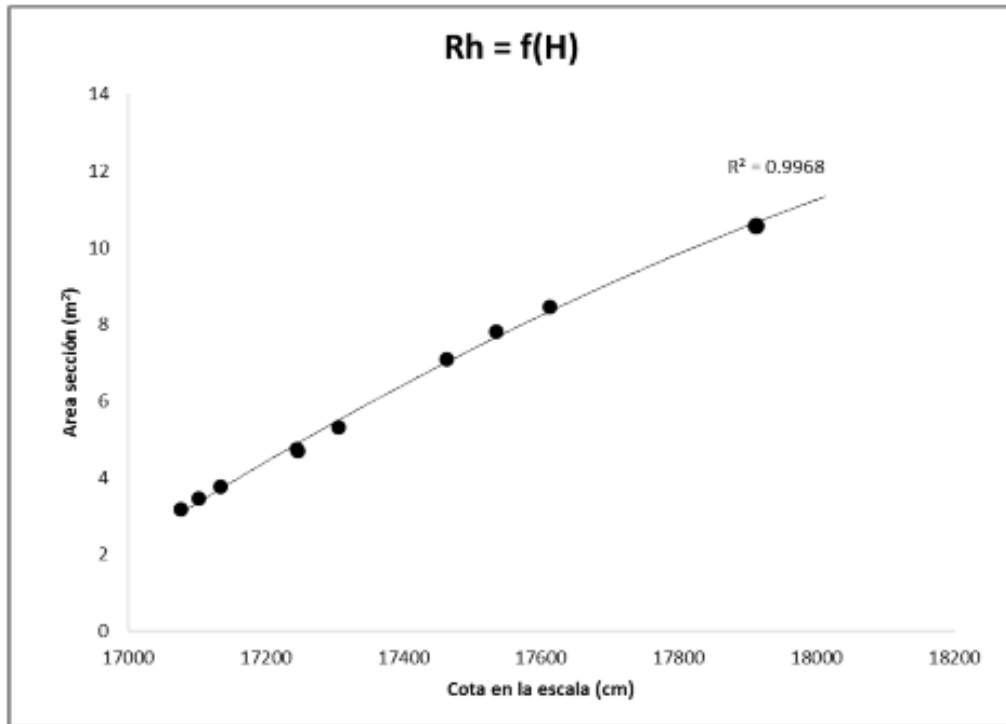


Figura 2 : La relación Radio hidráulico y nivel tiene una forma clásica

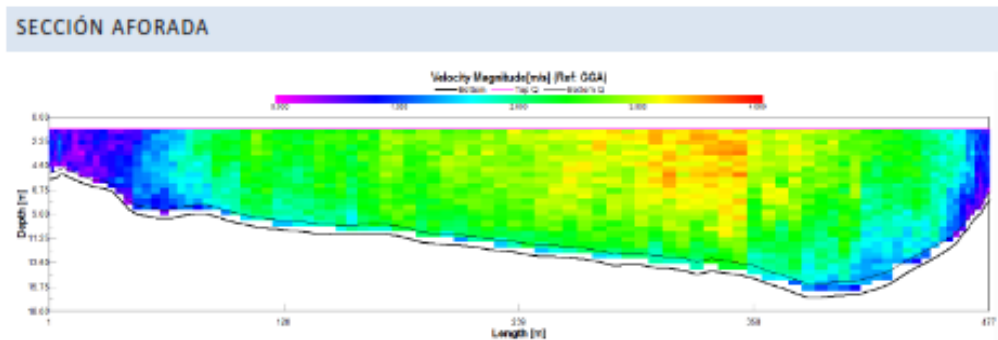
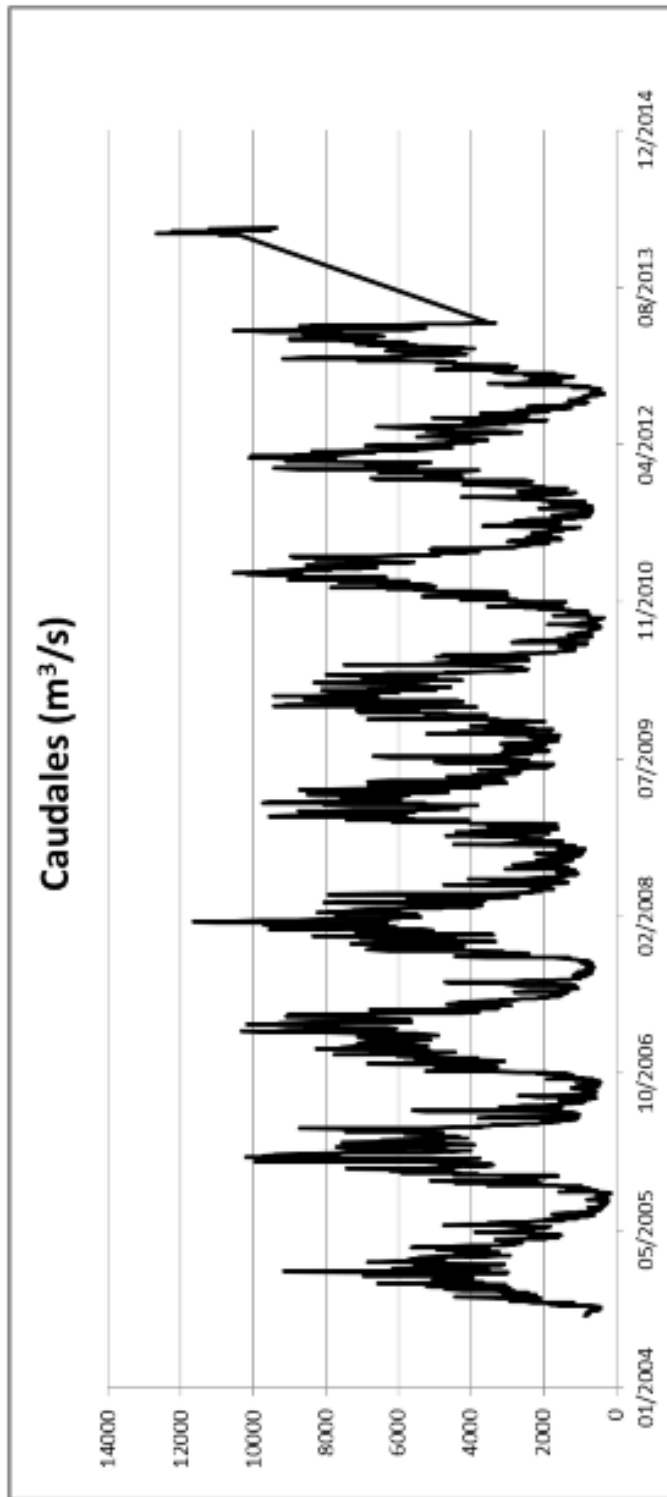


Figura 3 : Sección del aforo del 29/01/2014

CAUDALES GENERADOS

Los trabajos realizados (aforos y crítica de los datos) permiten todavía de trazar el hidrógrama de la estación de Puerto Maldonado (La Pastora).

La crecida de 2014 es netamente encima de las otras sobre el periodo considerado con un pico a 12 660 m³/s el 01/02/2014.



AFOROS SÓLIDOS

PROTOCOLO DE LOS AFOROS SÓLIDOS

El ancho del río es calculado con ADCP. Tres verticales son definidas dividiendo la sección aforada.

La profundidad de cada vertical se busca con el ADCP.

Sobre cada vertical, n puntos (P1, P2, ...Pn) son escogidos para sacar n muestras de agua con muestreadores tipo "granadas".

La profundidad de los puntos es escogida de la manera siguiente:

- P1 : punto de superficie
- P2, P3, ..., Pn-1 repartidos de sobre la vertical de la profundidad de la vertical, con el Pn-1 cerca del Pn para describir el gradiente de concentración del fondo
- Pn tomado entre 2 y 0,5 metros del fondo del río.

OBSERVACIONES GENERALES

Se tomó 5 muestras de calibración en la posición definida para el muestreo de sedimentos (-12.58383°, -09.21455°).

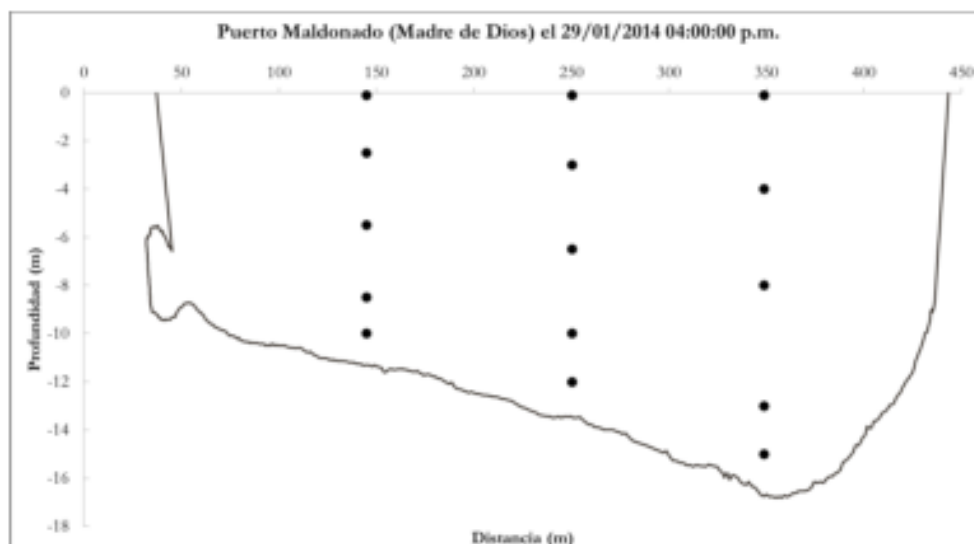


Figura 4 : Aforo sólido del 29/01/2014

COMUNICACIÓN CON LA PRENSA LOCAL

La crecida fue la oportunidad de comunicar a la prensa local (radio y televisiones) sobre los trabajos desarrollados en la cuenca por la ALA, el IRD, el SENAMHI y el IGP en el marco del convenio HYBAM.

CONCLUSIONES

El aforo realizado presente campaña gracias a la grande reactividad e implicación de los personales de la ALA y del IRD ha permitido de afinar y completar el trazado de la curva de descarga de la estación de Puerto Maldonado. Esta curva va a permitir de generar caudales del rio Madre de Dios por la primera vez en Perú, y de calcular flujos sedimentarios, geoquímicos y de contaminantes. Eso es el primer paso para desarrollar estudios científicos en la cuenca.

Tenemos que agradecer calorosamente los personales ANA y ALA para el apoyo logístico en Puerto Maldonado, así que la empresa EMAPAT, en especial la Ingeniera Carmen Quispe para su amable cooperación.

Lima, Perú, el 19 de febrero del 2014

William Santini
IRD, ORE-HYBAM

ANEXO 1: FOTOS; CREDITO Y TEXTOS: YOLANDA MOTOCCANCHI BUSTINZA, ALA MALDONADO



Localización Puerto Turístico Tambopata, a orillas del Rio Tambopata, el aumento del nivel a cubierto el parqueo de los vehículos, al medio se visualiza el puerto desde donde se tiene que bajar unos 3 m. abajo para abordar los botes, hoy cubierto por el agua. (ALAM, enero 2014)



Pueblo Viejo, Las familias están evacuando por la creciente del rio Tambopata, ya sea en camiones y botes (ALAM, 27 enero 2014)



Puerto La Pastora, a orillas del río Madre de Dios, la cancha de fútbol se ha cubierto por agua, (nótese el arco de la cancha) al medio se nota el embarcadero. (ALAM, 27 enero 2014)



Puerto La Pastora, regla de medición de ODBRECHT, esta es una lectura de la regla a las 12:30 pm del día 28 de enero 2014 (ALAM, 28 enero 2014)

ANEXO 7: CÓDIGO DEL PROGRAMA

CÓDIGO AL CARGAR EL FORMULARIO 2 (DISEÑO KNUTSON Y FEALKO)

```

Public Class Form2
    Private Sub Form2_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
        Dim fila As Double
        fila = 9
        Me.DataGridView1.RowCount = fila
        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(0).Value = "Key Footer"
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(0).Value = "Key Log"
        Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(0).Value = "Cross Spanners"
        Me.DataGridView1.Rows(3).Cells(0).Value = "Longitudinal Log (row1)"
        Me.DataGridView1.Rows(4).Cells(0).Value = "Longitudinal Log (row2)"

        Dim combo As DataGridViewComboBoxColumn = New DataGridViewComboBoxColumn
        combo.HeaderText = "Embedded"
        combo.Items.Add("YES")
        combo.Items.Add("NO")
        DataGridView1.Columns.Add(combo)

        'creando data table

        Dim dt As DataTable = New DataTable("tabla")
        dt.Columns.Add("Codigo")
        dt.Columns.Add("Descripcion")

        Dim dr As DataRow

        dr = dt.NewRow
        dr("Codigo") = 0
        dr("Descripcion") = "<None>"
        dt.Rows.Add(dr)

        dr = dt.NewRow
        dr("Codigo") = 25901.7
        dr("Descripcion") = "Bedrock"
        dt.Rows.Add(dr)

        dr = dt.NewRow()
        dr("codigo") = 19779.48
        dr("Descripcion") = "Coarse gravel"
        dt.Rows.Add(dr)

        ComboBox2.DataSource = dt1
        ComboBox2.ValueMember = "codigo"
        ComboBox2.DisplayMember = "Descripcion"
        ComboBox2.SelectedValue = 42
        PEsoilballast = ComboBox1.SelectedValue
        anglefri = ComboBox2.SelectedValue

        ED11 = ""
        ED22 = ""
        ED33 = ""
        ED44 = ""
        ED55 = ""
        ED66 = ""
        ED77 = ""
        ED88 = ""
        ED99 = ""
        parametro = 0
    End Sub

```

CÓDIGO PARA LA GENERACIÓN DEL PDF

```

Private Sub GenerarPdf()
Dim oDoc As New iTextSharp.text.Document(PageSize.A4, 0, 0, 0, 0)
Dim pdfw As iTextSharp.text.pdf.PdfWriter
Dim cb As PdfContentByte
Dim fuente As iTextSharp.text.pdf.BaseFont
Dim NombreArchivo As String
'Este es el nombre del titulo que tendra el cuadro a guardar
SaveFileDialog2.Title = "Specify Destination Filename"
'esto es para el tipo pdf
SaveFileDialog2.Filter = "Pdf file (*.pdf)|*.pdf"
'nombre del archivo en blanco
SaveFileDialog2.FileName = ""
SaveFileDialog2.FilterIndex = 1
SaveFileDialog2.OverwritePrompt = False
If SaveFileDialog2.ShowDialog() <> DialogResult.Cancel Then
    NombreArchivo = SaveFileDialog2.FileName
    MsgBox(NombreArchivo)
    Try
        pdfw = PdfWriter.GetInstance(oDoc, New FileStream(NombreArchivo,
            FileMode.Create, FileAccess.Write, FileShare.None))
'Apertura del documento.
oDoc.Open()
cb = pdfw.DirectContent
'Agregamos una pagina.
oDoc.NewPage()
'Iniciamos el flujo de bytes.
cb.BeginText()
'Instanciamos el objeto para la tipo de letra.
fuente = FontFactory.GetFont(FontFactory.TIMES_ROMAN,
iTextSharp.text.Font.DEFAULTSIZE, iTextSharp.text.Font.BOLD).BaseFont
'Setemos el tipo de letra y el tamaño.
cb.SetFontAndSize(fuente, 16)
'Setemos el color del texto a escribir.
cb.SetColorFill(iTextSharp.text.BaseColor.BLACK)
'Aqui es donde se escribe el texto.
'Aclaracion: Por alguna razon la coordenada vertical siempre es tomada desde el
borde inferior (de ahi que se calcule como "PageSize.A4.Height - 50")
cb.SetFontAndSize(fuente, 18)
cb.ShowTextAligned(PdfContentByte.ALIGN_CENTER, "UNIVERSIDAD NACIONAL DE
INGENIERIA", 297.5, PageSize.A4.Height - 25, 0)
cb.ShowTextAligned(PdfContentByte.ALIGN_CENTER, "LABORATORIO NACIONAL DE
HIDRAULICA", 297.5, PageSize.A4.Height - 45, 0)
cb.SetFontAndSize(fuente, 8)
cb.ShowTextAligned(PdfContentByte.ALIGN_CENTER, "Av. Túpac Amaru Nº 210 Rímac,
Puerta Nº 4-B -UNI - Tel. 4811991 - 4811920 LIMA PERÙ", 297.5, PageSize.A4.Height
- 55, 0)
cb.ShowTextAligned(PdfContentByte.ALIGN_CENTER,
"
_____", 297.5, PageSize.A4.Height - 56, 0)
cb.ShowTextAligned(PdfContentByte.ALIGN_CENTER, "E-mail: lnh_uni@uni.edu.pe,
lnh_uni@hotmail.com, lnhuni2011@gmail.com - www.lnh-uni.org", 297.5,
PageSize.A4.Height - 66, 0)

'ExportarDatosPDF(oDoc)

Dim dt1 As DataTable = New DataTable("Tabla")

dt1.Columns.Add("Layers")
dt1.Columns.Add("Nº de Logs")
dt1.Columns.Add("Log length")
dt1.Columns.Add("Log Diameter")

```

```

dt1.Columns.Add("Embedded")

Dim dr1 As DataRow
dr1 = dt1.NewRow()
dr1("Layers") = "Key Footer"
dr1("N° de Logs") = NL1
dr1("Log length") = LL1
dr1("Log Diameter") = DL1
dr1("Embedded") = ED11
dt1.Rows.Add(dr1)

dr1 = dt1.NewRow()
dr1("Layers") = "Key Log"
dr1("N° de Logs") = NL2
dr1("Log length") = LL2
dr1("Log Diameter") = DL2
dr1("Embedded") = ED22
dt1.Rows.Add(dr1)

insertartabla(cb, dt1, New Single() {2.0F, 1.5F, 1.5F, 1.5F, 1.5F}, True)

cb.EndText()

'Agregamos una pagina.
oDoc.NewPage()
'Iniciamos el flujo de bytes.
cb.BeginText()
'Instanciamos el objeto para la tipo de letra.
fuente = FontFactory.GetFont(FontFactory.TIMES_ROMAN,
iTextSharp.text.Font.DEFAULTSIZE, iTextSharp.text.Font.BOLD).BaseFont
'Setemos el tipo de letra y el tamaño.
cb.SetFontAndSize(fuente, 16)
'Setemos el color del texto a escribir.
cb.SetColorFill(iTextSharp.text.BaseColor.BLACK)

'Aqui es donde se escribe el texto.
'Aclaracion: Por alguna razon la coordenada vertical siempre es tomada desde el
borde inferior (de ahi que se calcule como "PageSize.A4.Height - 50")
cb.ShowTextAligned(PdfContentByte.ALIGN_LEFT, "This formula
assumes that the full height of the structure is exposed to flow because the
buried portion has been scoured out. ", 50, PageSize.A4.Height - 800, 0)
cb.ShowTextAligned(PdfContentByte.ALIGN_LEFT, "However, the full
width is reduced by 0.75 to allow for the portion that remains buried in the
bank", 50, PageSize.A4.Height - 810, 0)

Dim dt2 As DataTable = New DataTable("Tabla")

dt2.Columns.Add("Layers")
dt2.Columns.Add("N° de Logs")
dt2.Columns.Add("Log length")
dt2.Columns.Add("Log Diameter")
dt2.Columns.Add("Log Radius")

Dim dr2 As DataRow

dr2 = dt2.NewRow()
dr2("Layers") = "Key Footer"
dr2("N° de Logs") = NL1
dr2("Log length") = LL1
dr2("Log Diameter") = DL1

```



```

dt2.Rows.Add(dr2)

dr2 = dt2.NewRow()
dr2("Layers") = "Key Log"
dr2("N° de Logs") = NL2
dr2("Log length") = LL2
dr2("Log Diameter") = DL2
dr2("Log Radius") = RL2
dr2("Log Volumes") = VL2
dr2("Rootwad Radius") = RWR2
dr2("Rootwad thickness") = RWE2
dr2("Root Volumen") = RWV2
dr2("Acumulative Height") = AH2

dt2.Rows.Add(dr2)

dr2 = dt2.NewRow()
dr2("Layers") = "Cross Spanners"
dr2("N° de Logs") = NL3
dr2("Log length") = LL3
dr2("Log Diameter") = DL3
dr2("Log Radius") = RL3
dr2("Log Volumes") = VL3
dr2("Rootwad Radius") = RWR3
dr2("Rootwad thickness") = RWE3
dr2("Root Volumen") = RWV3
dr2("Acumulative Height") = AH3

Fin del flujo de bytes.
cb.EndText()

pdfw.Flush()

'Cerramos el documento.
oDoc.Close()

Finally
cb = Nothing
pdfw = Nothing
oDoc = Nothing
End Try
End If

End Sub

```

CÓDIGO PARA AUMENTAR EL CUADRO DE RESULTADOS DEL REPORTE

```

Private Sub insertartabla(ByRef pCb As iTextSharp.text.pdf.PdfContentByte, ByRef
pTabla As DataTable, ByRef pdimensioncolumnas() As Single, ByVal
pincluirencabezado As Boolean)
    Dim table As New iTextSharp.text.pdf.PdfPTable(pTabla.Columns.Count)
    table.TotalWidth = pCb.PdfDocument.PageSize.Width - 100
    table.SetWidths(pdimensioncolumnas)
    table.SpacingBefore = 1.0F
    table.SpacingAfter = 1.0F
    If pincluirencabezado Then
        Dim fuenteencabezado As iTextSharp.text.Font =
FontFactory.GetFont(FontFactory.TIMES_ROMAN, 10, iTextSharp.text.Font.NORMAL)
        For Each ocolumna As Data.DataColumn In pTabla.Columns
            Dim celda As New iTextSharp.text.pdf.PdfPCell(New
Phrase(ocolumna.Caption, fuenteencabezado))
            celda.Colspan = 1
            celda.Padding = 5

```

```

        celda.BackgroundColor = iTextSharp.text.pdf.ExtendedColor.WHITE
        celda.HorizontalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_CENTER
        celda.VerticalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_TOP
        table.AddCell(celda)
    Next ocolumna
End If
Dim fuentedatos As iTextSharp.text.Font =
FontFactory.GetFont(FontFactory.TIMES_ROMAN, 10, iTextSharp.text.Font.NORMAL)
For Each ofila As Data.DataRow In pTabla.Rows
    For Each ocolumna As Data.DataColumn In pTabla.Columns
        Dim celda As New iTextSharp.text.pdf.PdfPCell(New
Phrase(ofila(ocolumna), fuentedatos))
        celda.Colspan = 1
        celda.Padding = 3
        celda.BackgroundColor = iTextSharp.text.pdf.ExtendedColor.WHITE
        celda.HorizontalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_CENTER
        celda.VerticalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_TOP
        table.AddCell(celda)
    Next ocolumna
Next ofila
table.WriteSelectedRows(0, -1, 50, PageSize.A4.Height - 160, pCb)
pCb.PdfWriter.Flush()

End Sub
Private Sub insertartabla1(ByRef pCb As iTextSharp.text.pdf.PdfContentByte,
ByRef pTabla As DataTable, ByRef pdimensioncolumnas() As Single, ByVal
pincluirencabezado As Boolean)
    Dim table As New iTextSharp.text.pdf.PdfPTable(pTabla.Columns.Count)
    table.TotalWidth = pCb.PdfDocument.PageSize.Width - 100
    table.SetWidths(pdimensioncolumnas)
    table.SpacingBefore = 1.0F
    table.SpacingAfter = 1.0F
    If pincluirencabezado Then
        Dim fuenteencabezado As iTextSharp.text.Font =
FontFactory.GetFont(FontFactory.TIMES_ROMAN, 10, iTextSharp.text.Font.NORMAL)
        For Each ocolumna As Data.DataColumn In pTabla.Columns
            Dim celda As New iTextSharp.text.pdf.PdfPCell(New
Phrase(ocolumna.Caption, fuenteencabezado))
            celda.Colspan = 1
            celda.BackgroundColor = iTextSharp.text.pdf.ExtendedColor.WHITE
            celda.HorizontalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_CENTER
            celda.VerticalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_TOP
            table.AddCell(celda)
        Next ocolumna
    End If
    Dim fuentedatos As iTextSharp.text.Font =
FontFactory.GetFont(FontFactory.TIMES_ROMAN, 10, iTextSharp.text.Font.NORMAL)
    For Each ofila As Data.DataRow In pTabla.Rows
        For Each ocolumna As Data.DataColumn In pTabla.Columns
            Dim celda As New iTextSharp.text.pdf.PdfPCell(New
Phrase(ofila(ocolumna), fuentedatos))
            celda.Colspan = 1
            celda.Padding = 3
            celda.BackgroundColor = iTextSharp.text.pdf.ExtendedColor.WHITE
            celda.HorizontalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_CENTER
            celda.VerticalAlignment = iTextSharp.text.Element.ALIGN_TOP
            table.AddCell(celda)
        Next ocolumna
    Next ofila
    table.WriteSelectedRows(0, -1, 50, PageSize.A4.Height - 220, pCb)
    pCb.PdfWriter.Flush()
End Sub

```

CÓDIGO PARA ABRIR UN ARCHIVO

```

Private Sub Abrir_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Abrir.Click
    OpenFileDialog1.InitialDirectory = ""
    OpenFileDialog1.Title = "Select a File"
    OpenFileDialog1.FileName = ""
    OpenFileDialog1.Filter = "Design Knutson & Fealko (*.txt)|*.txt"

    If OpenFileDialog1.ShowDialog() <> DialogResult.Cancel Then
        txtsource.Text = "File: " + OpenFileDialog1.FileName.ToString
        strsaop = OpenFileDialog1.FileName
        Dim objFile2 As New System.IO.StreamReader(OpenFileDialog1.FileName)
        parametro = 1
        g = objFile2.ReadLine()
        PEwater = objFile2.ReadLine()
        PEwood = objFile2.ReadLine()

        NL1 = objFile2.ReadLine()
        NL2 = objFile2.ReadLine()
        NL3 = objFile2.ReadLine()
        NL4 = objFile2.ReadLine()
        NL5 = objFile2.ReadLine()
        NL6 = objFile2.ReadLine()
        NL7 = objFile2.ReadLine()

        objFile2.Close()
        objFile2.Dispose()

        TextBox1.Text = g
        TextBox2.Text = PEwater
        TextBox3.Text = PEwood
        TextBox4.Text = Lem
        TextBox5.Text = Dw
        TextBox6.Text = Desum
        TextBox7.Text = Denosum
        TextBox8.Text = CL

        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value = NL1
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value = NL2
        Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(1).Value = NL3
        Me.DataGridView1.Rows(3).Cells(1).Value = NL4
        Me.

    End If
End Sub

```

CÓDIGO PARA GUARDAR COMO

```

Private Sub GuardarComo_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
GuardarComo.Click

    g = Val(TextBox1.Text)
    PEwater = Val(TextBox2.Text)
    PEwood = Val(TextBox3.Text)
    Lem = Val(TextBox4.Text)
    Dw = Val(TextBox5.Text)
    Dpile = Val(TextBox21.Text)
    hload = Val(TextBox22.Text)
    PEsoilballast = ComboBox1.SelectedValue
    anglefri = ComboBox2.SelectedValue

    NL1 = (DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value)

```

```

NL2 = (DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value)
NL3 = (DataGridView1.Rows(2).Cells(1).Value)
NL8 = (DataGridView1.Rows(7).Cells(1).Value)
NL9 = (DataGridView1.Rows(8).Cells(1).Value)

SaveFileDialog1.Title = "Specify Destination Filename"
SaveFileDialog1.Filter = "Design of LWM (*.txt)|*.txt"
SaveFileDialog1.FileName = ""
SaveFileDialog1.FilterIndex = 1
SaveFileDialog1.OverwritePrompt = False
If SaveFileDialog1.ShowDialog() <> DialogResult.Cancel Then
    txtsource.Text = "File: " + SaveFileDialog1.FileName
    Dim objFile As New System.IO.StreamWriter(SaveFileDialog1.FileName)
    objFile.WriteLine(g.ToString)
    objFile.WriteLine(PEwater.ToString)
    objFile.WriteLine(PEwood.ToString)
    objFile.WriteLine(Lem.ToString)
    objFile.WriteLine(ED77.ToString)
    objFile.WriteLine(ED88.ToString)
    objFile.WriteLine(ED99.ToString)
    objFile.Close()
End If

```

End Sub

CÓDIGO PARA CORRER EL PROGRAMA (RUN)

```

Private Sub Run_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Run.Click
    Try
        If Me.ValidateChildren And TextBox1.Text <> String.Empty And
            TextBox2.Text <> String.Empty And TextBox3.Text <> String.Empty And TextBox5.Text
            <> String.Empty And TextBox7.Text <>
                String.Empty And TextBox8.Text <> String.Empty And TextBox9.Text
            <> String.Empty And TextBox10.Text <>
                String.Empty And TextBox11.Text <> String.Empty And
            TextBox12.Text <> String.Empty And TextBox13.Text <>
                String.Empty And TextBox14.Text <> String.Empty And
            TextBox15.Text <> String.Empty And TextBox16.Text <> String.Empty _
                And TextBox17.Text <> String.Empty And TextBox18.Text <>
            String.Empty And TextBox19.Text <> String.Empty _
                And TextBox20.Text <> String.Empty And TextBox21.Text <>
            String.Empty And TextBox22.Text <> String.Empty Then
            MsgBox.Show("Datos Ingresados Correctamente", "Datos
            cargados", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
        Else
            MsgBox.Show("Ingrese Correctamente Algunos Datos Remarcados",
            "Datos cargados", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error)
        End If
    Catch ex As Exception
        MsgBox(ex.Message)
    End Try
    'este es el valor que va hacer el peso especifico

    PSoilballast = ComboBox1.SelectedValue 'Peso especifico del Soil
ballast
    'MsgBox("Peso Especifico soil ballas=" & PSoilballast)

    anglefri = ComboBox2.SelectedValue 'angulo de friccion, phi ,
del sedimento del lecho

    'MsgBox("angulo fi=" & anglefri)
    'determinando los radios de los log!!

```

```

        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(3).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(3).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(4).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(4).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(5).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(5).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(6).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(6).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(7).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(7).Cells(3).Value) / 2
        Me.DataGridView1.Rows(8).Cells(4).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(8).Cells(3).Value) / 2

        'determinando el volumen de los logs!!
        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(5).Value =
Math.Round((Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(4).Value) ^ 2) * Math.PI *
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(2).Value) *
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value), 3)
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(5).Value =
Math.Round((Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(4).Value) ^ 2) * Math.PI *
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(2).Value) *
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value), 3)
        Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(5).Value =
Math.Round((Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(4).Value) ^ 2) * Math.PI *
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(2).Value) *
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(1).Value), 3)

        'determinando el radio del fajo de raiz
        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(6).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value) * 1.25
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(6).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(3).Value) * 1.25

        'determinando el espesor del fajo de raiz

        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(7).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value) * 2
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(7).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(3).Value) * 2
        Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(7).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(3).Value) * 2

        'determinando el volumen del fajo de raices

        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(8).Value =
Cdbl(Math.Round(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value * Math.PI *
(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(6).Value ^ 2) *
Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(7).Value / 3, 3))
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(8).Value =
Cdbl(Math.Round(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value * Math.PI *
(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(6).Value ^ 2) *
Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(7).Value / 3, 3))

        'acumulacion de alturas

```

```

        Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(9).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value)
        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(9).Value =
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(3).Value) +
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value)

        'son las columnas 10 para el numero de log embedded es el numero de log
        incrustados

        'numero de log embedded

        If Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(11).Value = "YES" Then
            Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(10).Value =
Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value
        Else Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(11).Value = "NO"
            Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(10).Value = 0
        End If

        Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(11).Value = "NO"

        If Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(11).Value = "NO" Then
            Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(10).Value = 0
        End If

        End If

        'Calculando los logs embedded

        Totalemddeded = Val(DataGridView1.Rows(0).Cells(10).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(2).Cells(10).Value) -
        + Val(DataGridView1.Rows(5).Cells(10).Value)
        'MsgBox("numero de emebidos=" & Totalemddeded)

        g = Val(TextBox1.Text) 'gravedad
        PEwater = Val(TextBox2.Text) 'Peso especifico del agua
        PEwood = Val(TextBox3.Text) 'Peso especifico de la madera
        Lem = Val(TextBox4.Text) 'Longitud embedded de los logs
        Desum = Val(TextBox6.Text) 'Diametro efectivo sumergido del boulder
        Denosum = Val(TextBox7.Text) 'Diametro efectivo no sumergido del
boulder
        CL = Val(TextBox8.Text) 'Coeficiente Lift
        CD = Val(TextBox9.Text) 'Coeficiente Drag

        'anchura del espigon

        ancho = Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value) * 2 *
Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(6).Value)

        'MsgBox("ancho=" & ancho)

        'altura del espigon
        altura = Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(8).Cells(9).Value)

        'MsgBox("altura=" & altura)

        'longitud del espigon
        longitud = Cdbl(Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(2).Value) ' es por la
longitud del log keys

        'MsgBox("longitud=" & longitud)

```

```

'XS area
Xsarea = 0.75 * ancho * altura

'MsgBox("xsarea=" & Xsarea)

'volumen de la estructura
volstruc = ancho * altura * longitud

'MsgBox("volstruc=" & volstruc)

'volumen de troncos
voltronco = Val(DataGridView1.Rows(0).Cells(5).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(1).Cells(5).Value) _
+ Val(DataGridView1.Rows(2).Cells(5).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(3).Cells(5).Value) _
+ Val(DataGridView1.Rows(4).Cells(5).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(5).Cells(5).Value) _
+ Val(DataGridView1.Rows(6).Cells(5).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(7).Cells(5).Value) _
+ Val(DataGridView1.Rows(8).Cells(5).Value)

'MsgBox("voltronco=" & voltronco)

'volumen de fajo de raices
volfajos = Val(DataGridView1.Rows(0).Cells(8).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(1).Cells(8).Value) _
+ Val(DataGridView1.Rows(2).Cells(8).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(3).Cells(8).Value) _
+ Val(DataGridView1.Rows(4).Cells(8).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(5).Cells(8).Value) _
+ Val(DataGridView1.Rows(6).Cells(8).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(7).Cells(8).Value) +
Val(DataGridView1.Rows(8).Cells(8).Value)

'es el peso especifico saturado con coma ( pesaturado - PEwater)
Pesaturado = PSoilballastsat - PEwater

'MsgBox("Pesaturado con coma=" & Pesaturado)

'CALCULO DE FSOIL VERTICAL

If DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value <> 0 Then
    dembeed = DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value
ElseIf DataGridView1.Rows(0).Cells(3).Value = 0 And
DataGridView1.Rows(2).Cells(3).Value <> 0 Then
    dembeed = DataGridView1.Rows(2).Cells(3).Value
ElseIf DataGridView1.Rows(2).Cells(3).Value = 0 And
DataGridView1.Rows(5).Cells(3).Value <> 0 Then
    dembeed = DataGridView1.Rows(5).Cells(3).Value
ElseIf DataGridView1.Rows(5).Cells(3).Value = 0 Then
    dembeed = 0
End If

'MsgBox("dembeed=" & dembeed)

Fsoilvertical = Totalemdeded * (((D - Dw) * Lem * dembeed * Pesaturado)
+ (Dw * Lem * dembeed * PSoilballast))

'MsgBox("FsoilVertical=" & Fsoilvertical)

```

```

'DETERMINACION DE PILE SKIN FRICTION

'numero de piles

Npiles = Val(TextBox19.Text)

'Longitud de empotramiento

Lpiles = Val(TextBox20.Text)

'diametro del pile

Dpile = Val(TextBox21.Text)

'hallamos Ka
Dim alfa2, alfa3 As Double
alfa2 = 45 - (anglefri / 2)
alfa3 = (Math.PI * alfa2) / 180
Ka = Math.Tan(alfa3) ^ 2

'MsgBox("Ka=" & Ka)

'hallamos Ko
Dim alfa4 As Double
alfa4 = (Math.PI * anglefri) / 180
Ko = 1 - Math.Sin(alfa4)

'MsgBox("Ko=" & Ko)

'hallamos Ks

Ks = (KP + Ko + Ka) / 3

'MsgBox("Ks=" & Ks)

'hallamos titaraya

titaraya = Lpiles * (PEsoilballastsat - PEwater)

'MsgBox("Titaraya=" & titaraya)

'Determinamos los Fpiles vertical
Dim alfa5 As Double

alfa5 = (Math.PI * 2 / 3 * anglefri) / 180
Fpilesv = Npiles * Math.PI * Dpile * Lpiles * ((Ks * Math.Tan(alfa5) *
titaraya) + ((Dpile / 4) * (PEwood - PEwater)))

'MsgBox("alfa5=" & Math.Tan(alfa5))

'MsgBox("Fpilesv=" & Fpilesv)

'DETERMINANDO EL FACTOR DE SEGURIDAD

Fdriving = Fbuoyant + Flift

'MsgBox("Fdriving=" & Fdriving)

Fresistentes = Fboulder + Fsoilvertical + Fpilesv

'MsgBox("Fresistentes=" & Fresistentes)

```



```

FSv = Fresistentes / Fdriving

'MsgBox("FSV=" & FSv)

'FUERZAS HORIZONTALES

'Fuerzas Drag
Ba = 1 / ((1 - Rbloqueo) ^ 2)
Cda = Ba * CD

Fdrag = (Cda * areaaumen * PEwater * (velo ^ 2)) / (2 * 9.81)

'MsgBox("Fdrag=" & Fdrag)

'Fuerzas DIFERENCIAL HIDROSTATICAS

Fdhydro = 0.5 * PEwater * (areastrucup * profagarriba - profagabajo *
areastrucdown)
'MsgBox("Fdiferencial hidraulica=" & Fdhydro)

'Coeficiente de friccion entre la estructura y el lecho
Dim alfa6 As Double
alfa6 = (Math.PI * anglefri) / 180
cfric = Math.Tan(alfa6)

'FUERZA NORMAL

Fnormal = Fbuoyant + Flift - Fboulder - Fsoilvertical
'MsgBox("Fnormal=" & Fnormal)
If (Fnormal > 0) Then
    Fnormal = 0
End If

'MsgBox("fuerzanormal condicionada=" & Fnormal)
'Fuerza de friccion
Ffricc = cfric * (Fnormal)

'MsgBox("Ffricc" & Ffricc)

'FUERZA HORIZONTAL DEBIDO AL LOG EMBEDDED
titavi = ((D - Dw) * (PEsoilballastsat - PEwater)) + (Dw * PEsoilballast)

'MsgBox("titavi=" & titavi)

FsoilH = -0.5 * KP * titavi * Totalemdeded * Lem * dembeed

'MsgBox("Fsoilh=" & FsoilH)

'FUERZA HORIZONTAL DEBIDO A LOS PILOTES
hload = Val(TextBox22.Text)
Ye = PEsoilballast - PEwater
FpilesH = (-Npiles * (Lpiles ^ 3) * 0.5 * (Ye) * Dpile * KP) / (Lpiles +
hload)

'MsgBox("FilesH=" & FpilesH)

'FACTOR DE SEGURIDAD HORIZONTAL

'SUMA DE FUERZAS DRIVING

SFdrivingh = Fdrag + Fdhydro

```

```

'MsgBox("SFDRIVING H=" & SFdrivingh)

SFresistentesh = Ffricc + FsoilH + FpilesH
'MsgBox("Sfresistente H=" & SFresistentesh)

FSH = Math.Abs(SFresistentesh / SFdrivingh)
'MsgBox("FSH=" & FSH)

NL1 = (DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value)
NL2 = (DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value)
NL3 = (DataGridView1.Rows(2).Cells(1).Value)
NL4 = (DataGridView1.Rows(3).Cells(1).Value)
NL5 = (DataGridView1.Rows(4).Cells(1).Value)
NL6 = (DataGridView1.Rows(5).Cells(1).Value)
NL7 = (DataGridView1.Rows(6).Cells(1).Value)
NL8 = (DataGridView1.Rows(7).Cells(1).Value)
NL9 = (DataGridView1.Rows(8).Cells(1).Value)

'Poniendo disponible el boton de reporte
btnreporte.Enabled = True

```

End Sub

CODIGO PARA LIMPIAR LAS CASILLAS

```

Private Sub ToolStripButton1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
ToolStripButton1.Click
'LIMPIAR Y FOCUS EN EL PRIMER CUADRO
TextBox1.Clear()
TextBox2.Clear()
TextBox3.Clear()
TextBox4.Clear()
Me.DataGridView1.Rows(0).Cells(1).Value = ""
Me.DataGridView1.Rows(1).Cells(1).Value = ""
Me.DataGridView1.Rows(2).Cells(1).Value = ""
Me.DataGridView1.Rows(3).Cells(1).Value = ""
Me.DataGridView1.Rows(4).Cells(1).Value = ""
PEwater = 0
PEwood = 0
Lem = 0
Dw = 0
DL9 = 0
ED11 = ""
ED22 = ""
ED33 = ""
ED44 = ""
ComboBox1.SelectedValue = 0
ComboBox2.SelectedValue = 42
parametro = 0
txtsource.Text = "File: "
strsaop = ""
TextBox1.Focus()
End Sub

```

ANEXO 8: TABLAS DE VELOCIDADES

TABLA C.1: Velocidades Medias sin suavizar del Ensayo 1.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X01_I	258.1834	303.2514	369.4863	340.8895	348.2478	340.8895
X01_01	192.2063	253.9162	266.3453	254.6098	278.2028	278.2028
X01_02	251.0287	288.0361	282.8283	366.8124	296.8082	296.8082
X01_03	307.4242	332.2762	343.9499	337.911	357.1018	250.0271
X01_04	270.0961	362.7605	352.4835	367.2154	375.4111	288.4946
X01_05	330.3255	345.6137	355.1213	44.3444	325.8591	0.000002
X01_06	421.5178	383.4572	388.6404	328.7533	6.5958	1.5833
X01_07	414.4864	370.3058	352.3698	313.3436	222.2489	0.000001
X01_08	444.2195	380.5692	380.5692	252.2038	221.3669	0.000035
X01_09	464.6205	378.8742	335.3285	223.0764	289.1155	0.000043
X01_O	228.7882	321.887	278.1498	311.5308	304.1598	84.6724

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA C.2: Velocidades Medias sin suavizar del Ensayo 3.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X03_I	0.0765	357.3704	291.3969	311.5158	308.3378	287.7017
X03_01	206.4468	253.7415	260.1012	257.1874	261.0583	280.0873
X03_02	184.8509	256.9855	282.2422	237.9047	275.0777	308.3718
X03_03	302.8319	315.9909	362.9058	349.3975	319.2506	24.2339
X03_04	317.2386	358.7999	314.443	354.2918	300.7535	5.3386
X03_05	102.8906	393.6812	395.9241	377.279	402.7291	1.3392
X03_06	113.8362	462.7044	453.5286	360.2148	296.8236	12.514
X03_07	123.76	535.2318	455.2574	402.8372	263.6036	3.0451
X03_08	333.5098	493.373	444.4792	369.4416	189.11	0.00022
X03_09	572.3992	552.2088	436.8643	292.0963	244.2658	137.3602
X03_O	280.3745	299.0739	271.9188	248.8263	305.2848	0.9652

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA C.3: Velocidades Medias sin suavizar del Ensayo 4.

Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X04_I	54.2283	324.2661	318.9864	173.8109	303.3355	338.1452
X04_01	221.9465	266.3283	279.0986	241.7566	241.8148	313.1716
X04_02	208.7838	230.6919	194.288	226.8588	229.4944	1.5013
X04_03	115.0675	268.7296	287.8068	277.5243	286.6445	38.5824
X04_04	95.8283	383.8202	307.9904	382.4959	333.5676	0.9729
X04_05	125.458	377.1865	384.0329	356.4715	326.1662	10.0256
X04_06	166.1729	436.8769	392.2647	414.8933	314.1794	2.4095
X04_07	95.3202	424.4729	427.8283	349.3607	189.3891	2.7581
X04_08	61.7662	503.5661	445.5418	319.9864	154.5151	0.00014
X04_09	280.8648	530.8067	453.626	387.1905	201.9148	0.00028
X04_O	220.0192	270.1875	255.5902	276.0756	272.1189	93.4602

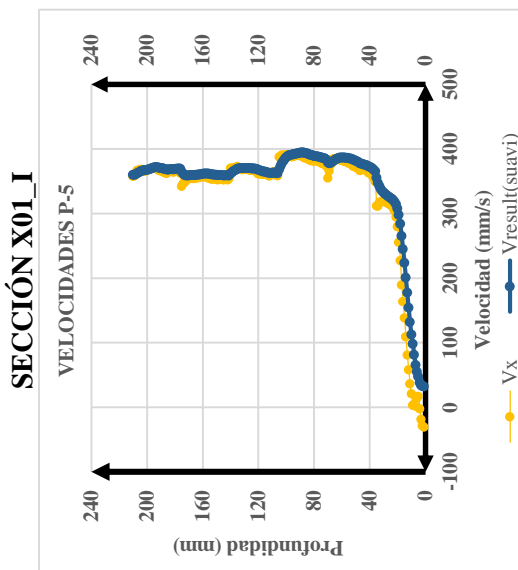
Fuente: Elaboración Propia.

TABLA C.4: Velocidades Mediad sin suavizar del Ensayo 6.

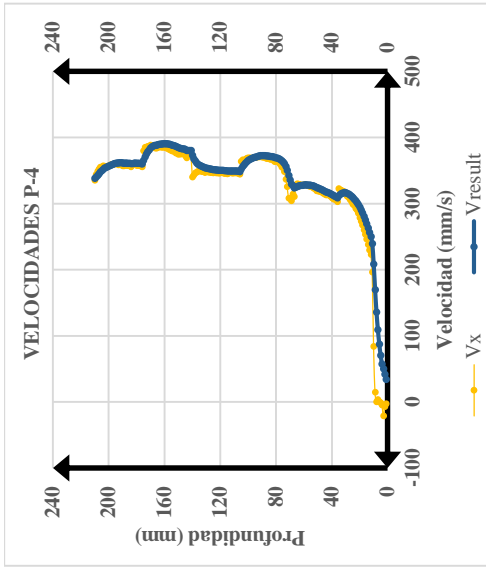
Sección	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s	mm/s
X06_I	324.8978	290.1983	332.8721	364.7124	343.1586	0.4517
X06_01	276.9284	310.5152	260.671	295.3357	264.4944	241.6369
X06_02	223.4579	168.9111	259.77	242.9511	260.3976	0.2882
X06_03	156.7305	290.0176	291.8559	252.7517	325.987	-2.7423
X06_04	45.0523	373.0483	370.8177	271.9776	287.1082	8.4752
X06_05	100.8841	397.0766	382.5166	369.3888	311.5105	16.4811
X06_06	233.9552	468.8654	359.1917	295.5246	189.2941	-0.0688
X06_07	110.2058	509.0759	432.857	375.8441	187.4947	0.1152
X06_08	269.567	493.2619	437.507	378.1682	219.9752	0.3411
X06_09	354.4593	378.8742	478.1976	320.0699	283.2712	0.000004
X06_O	272.8117	290.2223	269.0159	244.7241	254.2564	-1.2741

Fuente: Elaboración Propia.

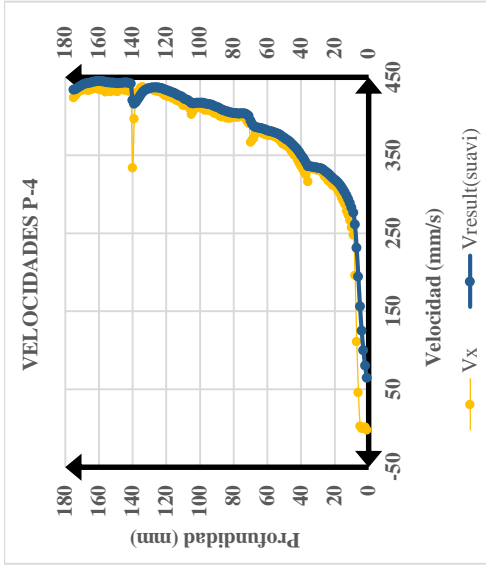
**GRAFICAS DE VELOCIDADES MEDIAS
ENSAYO 01**



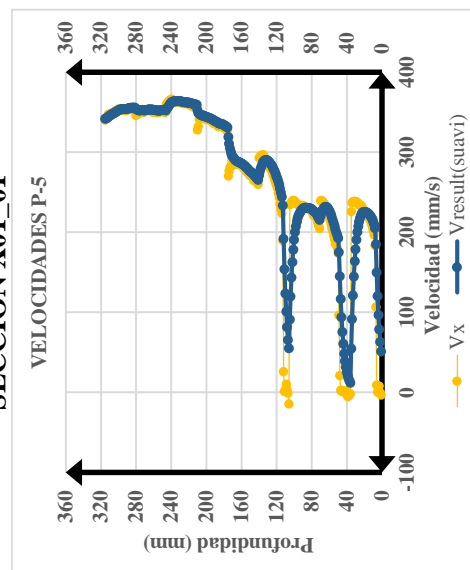
SECCIÓN X01_02



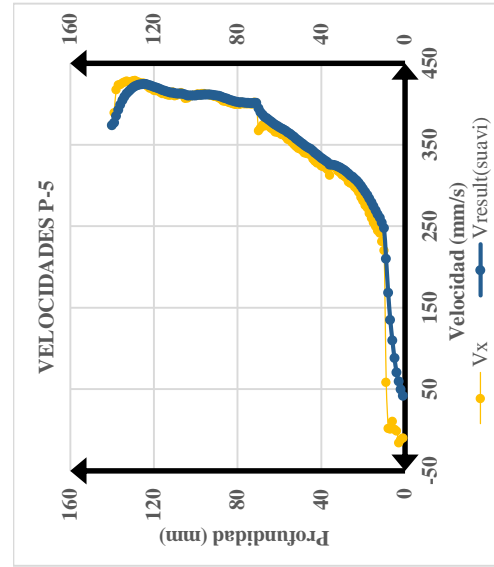
SECCIÓN X01_04



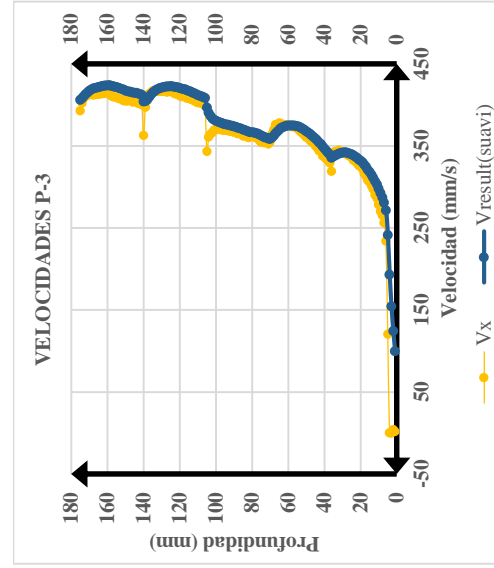
SECCIÓN X01_01



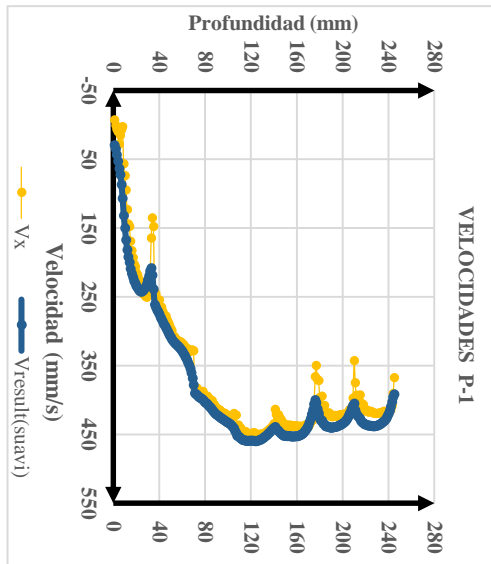
SECCIÓN X01_03



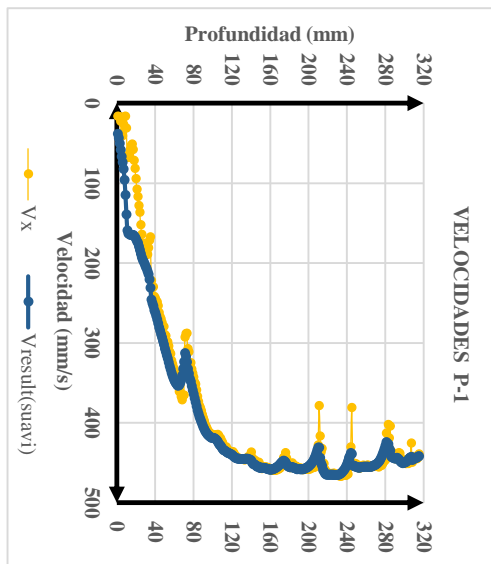
SECCIÓN X01_05



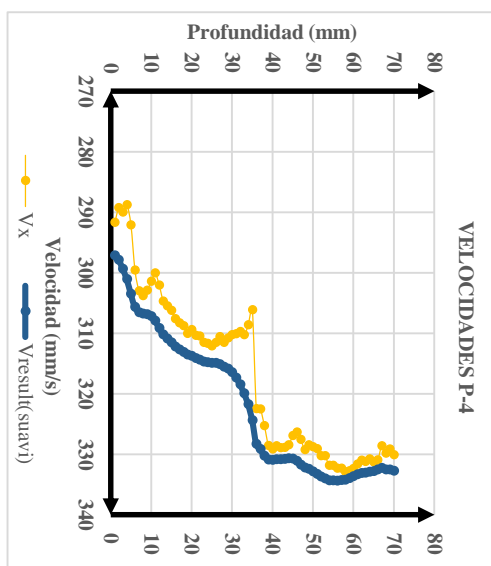
SECCIÓN X01_06



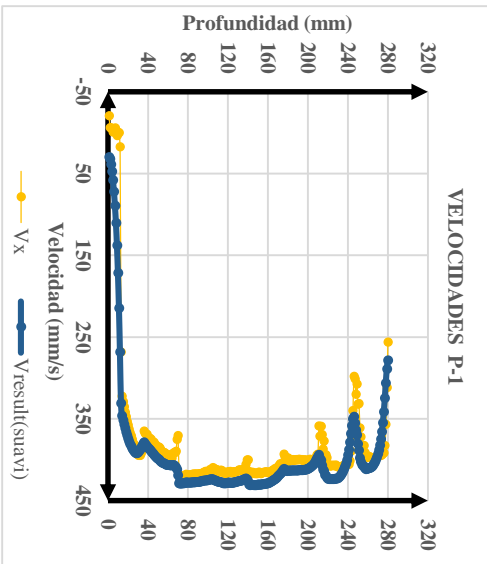
SECCIÓN X01_08



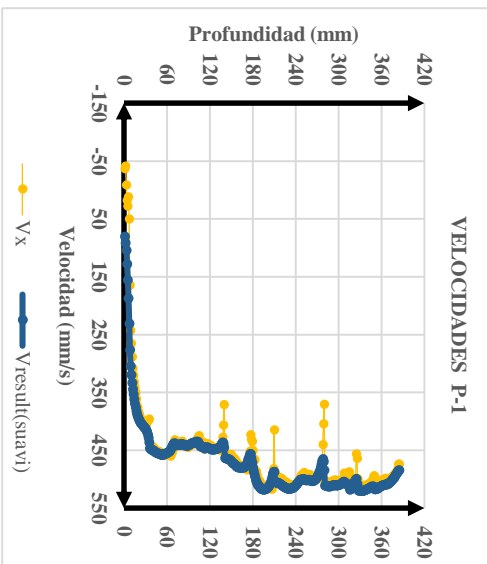
SECCIÓN X01_0



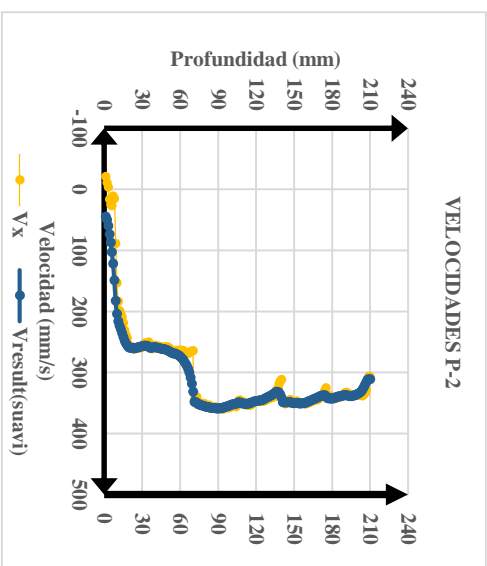
SECCIÓN X01_07



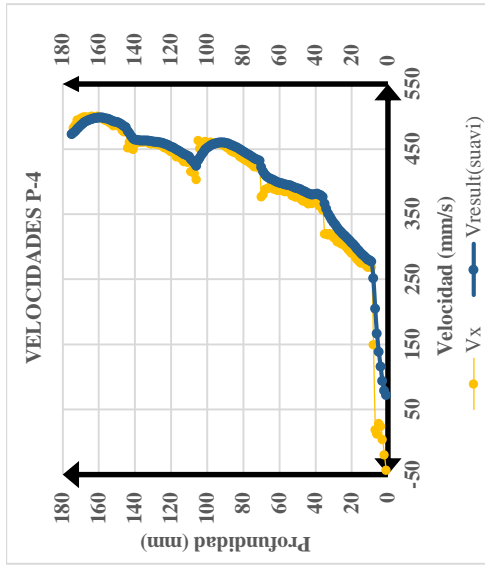
SECCIÓN X01_09



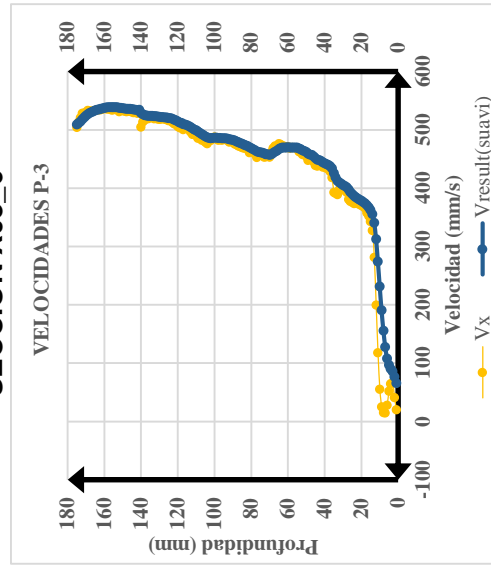
GRAFICAS DEL ENSAYO 03
SECCIÓN X03_1



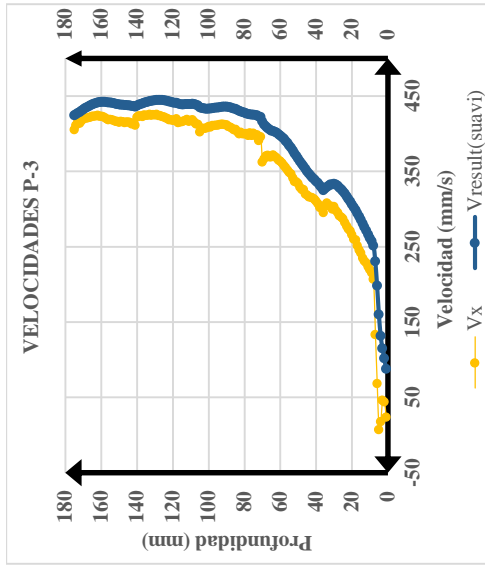
SECCIÓN X03_5



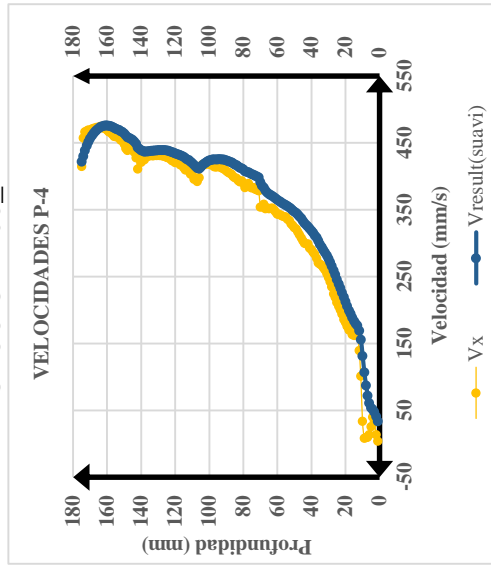
SECCIÓN X03_6



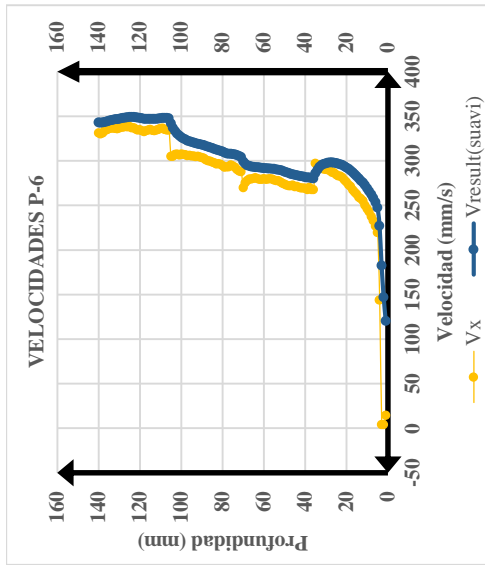
SECCIÓN X03_3



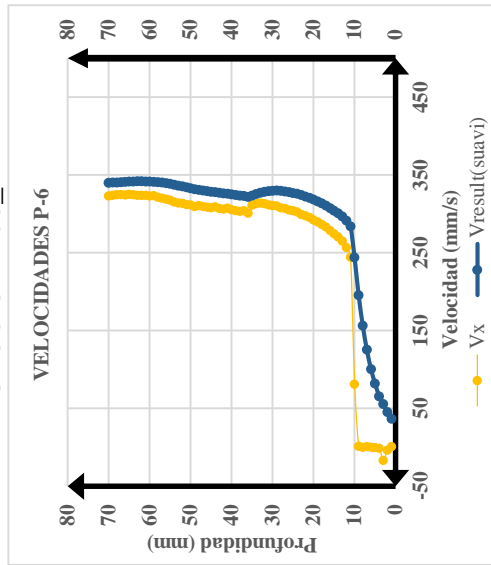
SECCIÓN X03_4



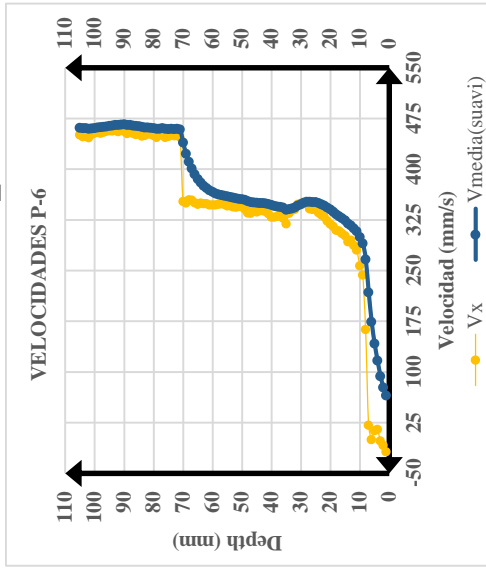
SECCIÓN X03_1



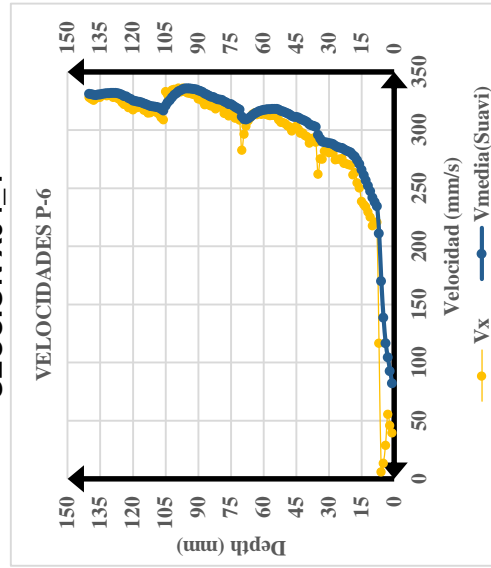
SECCIÓN X03_2



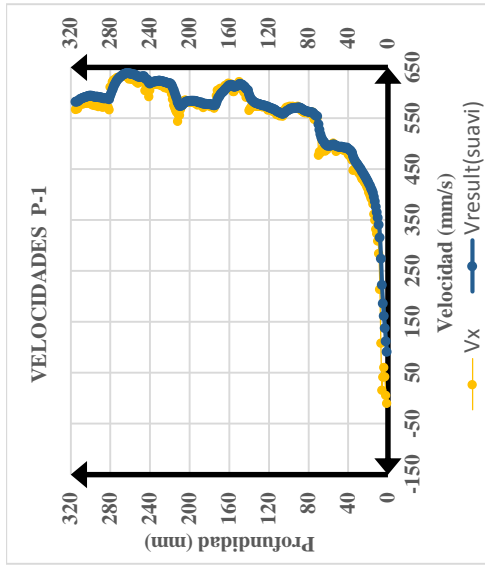
**GRAFICAS DEL ENSAYO 04
SECCIÓN X04_I**



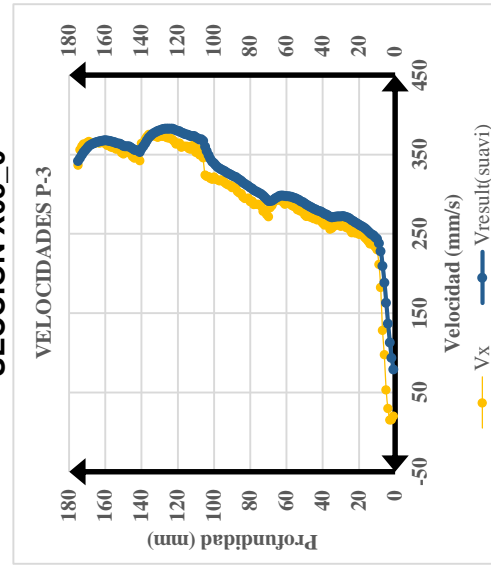
SECCIÓN X04_1



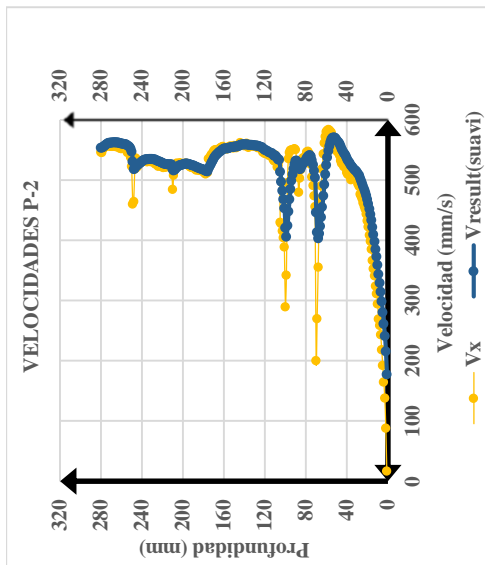
SECCIÓN X03_9



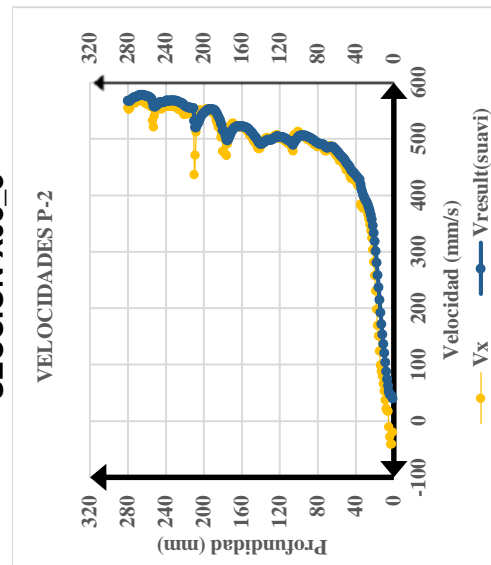
SECCIÓN X03_0



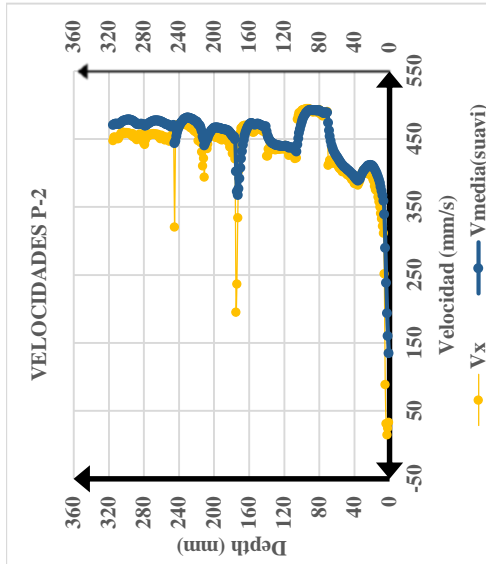
SECCIÓN X03_7



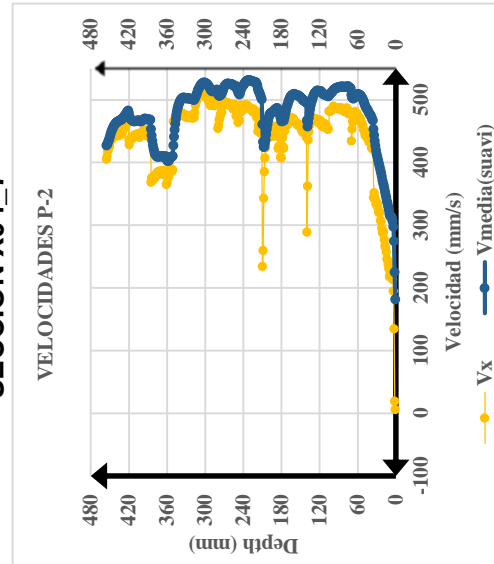
SECCIÓN X03_8



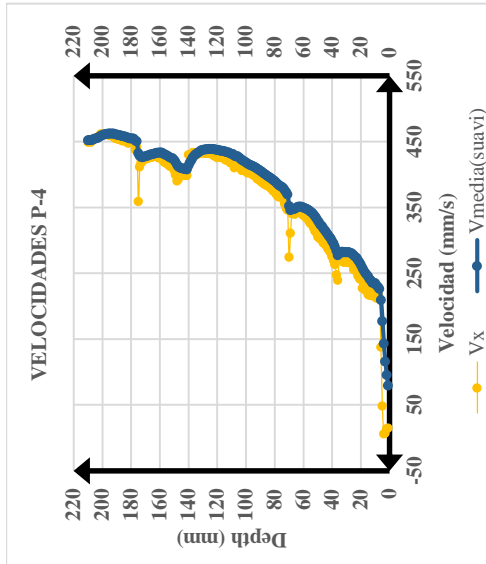
SECCIÓN X04_6



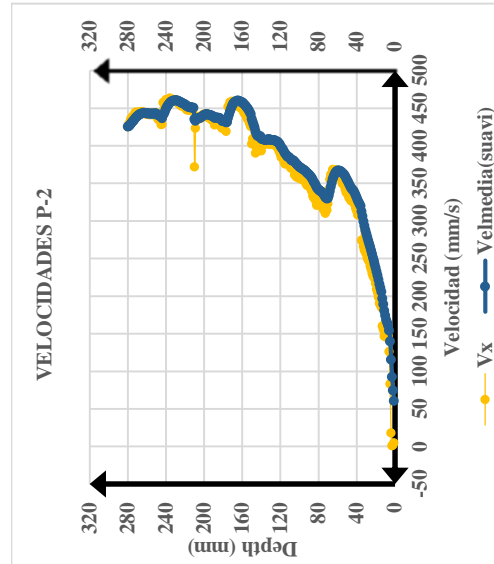
SECCIÓN X04_7



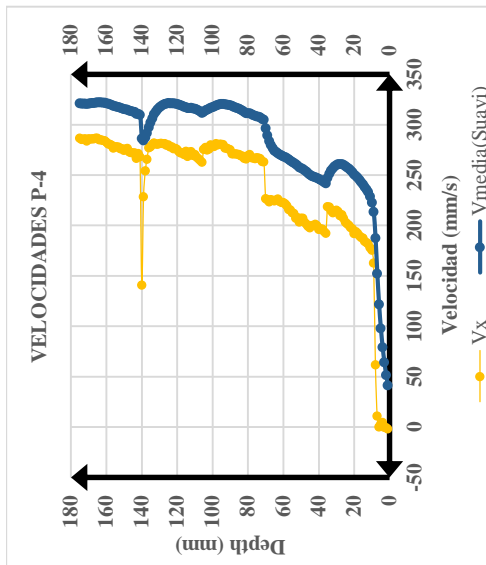
SECCIÓN X04_4



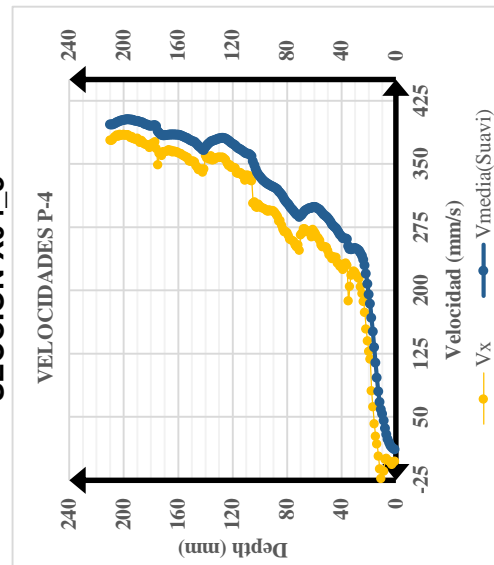
SECCIÓN X04_5



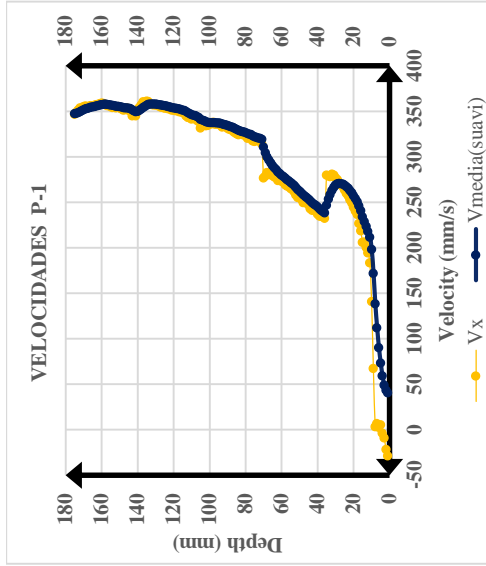
SECCIÓN X04_2



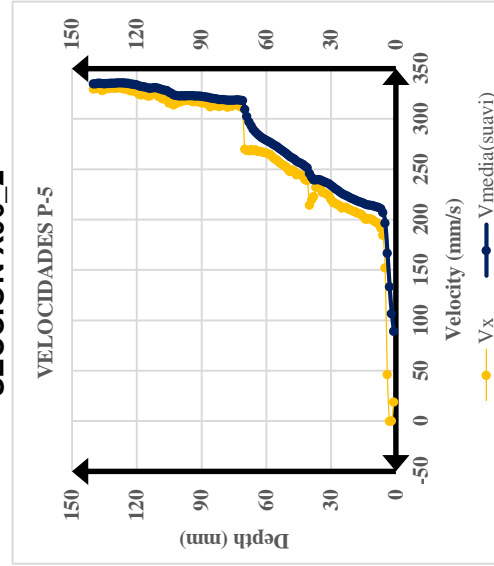
SECCIÓN X04_3



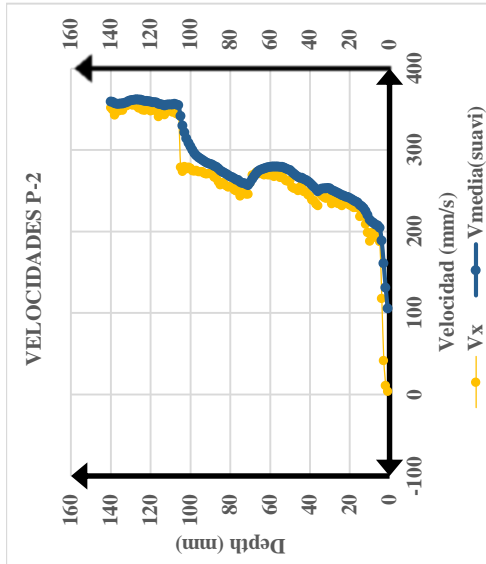
SECCIÓN X06_1



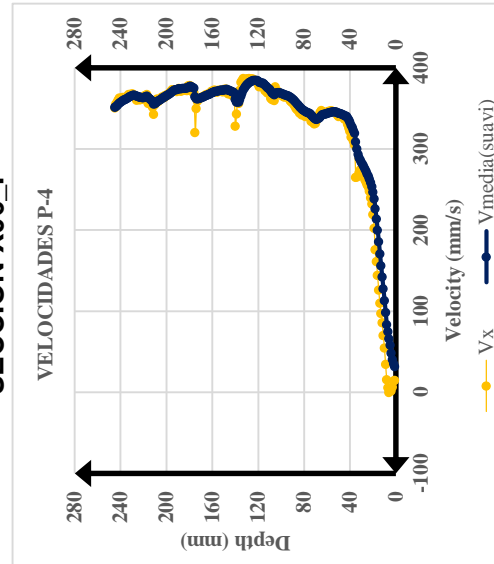
SECCIÓN X06_2



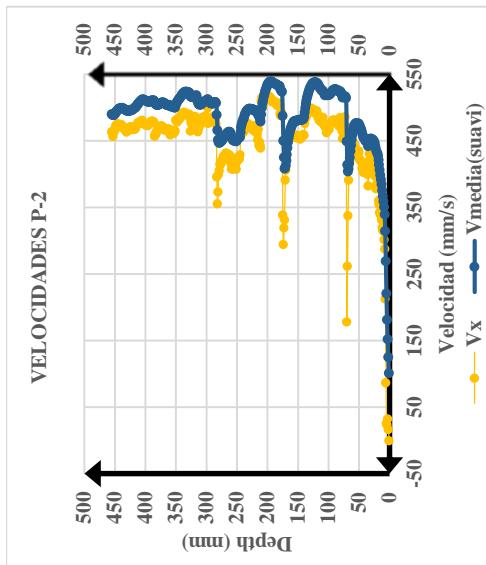
SECCIÓN X04_O



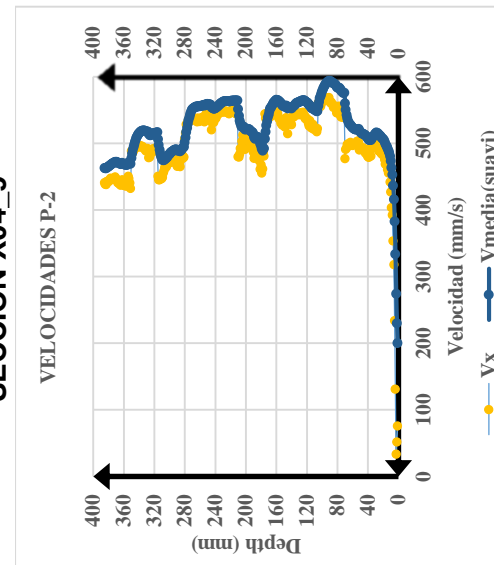
SECCIÓN X06_I



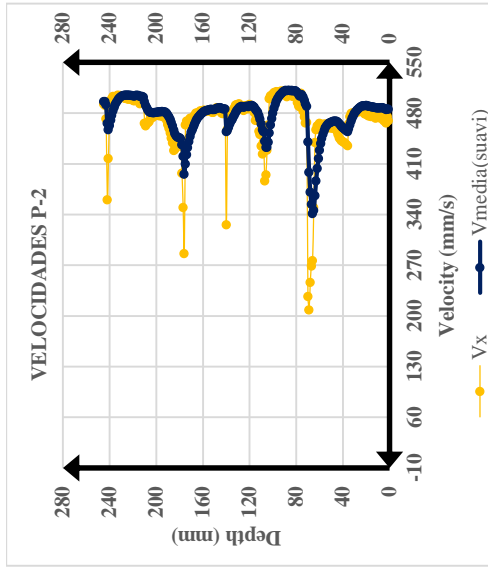
SECCIÓN X04_8



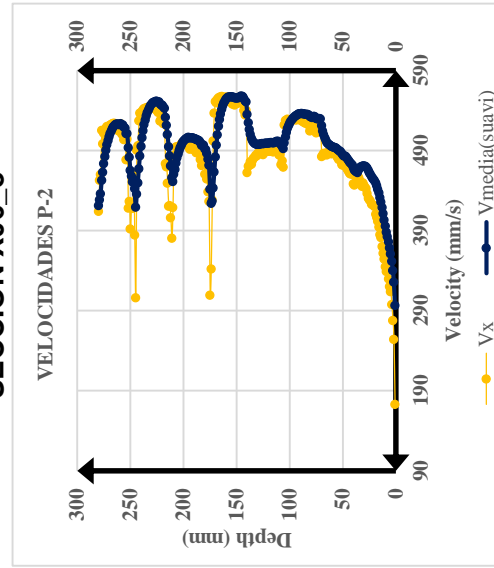
SECCIÓN X04_9



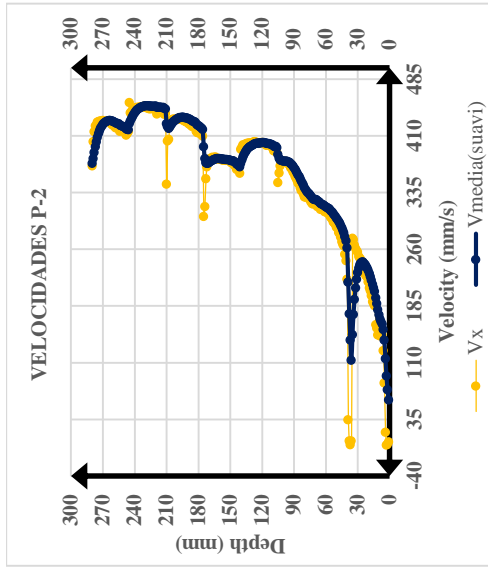
SECCIÓN X06_7



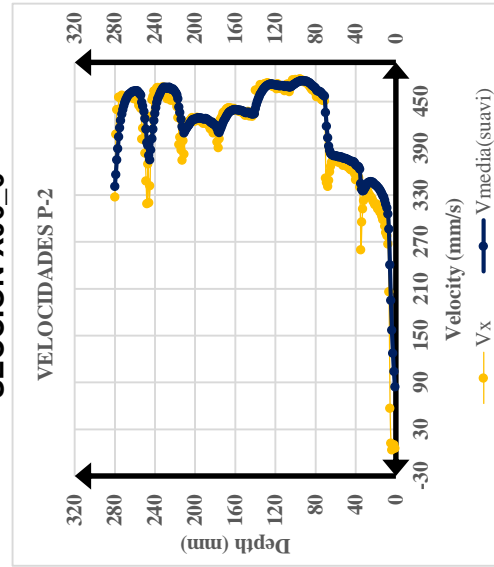
SECCIÓN X06_8



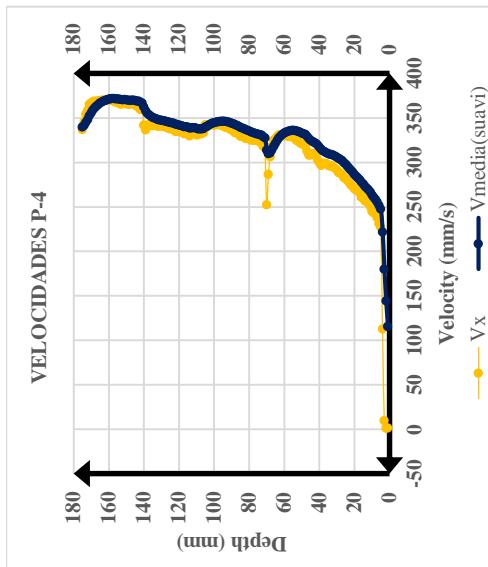
SECCIÓN X06_5



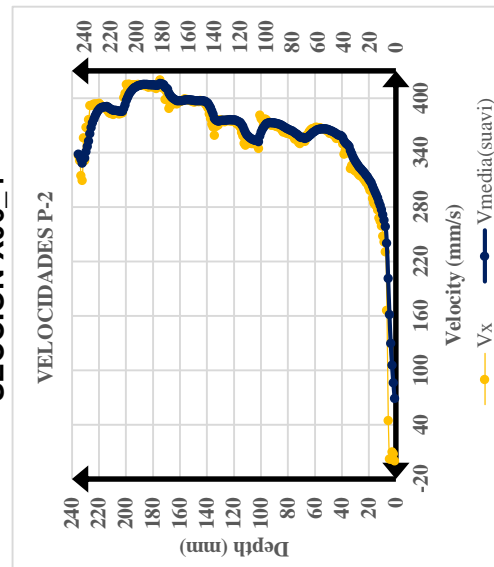
SECCIÓN X06_6



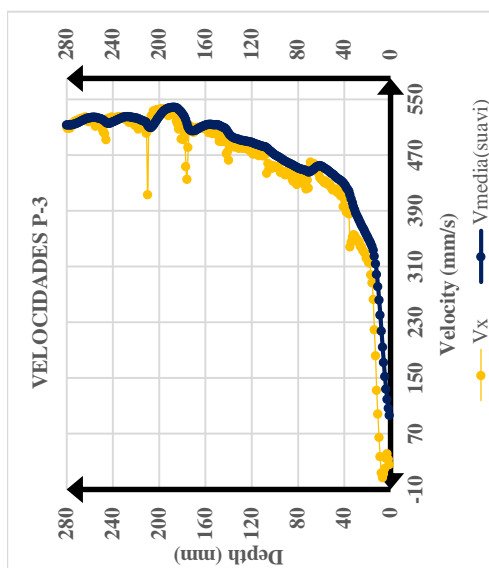
SECCIÓN X06_3



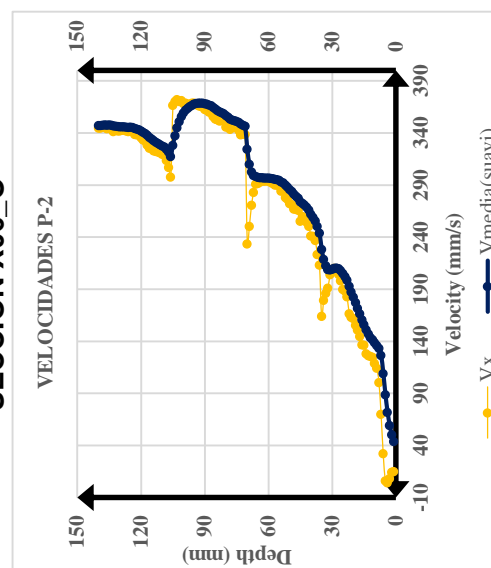
SECCIÓN X06_4



SECCIÓN X06_9



SECCIÓN X06_0



ANEXO 9: TABLA DE TIRANTES Y GRAFICAS

ANEXO D.1: TIRANTES EN CADA PUNTO DE CADA SECCIÓN.

Tabla D.1: Tirantes por punto de medición de la sección X01_I.

SECCIÓN X01_I	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.239	177.239	0.000	0.000
P1	176.039	165.369	10.670	0.178
P2	175.319	164.861	10.458	0.174
P3	174.839	165.746	9.093	0.152
P4	174.839	167.459	7.380	0.123
P5	174.599	168.500	6.099	0.102
P6	175.439	170.214	5.225	0.087
ORILLA (I)	176.999	176.999	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.2: Tirantes por punto de medición de la sección X01_01.

SECCIÓN X01_01	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.419	177.419	0.000	0.000
P1	176.399	165.904	10.495	0.175
P2	175.259	166.619	8.640	0.144
P3	175.139	167.150	7.989	0.133
P4	175.019	167.710	7.309	0.122
P5	175.019	168.527	6.492	0.108
P6	175.859	168.989	6.870	0.115
ORILLA (I)	176.879	176.879	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.3: Tirantes por punto de medición de la sección X01_02.

SECCIÓN X01_02	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	178.319	178.319	0.000	0.000
P1	178.439	163.961	14.478	0.241
P2	178.319	165.832	12.487	0.208
P3	178.319	166.001	12.318	0.205
P4	178.199	167.262	10.937	0.182
P5	178.079	168.471	9.608	0.160
P6	177.599	168.554	9.045	0.151
ORILLA (I)	177.179	177.179	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.4: Tirantes por punto de medición de la sección X01_03.

SECCIÓN X01_03	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.839	163.276	14.563	0.243
P2	178.199	165.555	12.644	0.211
P3	178.199	167.081	11.118	0.185
P4	178.319	167.713	10.606	0.177
P5	178.319	168.766	9.553	0.159
P6	178.079	171.047	7.032	0.117
ORILLA (I)	177.299	177.299	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.5: Tirantes por punto de medición de la sección X01_04.

SECCIÓN X01_04	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	178.019	164.562	13.457	0.224
P2	178.019	164.127	13.892	0.232
P3	177.899	165.906	11.993	0.200
P4	177.899	167.663	10.236	0.171
P5	177.899	168.757	9.142	0.152
P6	177.899	170.014	7.885	0.131
ORILLA (I)	177.899	177.899	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.6: Tirantes por punto de medición de la sección X01_05.

SECCIÓN X01_05	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.659	177.659	0.000	0.000
P1	177.059	162.011	15.048	0.251
P2	176.939	163.965	12.974	0.216
P3	176.939	165.419	11.520	0.192
P4	176.819	166.558	10.261	0.171
P5	177.059	167.692	9.367	0.156
P6	177.059	169.802	7.257	0.121
ORILLA (I)	177.299	177.299	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.7: Tirantes por punto de medición de la sección X01_06.

SECCIÓN X01_06	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.659	162.066	15.593	0.260
P2	177.659	162.456	15.203	0.253
P3	177.779	164.990	12.789	0.213
P4	177.899	168.387	9.512	0.159
P5	177.779	169.685	8.094	0.135
P6	177.899	172.078	5.821	0.097
ORILLA (I)	178.259	178.259	0.000	0.000

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla D.8: Tirantes por punto de medición de la sección X01_07.

SECCIÓN X01_07	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.779	177.779	0.000	0.000
P1	177.419	164.386	13.033	0.217
P2	177.419	162.664	14.755	0.246
P3	177.419	164.986	12.433	0.207
P4	177.419	160.056	17.363	0.289
P5	177.539	167.774	9.765	0.163
P6	176.219	170.173	6.046	0.101
ORILLA (I)	175.859	175.859	0.000	0.000

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla D.9: Tirantes por punto de medición de la sección X01_08.

SECCIÓN X01_08	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.179	177.179	0.000	0.000
P1	177.059	162.174	14.885	0.248
P2	176.699	161.695	15.004	0.250
P3	176.699	164.435	12.264	0.204
P4	176.699	166.061	10.638	0.177
P5	176.699	167.909	8.790	0.147
P6	176.699	171.173	5.526	0.092
ORILLA (I)	176.699	176.699	0.000	0.000

Fuente: *Elaboración Propia.*

Tabla D.10: Tirantes por punto de medición de la sección X01_09.

SECCIÓN X01_09	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	176.579	176.579	0.000	0.000
P1	176.939	159.911	17.028	0.284
P2	176.939	162.918	14.021	0.234
P3	176.939	164.644	12.295	0.205
P4	176.699	168.283	8.416	0.140
P5	177.539	170.484	7.055	0.118
P6	177.419	176.502	0.917	0.015
ORILLA (I)	177.179	177.179	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

TIRANTES DEL ENSAYO 03

Tabla D.11: Tirantes por punto de medición de la sección X03_I.

SECCIÓN X03_I	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.239	177.239	0.000	0.000
P1	177.179	165.369	11.810	0.197
P2	177.179	164.861	12.318	0.205
P3	177.239	165.746	11.493	0.192
P4	177.059	167.459	9.600	0.160
P5	177.179	168.500	8.679	0.145
P6	176.999	170.214	6.785	0.113
ORILLA (I)	176.999	176.999	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.12: Tirantes por punto de medición de la sección X03_01.

SECCIÓN X03_01	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.419	177.419	0.000	0.000
P1	177.299	165.904	11.395	0.190
P2	177.299	166.619	10.680	0.178
P3	177.239	167.150	10.089	0.168
P4	177.179	167.710	9.469	0.158
P5	177.179	168.527	8.652	0.144
P6	176.999	168.989	8.010	0.134
ORILLA (I)	176.879	176.879	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.13: Tirantes por punto de medición de la sección X03_02.

SECCIÓN X03_02	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	178.319	178.319	0.000	0.000
P1	177.959	163.961	13.998	0.233
P2	177.839	165.832	12.007	0.200
P3	177.479	166.001	11.478	0.191
P4	177.239	167.262	9.977	0.166
P5	177.179	168.471	8.708	0.145
P6	177.119	168.554	8.565	0.143
ORILLA (I)	177.179	177.179	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.14: Tirantes por punto de medición de la sección X03_03.

SECCIÓN X03_03	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.239	163.276	13.963	0.233
P2	177.179	165.555	11.624	0.194
P3	177.179	167.081	10.098	0.168
P4	177.119	167.713	9.406	0.157
P5	176.999	168.766	8.233	0.137
P6	177.059	171.047	6.012	0.100
ORILLA (I)	177.299	177.299	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.15: Tirantes por punto de medición de la sección X03_04.

SECCIÓN X03_04	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.299	164.562	12.737	0.212
P2	177.119	164.127	12.992	0.217
P3	176.939	165.906	11.033	0.184
P4	176.699	167.663	9.036	0.151
P5	176.579	168.757	7.822	0.130
P6	176.699	170.014	6.685	0.111
ORILLA (I)	177.899	177.899	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.16: Tirantes por punto de medición de la sección X03_05.

SECCIÓN X03_05	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.659	177.659	0.000	0.000
P1	177.539	162.011	15.528	0.259
P2	177.299	163.965	13.334	0.222
P3	177.299	165.419	11.880	0.198
P4	177.299	166.558	10.741	0.179
P5	177.179	167.692	9.487	0.158
P6	176.939	169.802	7.137	0.119
ORILLA (I)	177.299	177.299	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.17: Tirantes por punto de medición de la sección X03_06.

SECCIÓN X03_06	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.299	162.066	15.233	0.254
P2	176.939	162.456	14.483	0.241
P3	176.699	164.990	11.709	0.195
P4	176.579	168.387	8.192	0.137
P5	176.819	169.685	7.134	0.119
P6	177.659	172.078	5.581	0.093
ORILLA (I)	178.259	178.259	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.18: Tirantes por punto de medición de la sección X03_07.

SECCIÓN X03_07	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.779	177.779	0.000	0.000
P1	177.779	164.386	13.393	0.223
P2	177.779	162.664	15.115	0.252
P3	177.779	164.986	12.793	0.213
P4	177.719	160.056	17.663	0.294
P5	177.179	167.774	9.405	0.157
P6	176.459	170.173	6.286	0.105
ORILLA (I)	175.859	175.859	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.19: Tirantes por punto de medición de la sección X03_08.

SECCIÓN X03_08	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.179	177.179	0.000	0.000
P1	177.419	162.174	15.245	0.254
P2	177.779	161.695	16.084	0.268
P3	177.839	164.435	13.404	0.223
P4	177.779	166.061	11.718	0.195
P5	177.539	167.909	9.630	0.161
P6	177.119	171.173	5.946	0.099
ORILLA (I)	176.699	176.699	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.20: Tirantes por punto de medición de la sección X03_09.

SECCIÓN X03_09	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	176.579	176.579	0.000	0.000
P1	176.939	159.911	17.028	0.284
P2	177.239	162.918	14.321	0.239
P3	177.299	164.644	12.655	0.211
P4	177.299	168.283	9.016	0.150
P5	177.179	170.484	6.695	0.112
P6	177.059	176.502	0.557	0.009
ORILLA (I)	177.179	177.179	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

TIRANTES DEL ENSAYO 04

Tabla D.21: Tirantes por punto de medición de la sección X04_I.

SECCIÓN X04_I	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.239	177.239	0.000	0.000
P1	177.359	165.369	11.990	0.200
P2	177.359	164.861	12.498	0.208
P3	177.359	165.746	11.613	0.194
P4	177.359	167.459	9.900	0.165
P5	177.239	168.500	8.739	0.146
P6	177.119	170.214	6.905	0.115
ORILLA (I)	176.999	176.999	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.22: Tirantes por punto de medición de la sección X04_01.

SECCIÓN X04_01	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.419	177.419	0.000	0.000
P1	177.359	165.904	11.455	0.191
P2	177.239	166.619	10.620	0.177
P3	177.359	167.150	10.209	0.170
P4	177.479	167.710	9.769	0.163
P5	177.599	168.527	9.072	0.151
P6	177.119	168.989	8.130	0.136
ORILLA (I)	176.879	176.879	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.23: Tirantes por punto de medición de la sección X04_02.

SECCIÓN X04_02	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	178.319	178.319	0.000	0.000
P1	178.199	163.961	14.238	0.237
P2	178.199	165.832	12.367	0.206
P3	177.959	166.001	11.958	0.199
P4	177.959	167.262	10.697	0.178
P5	177.959	168.471	9.488	0.158
P6	177.359	168.554	8.805	0.147
ORILLA (I)	177.179	177.179	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.24: Tirantes por punto de medición de la sección X04_03.

SECCIÓN X04_03	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.359	163.276	14.083	0.235
P2	177.479	165.555	11.924	0.199
P3	177.599	167.081	10.518	0.175
P4	177.479	167.713	9.766	0.163
P5	177.359	168.766	8.593	0.143
P6	177.359	171.047	6.312	0.105
ORILLA (I)	177.299	177.299	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.25: Tirantes por punto de medición de la sección X04_04.

SECCIÓN X04_04	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.659	164.562	13.097	0.218
P2	177.719	164.127	13.592	0.227
P3	177.719	165.906	11.813	0.197
P4	177.719	167.663	10.056	0.168
P5	177.599	168.757	8.842	0.147
P6	177.779	170.014	7.765	0.129
ORILLA (I)	177.899	177.899	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.26: Tirantes por punto de medición de la sección X04_05.

SECCIÓN X04_05	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.659	177.659	0.000	0.000
P1	177.719	162.011	15.708	0.262
P2	177.719	163.965	13.754	0.229
P3	177.599	165.419	12.180	0.203
P4	177.359	166.558	10.801	0.180
P5	177.479	167.692	9.787	0.163
P6	177.479	169.802	7.677	0.128
ORILLA (I)	177.299	177.299	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.27: Tirantes por punto de medición de la sección X04_06.

SECCIÓN X04_06	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.539	177.539	0.000	0.000
P1	177.299	162.066	15.233	0.254
P2	176.939	162.456	14.483	0.241
P3	176.699	164.990	11.709	0.195
P4	176.579	168.387	8.192	0.137
P5	176.819	169.685	7.134	0.119
P6	177.659	172.078	5.581	0.093
ORILLA (I)	178.259	178.259	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.28: Tirantes por punto de medición de la sección X04_07.

SECCIÓN X04_07	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.779	177.779	0.000	0.000
P1	178.019	164.386	13.633	0.227
P2	178.019	162.664	15.355	0.256
P3	178.139	164.986	13.153	0.219
P4	178.259	160.056	18.203	0.303
P5	178.379	167.774	10.605	0.177
P6	177.779	170.173	7.606	0.127
ORILLA (I)	175.859	175.859	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.29: Tirantes por punto de medición de la sección X04_08.

SECCIÓN X04_08	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	177.179	177.179	0.000	0.000
P1	178.019	162.174	15.845	0.264
P2	178.259	161.695	16.564	0.276
P3	178.139	164.435	13.704	0.228
P4	178.139	166.061	12.078	0.201
P5	178.019	167.909	10.110	0.169
P6	177.779	171.173	6.606	0.110
ORILLA (I)	176.699	176.699	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.30: Tirantes por punto de medición de la sección X04_09.

SECCIÓN X04_09	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	176.579	176.579	0.000	0.000
P1	176.819	159.911	16.908	0.282
P2	176.939	162.918	14.021	0.234
P3	177.059	164.644	12.415	0.207
P4	176.939	168.283	8.656	0.144
P5	176.939	170.484	6.455	0.108
P6	177.059	176.502	0.557	0.009
ORILLA (I)	177.179	177.179	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia.

TIRANTES DEL ENSAYO 06

Tabla D.31: Tirantes por punto de medición de la sección X06_I.

SECCIÓN X06_I	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	180.059	177.239	2.820	0.047
P1	180.239	165.369	14.870	0.248
P2	180.659	164.861	15.798	0.263
P3	180.779	165.746	15.033	0.251
P4	180.719	167.459	13.260	0.221
P5	180.659	168.500	12.159	0.203
P6	180.659	170.214	10.445	0.174
ORILLA (I)	180.659	176.999	3.660	0.061

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.32: Tirantes por punto de medición de la sección X06_01.

SECCIÓN X06_01	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	180.899	177.419	3.480	0.058
P1	181.019	165.904	15.115	0.252
P2	180.989	166.619	14.370	0.240
P3	180.959	167.150	13.809	0.230
P4	180.899	167.710	13.189	0.220
P5	180.779	168.527	12.252	0.204
P6	180.689	168.989	11.700	0.195
ORILLA (I)	180.659	176.879	3.780	0.063

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.33: Tirantes por punto de medición de la sección X06_02.

SECCIÓN X06_02	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	181.019	178.319	2.700	0.045
P1	181.049	163.961	17.088	0.285
P2	180.959	165.832	15.127	0.252
P3	180.959	166.001	14.958	0.249
P4	180.899	167.262	13.637	0.227
P5	180.779	168.471	12.308	0.205
P6	180.689	168.554	12.135	0.202
ORILLA (I)	180.659	177.179	3.480	0.058

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.34: Tirantes por punto de medición de la sección X06_03.

SECCIÓN X06_03	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	180.899	177.539	3.360	0.056
P1	180.779	163.276	17.503	0.292
P2	180.959	165.555	15.404	0.257
P3	180.929	167.081	13.848	0.231
P4	180.899	167.713	13.186	0.220
P5	180.779	168.766	12.013	0.200
P6	180.719	171.047	9.672	0.161
ORILLA (I)	180.719	177.299	3.420	0.057

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.35: Tirantes por punto de medición de la sección X06_04.

SECCIÓN X06_04	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	180.749	177.539	3.210	0.054
P1	180.479	164.562	15.917	0.265
P2	180.659	164.127	16.532	0.276
P3	180.749	165.906	14.843	0.247
P4	180.659	167.663	12.996	0.217
P5	180.659	168.757	11.902	0.198
P6	180.599	170.014	10.585	0.176
ORILLA (I)	180.899	177.899	3.000	0.050

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.36: Tirantes por punto de medición de la sección X06_05.

SECCIÓN X06_05	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	180.599	177.659	2.940	0.049
P1	180.299	162.011	18.288	0.305
P2	180.419	163.965	16.454	0.274
P3	180.299	165.419	14.880	0.248
P4	180.239	166.558	13.681	0.228
P5	180.359	167.692	12.667	0.211
P6	180.299	169.802	10.497	0.175
ORILLA (I)	180.479	177.299	3.180	0.053

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.37: Tirantes por punto de medición de la sección X06_06.

SECCIÓN X06_06	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	180.419	177.539	2.880	0.048
P1	180.359	162.066	18.293	0.305
P2	180.299	162.456	17.843	0.297
P3	180.179	164.990	15.189	0.253
P4	180.059	168.387	11.672	0.195
P5	179.879	169.685	10.194	0.170
P6	180.059	172.078	7.981	0.133
ORILLA (I)	180.059	178.259	1.800	0.030

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.38: Tirantes por punto de medición de la sección X06_07.

SECCIÓN X06_07	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	180.059	177.779	2.280	0.038
P1	179.999	164.386	15.613	0.260
P2	180.059	162.664	17.395	0.290
P3	179.939	164.986	14.953	0.249
P4	179.819	160.056	19.763	0.329
P5	179.819	167.774	12.045	0.201
P6	179.759	170.173	9.586	0.160
ORILLA (I)	179.729	175.859	3.870	0.065

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.39: Tirantes por punto de medición de la sección X06_08.

SECCIÓN X06_08	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	179.879	177.179	2.700	0.045
P1	179.579	162.174	17.405	0.290
P2	179.699	161.695	18.004	0.300
P3	179.699	164.435	15.264	0.254
P4	179.639	166.061	13.578	0.226
P5	179.579	167.909	11.670	0.195
P6	179.459	171.173	8.286	0.138
ORILLA (I)	179.489	176.699	2.790	0.047

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla D.40: Tirantes por punto de medición de la sección X06_09.

SECCIÓN X06_09	COTA AGUA	COTA DE TERRENO	TIRANTE (Prototipo)	TIRANTE (Modelo)
ORILLA (D)	179.339	176.579	2.760	0.046
P1	179.339	159.911	19.428	0.324
P2	179.339	162.918	16.421	0.274
P3	179.339	164.644	14.695	0.245
P4	179.369	168.283	11.086	0.185
P5	179.399	170.484	8.915	0.149
P6	179.459	176.502	2.957	0.049
ORILLA (I)	179.339	177.179	2.160	0.036

Fuente: Elaboración Propia.

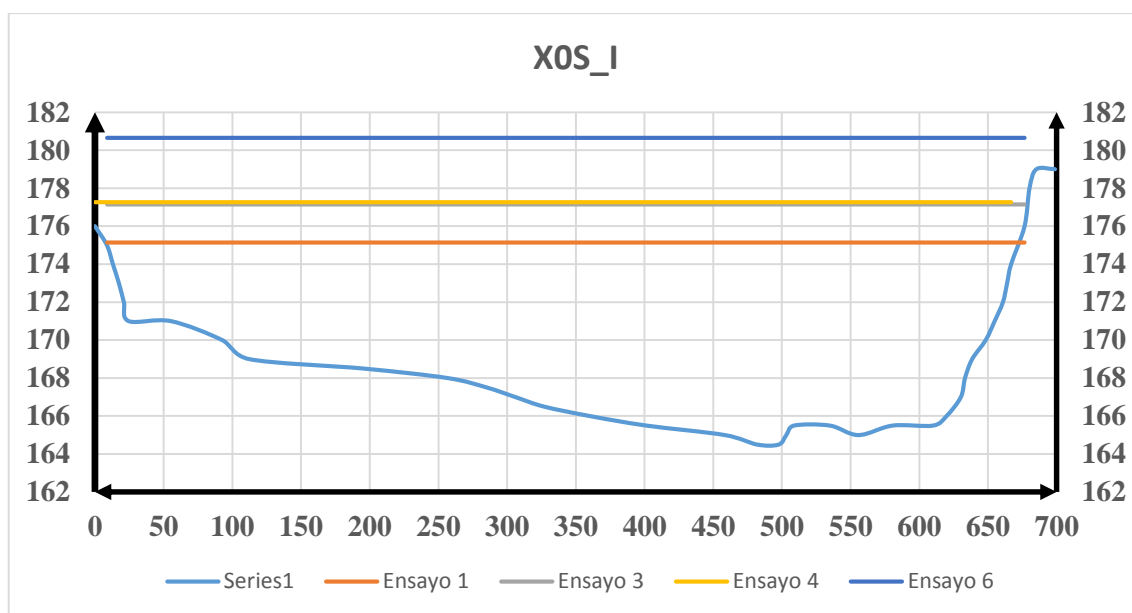


Figura D.1: Tirantes Promedios para la Sección de Entrada de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

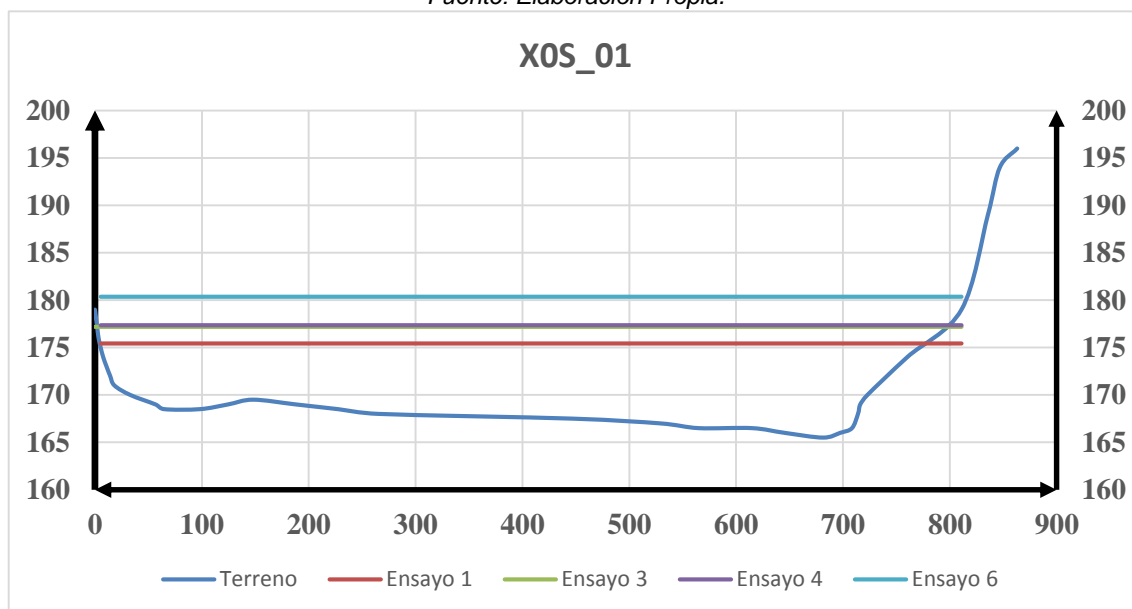


Figura D.2: Tirantes Promedios para la Sección 01 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

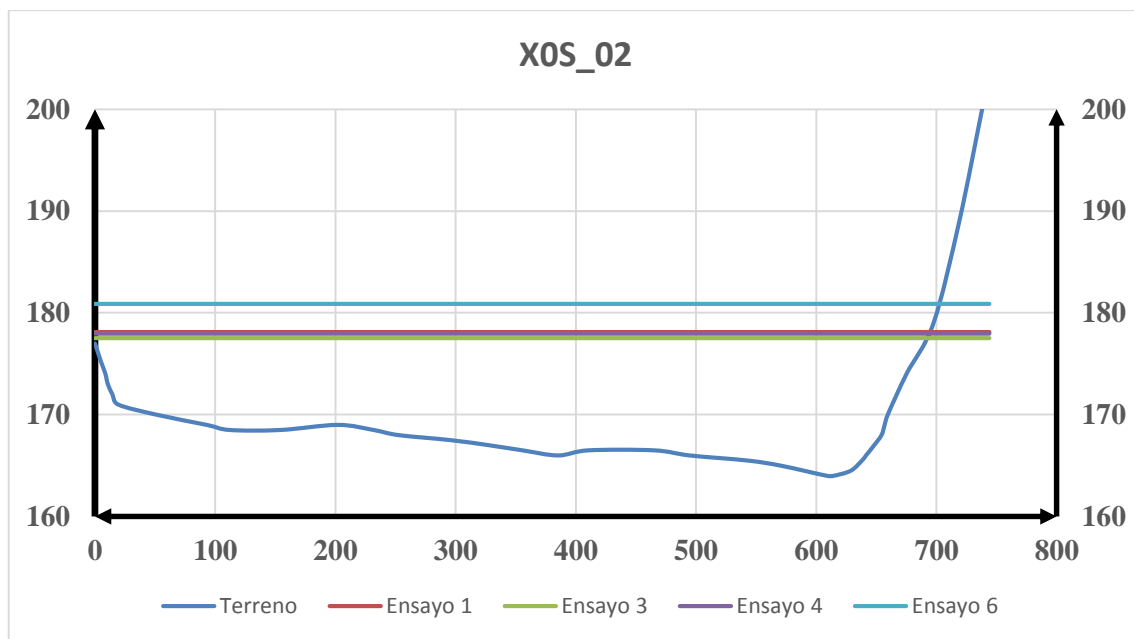


Figura D.3: Tirantes Promedios para la Sección 02 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

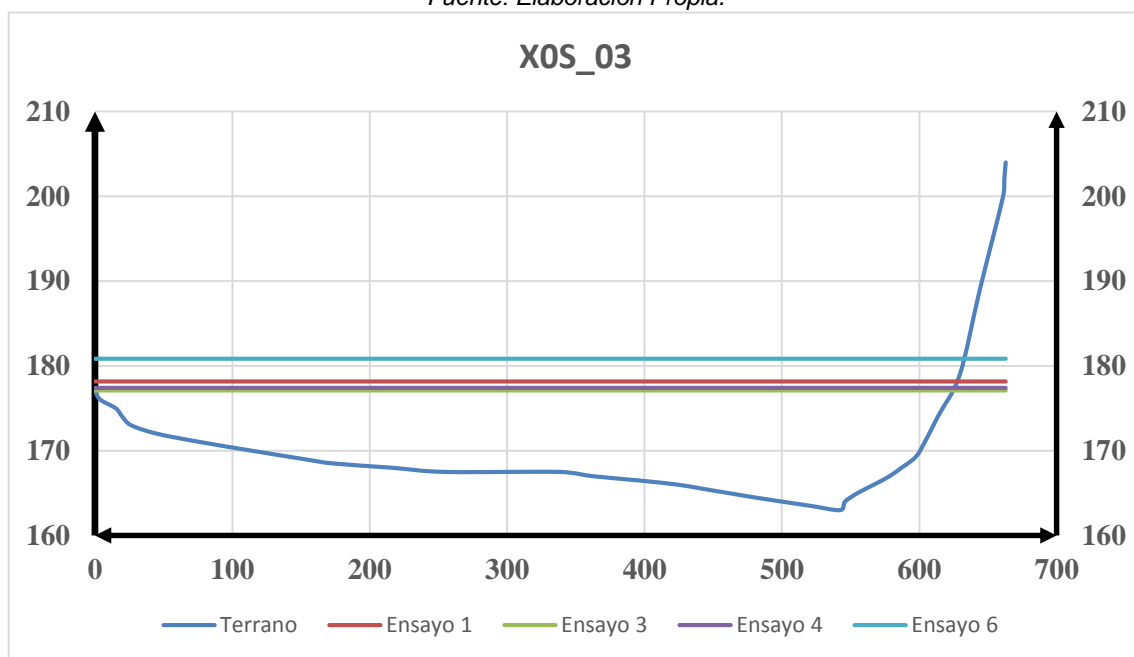


Figura D.4: Tirantes Promedios para la Sección 03 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

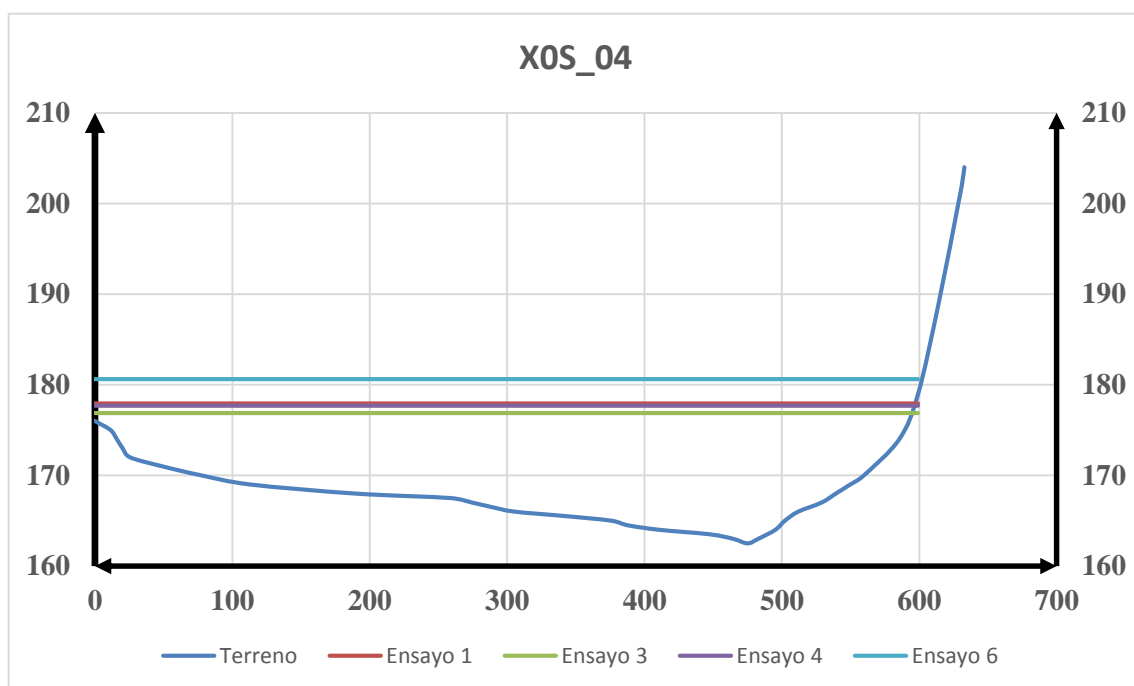


Figura D.5: Tirantes Promedios para la Sección 04 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

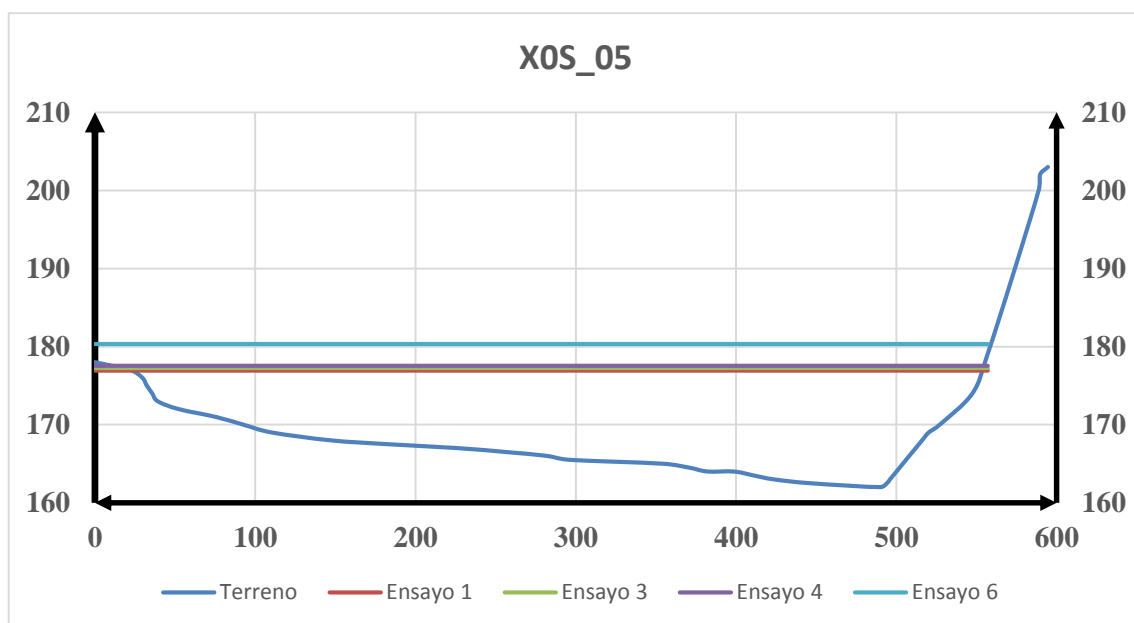


Figura D.6: Tirantes Promedios para la Sección 05 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

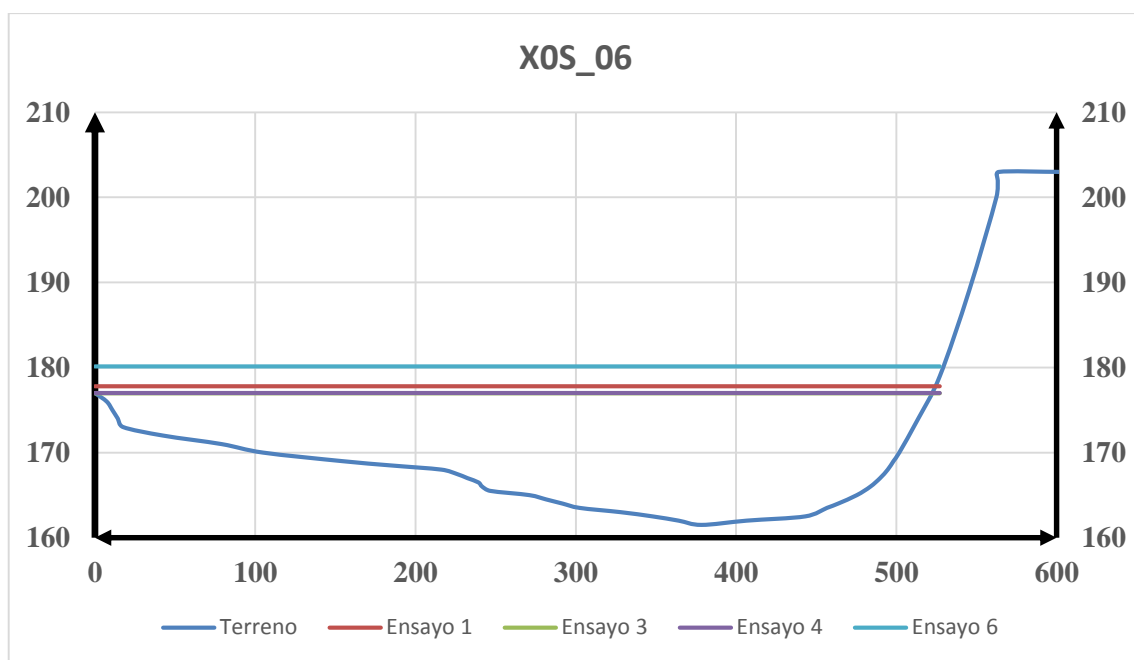


Figura D.7: Tirantes Promedios para la Sección 06 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

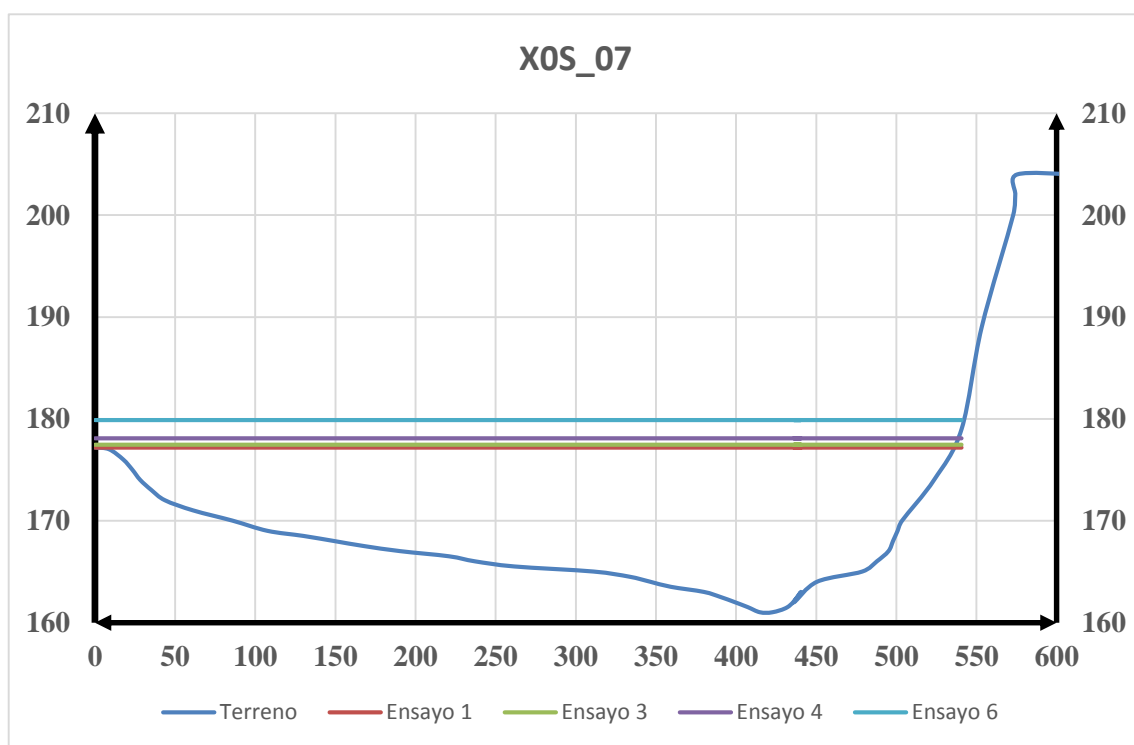


Figura D.8: Tirantes Promedios para la Sección 07 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

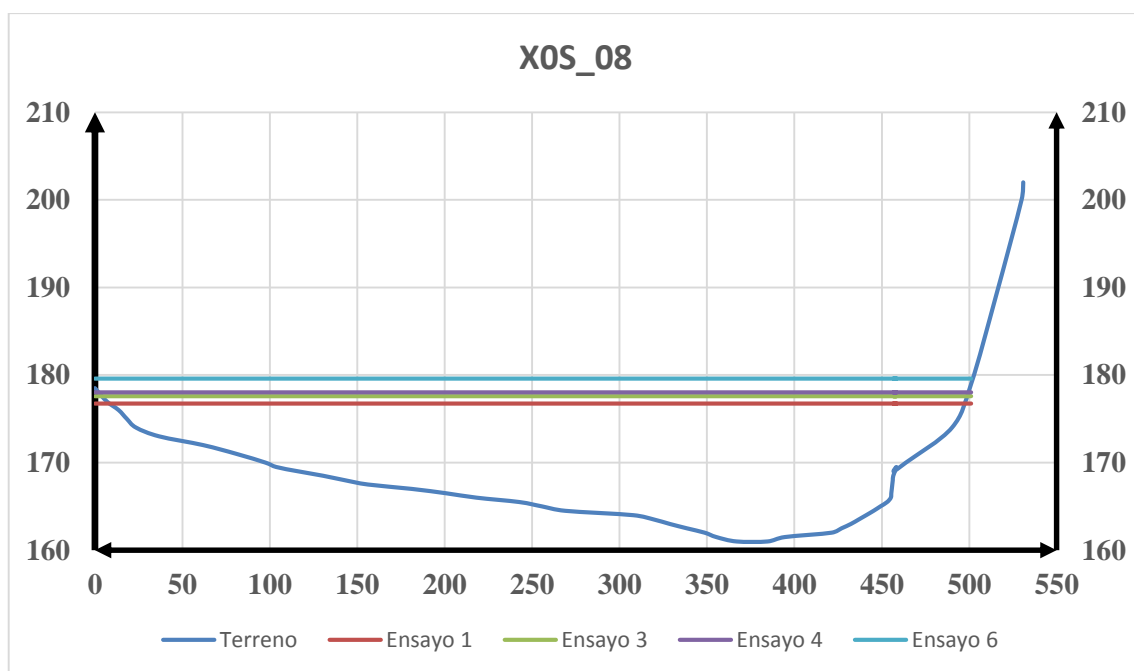


Figura D.9: Tirantes Promedios para la Sección 08 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

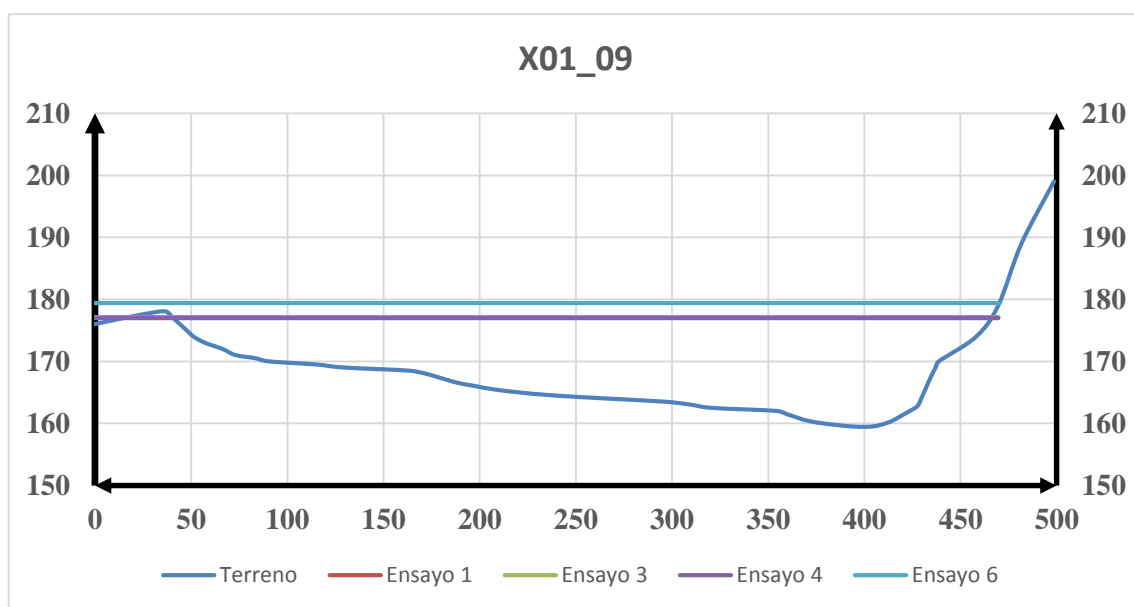


Figura D.10: Tirantes Promedios para la Sección 09 de cada Ensayo.
Fuente: Elaboración Propia.

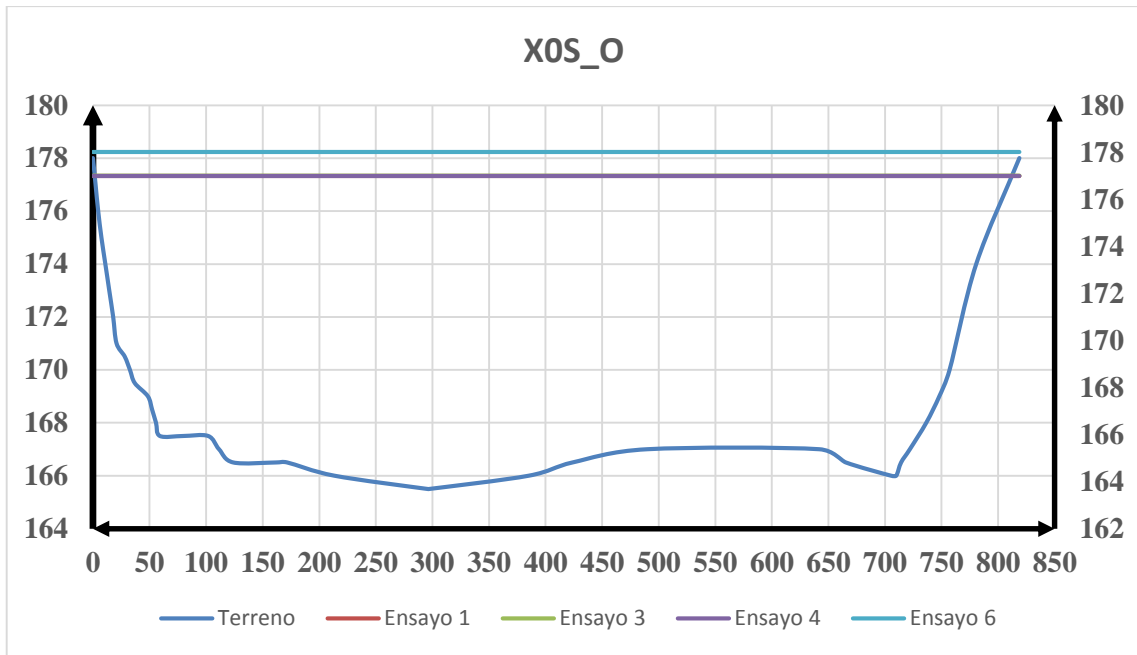


Figura D.11: Tirantes Promedios para la Sección de Salida de cada Ensayo.
 Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 10: COMPARACIÓN DE BATIMETRIA

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_I

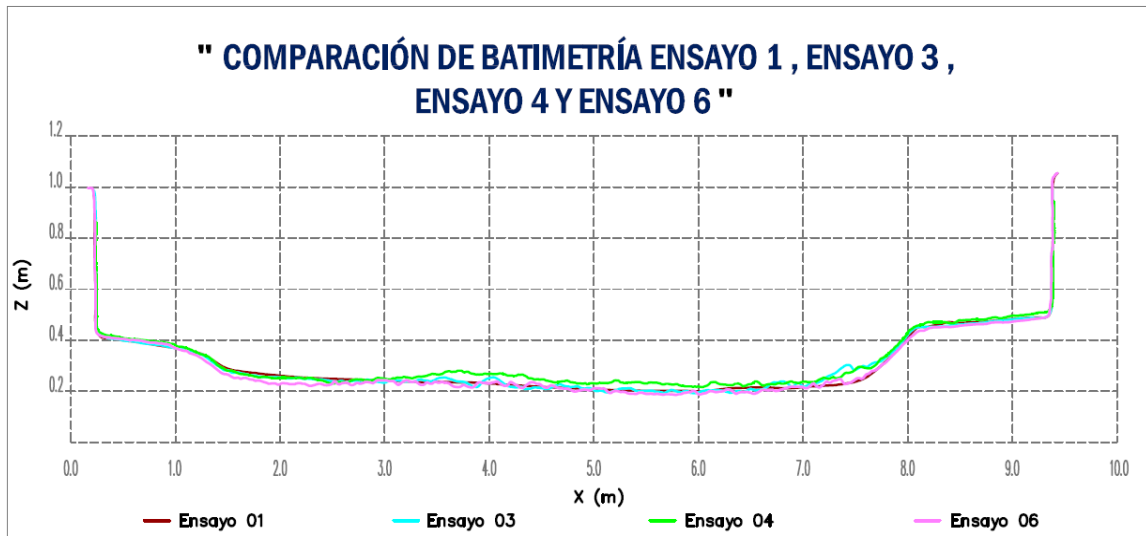


Figura E.1: Variación del lecho en cada ensayo en la sección de entrada.

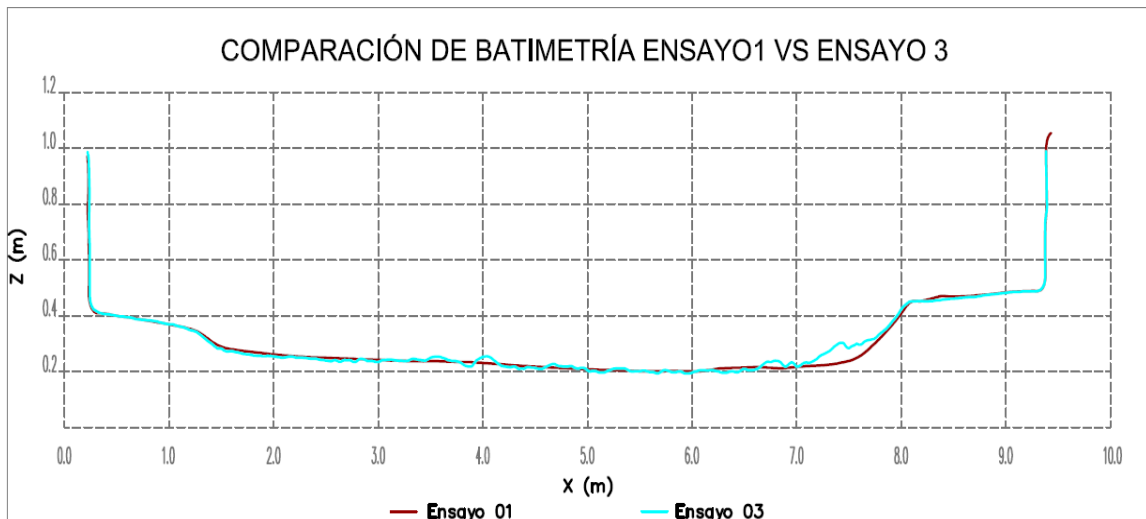


Figura E.2: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección de entrada.

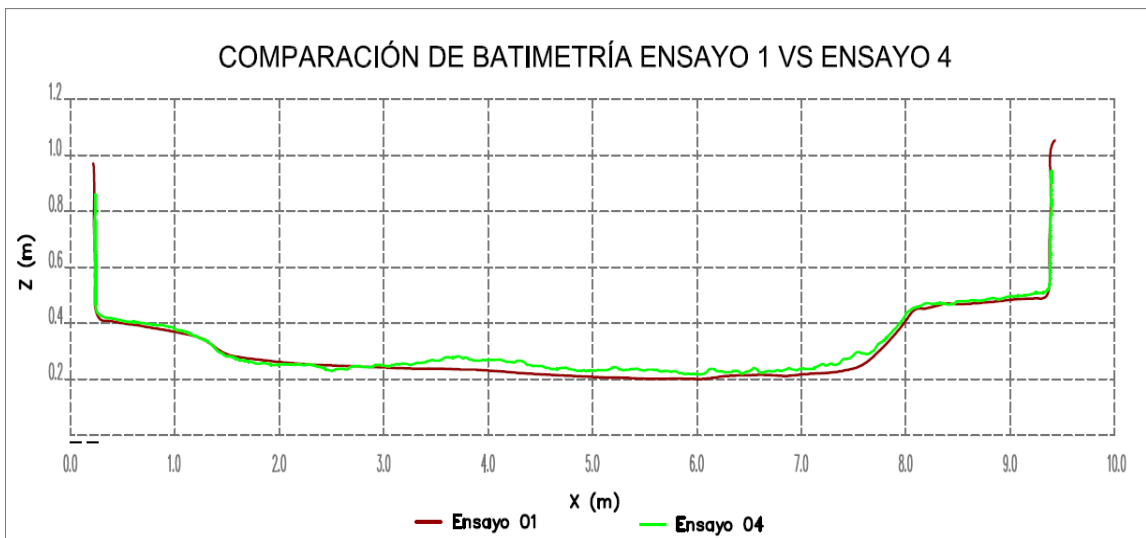


Figura E.3: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección de entrada.

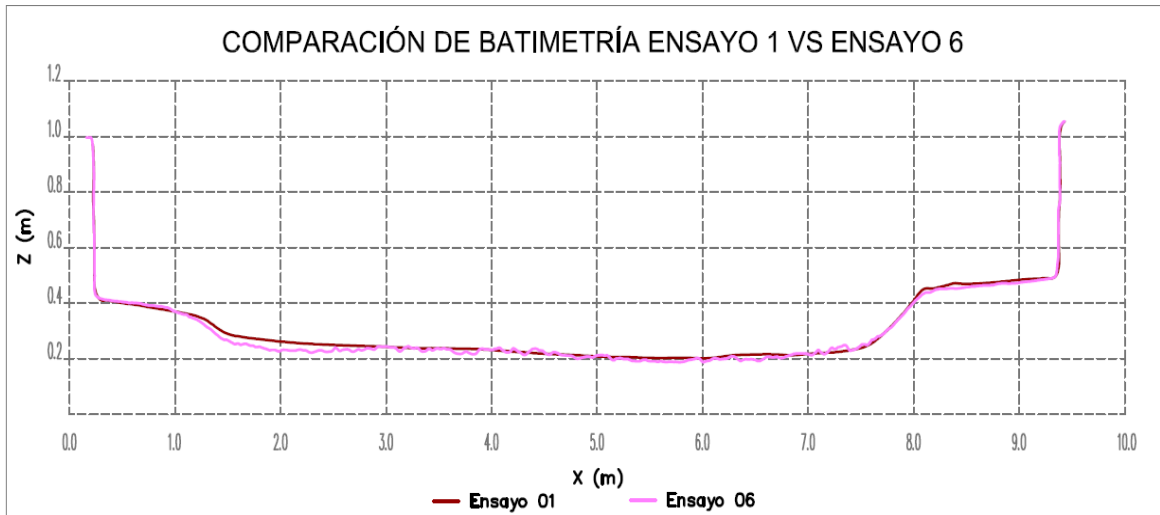


Figura E.4: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección de entrada.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_01

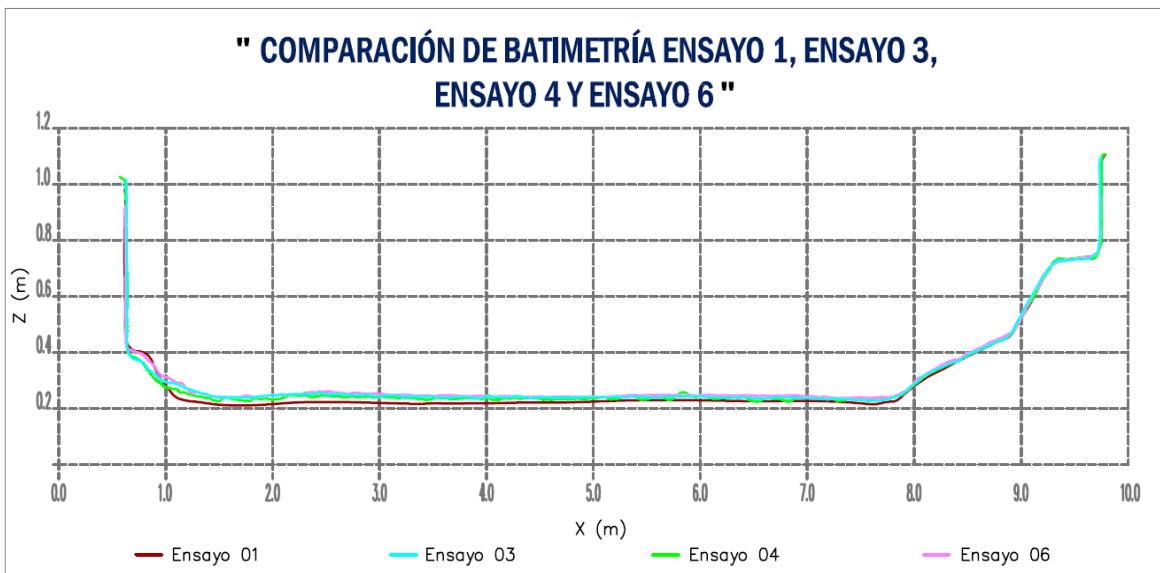


Figura E.5: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 01.

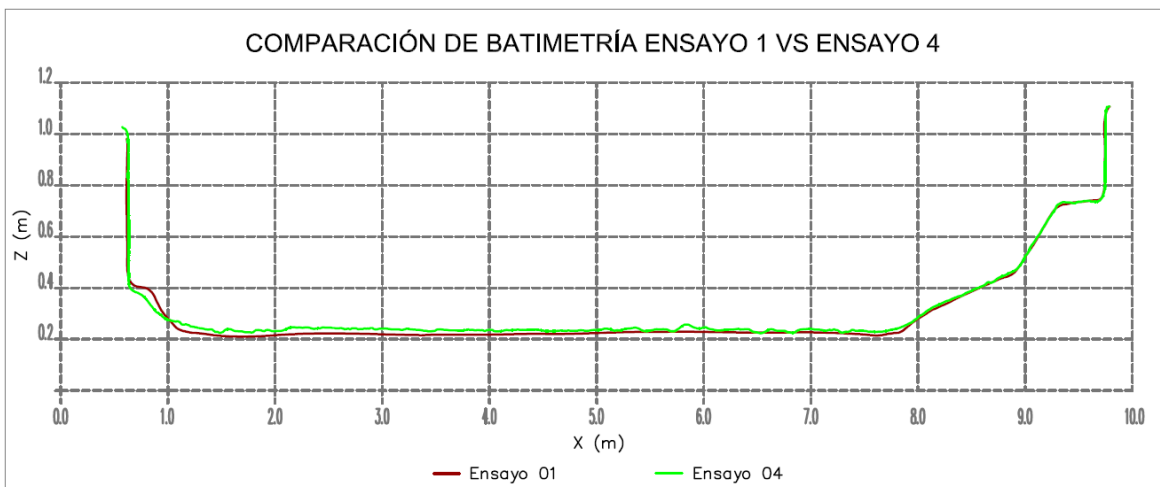


Figura E.7: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 01.

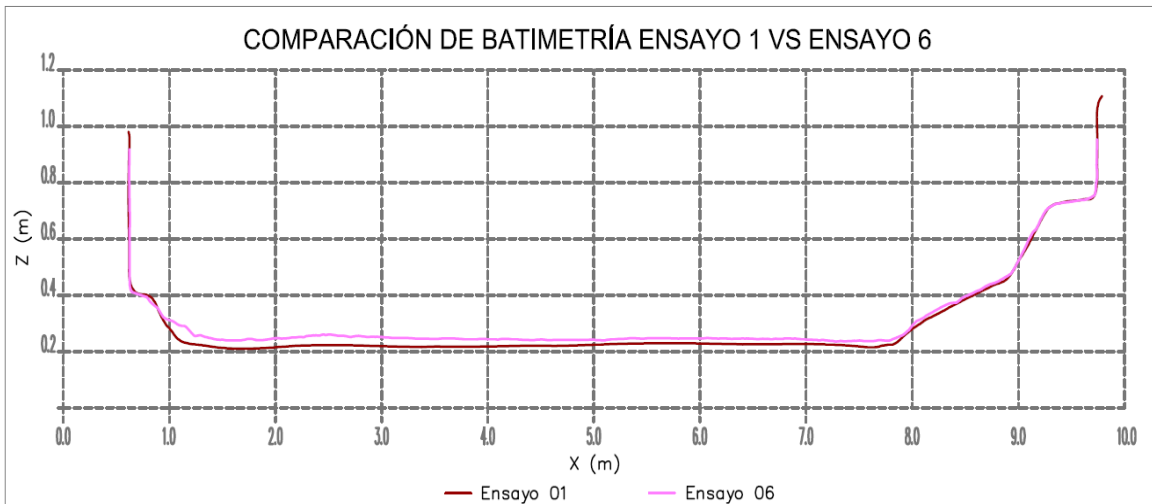


Figura E.8: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 01.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_02

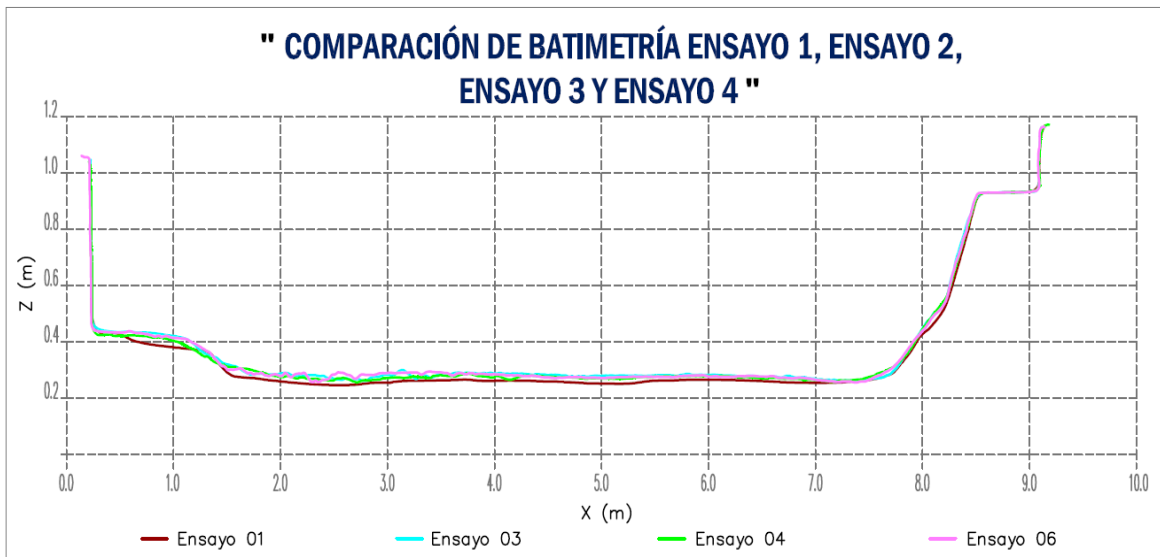


Figura E.9: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 02.

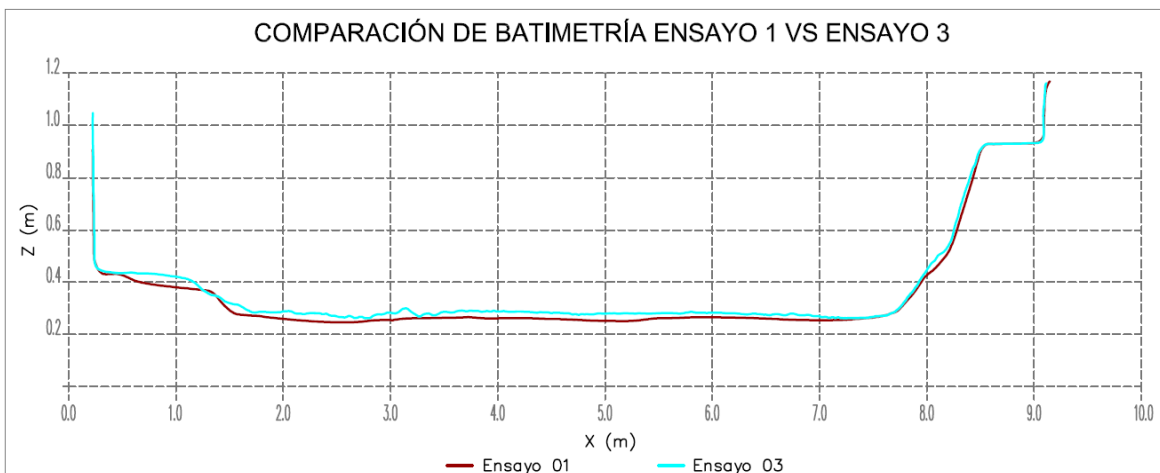


Figura E.10: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 02.

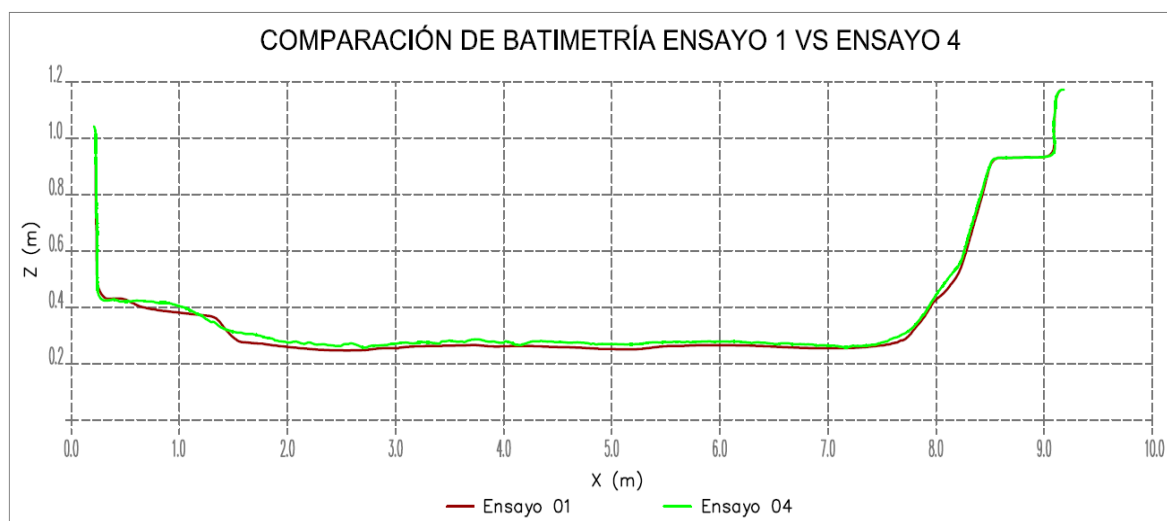


Figura E.11: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 02.

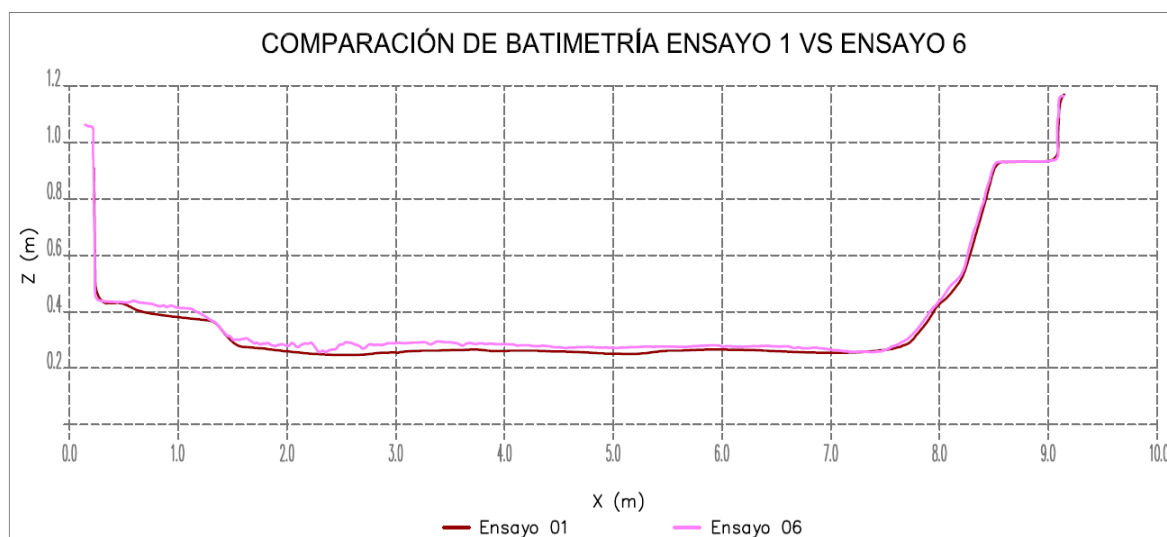


Figura E.12: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 02.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_03

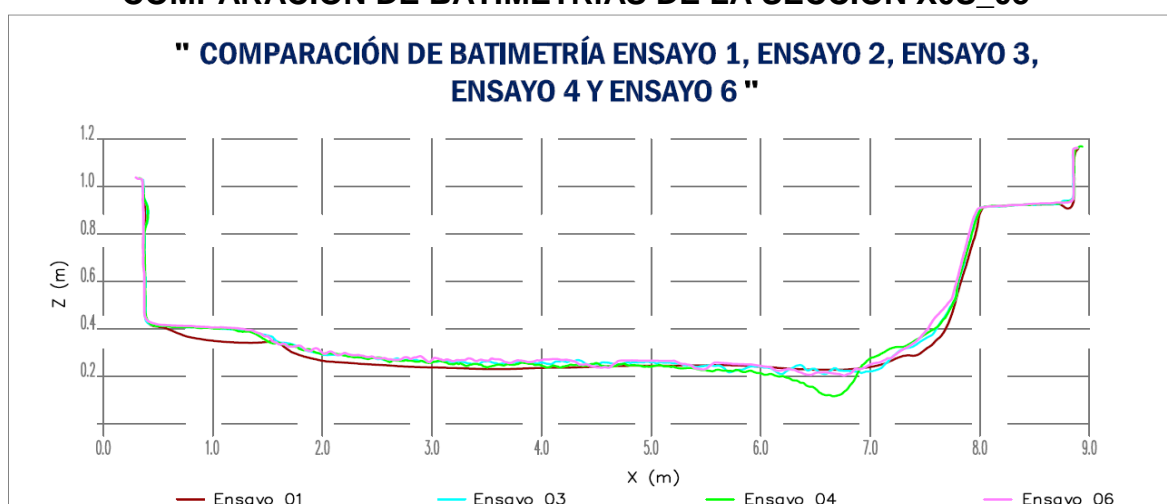


Figura E.13: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 03.

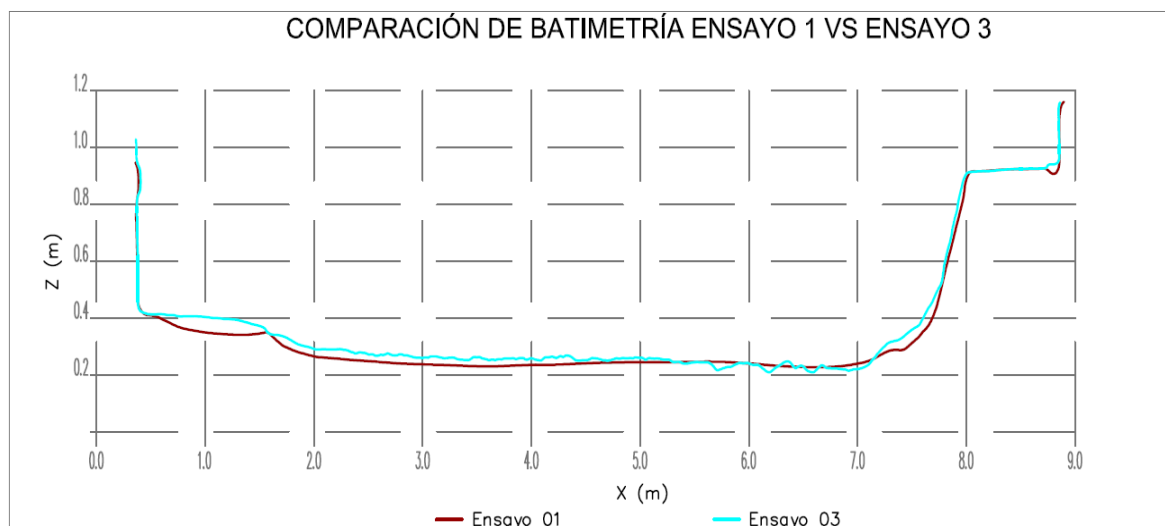


Figura E.14: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 03.

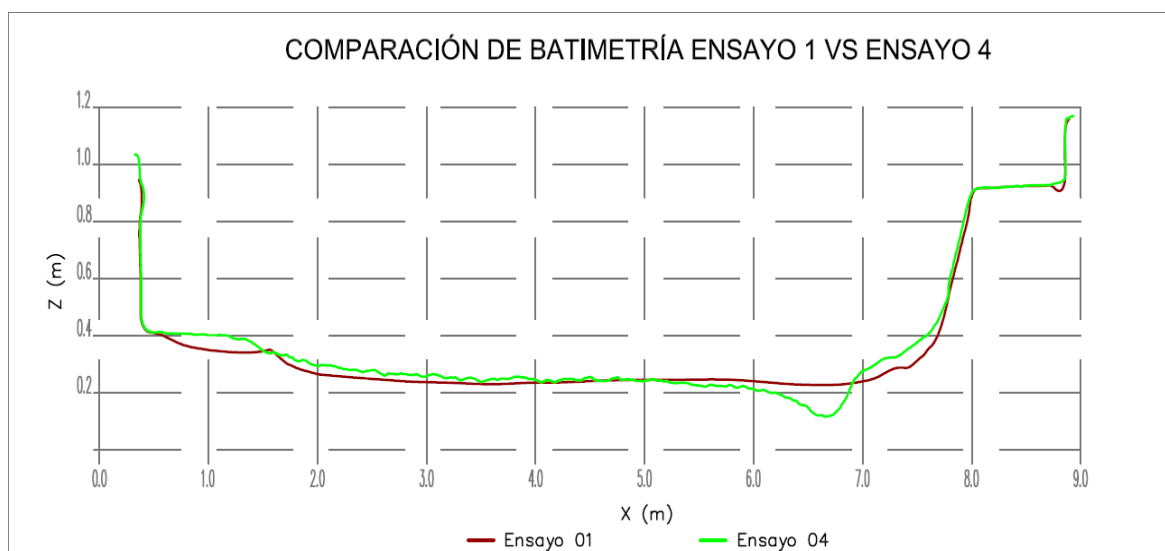


Figura E.15: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 03.

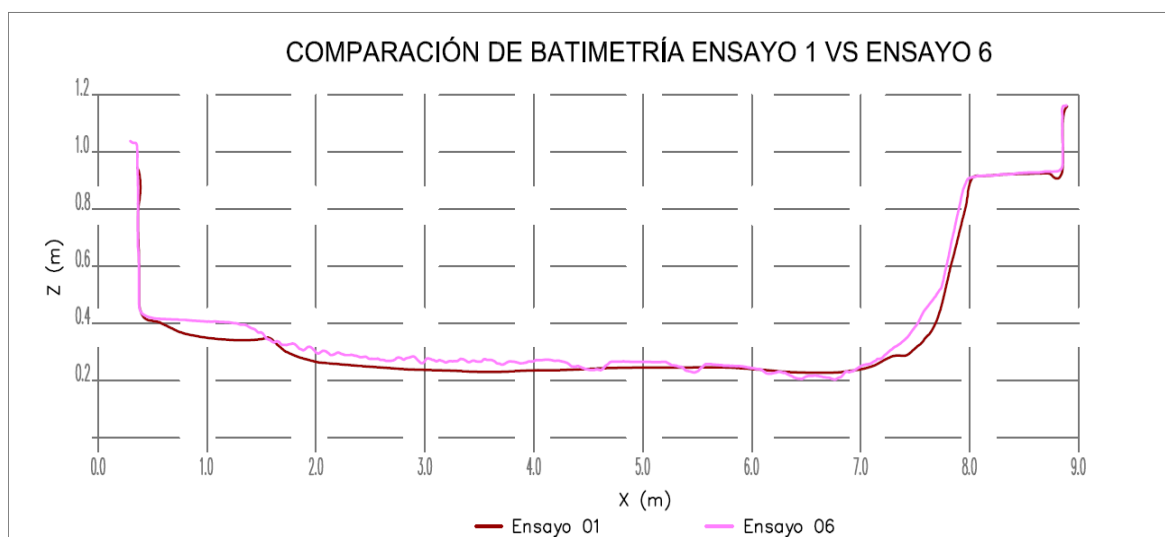


Figura E.16: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 03.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_04

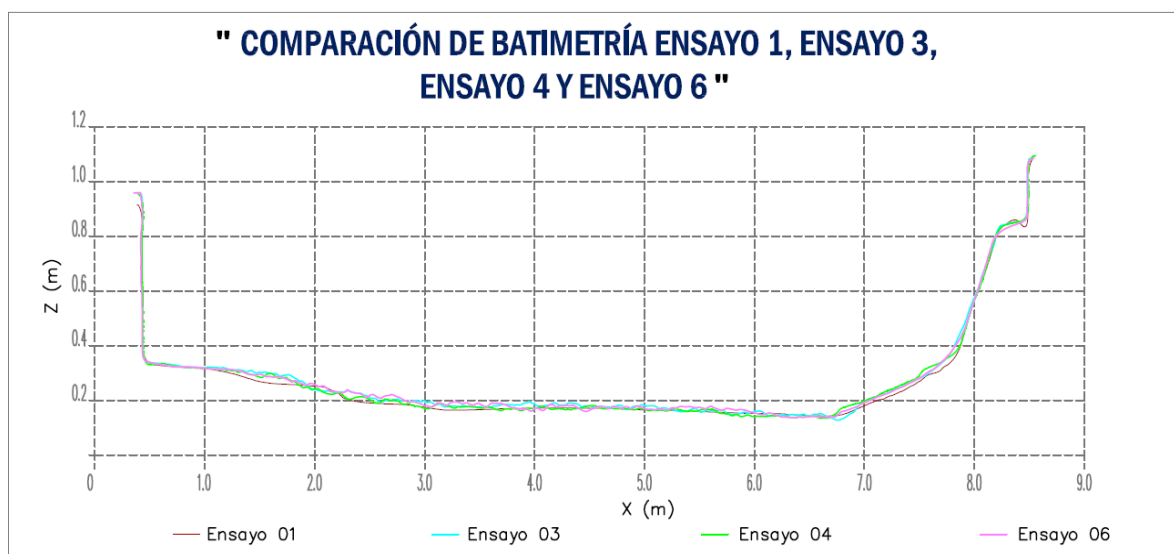


Figura E.17: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 04.

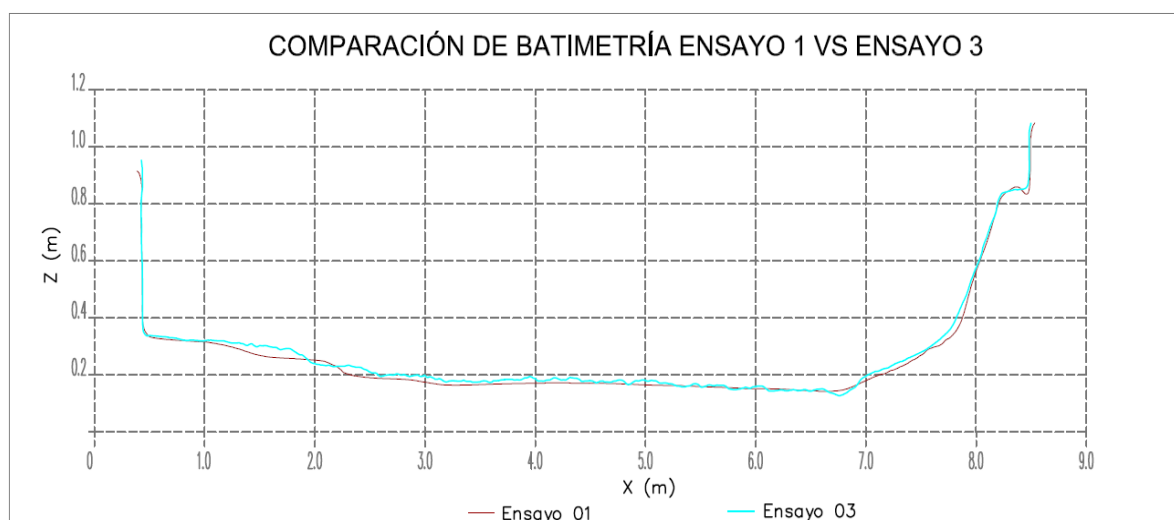


Figura E.18: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 04.

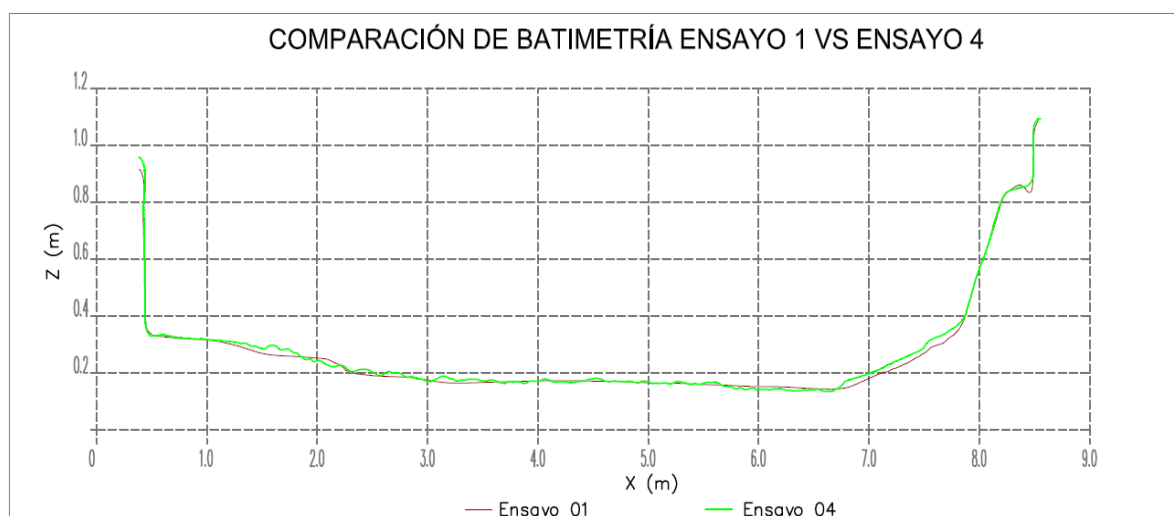


Figura E.19: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 04.

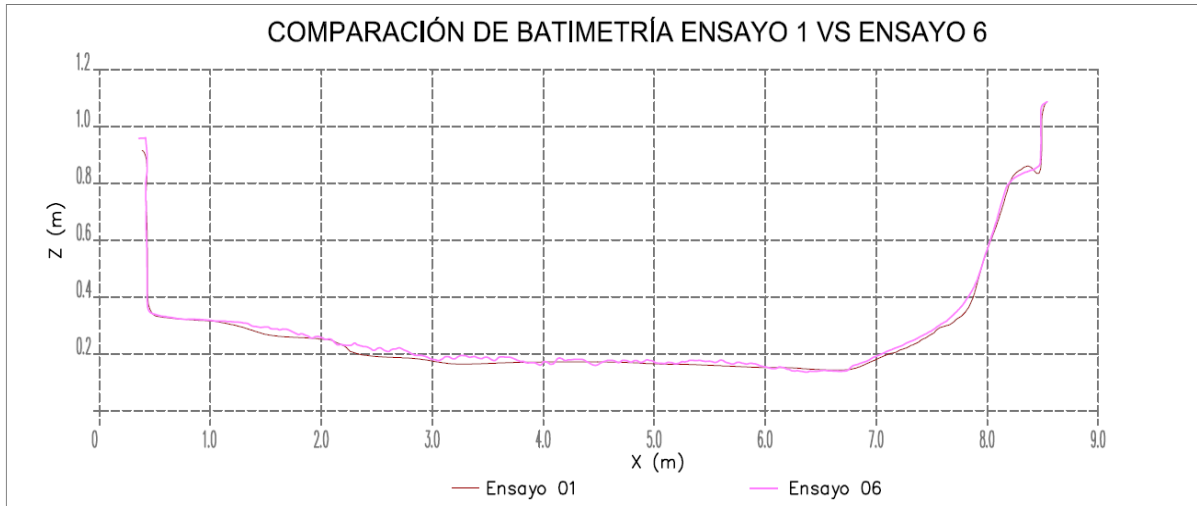


Figura E.20: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 04.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_05

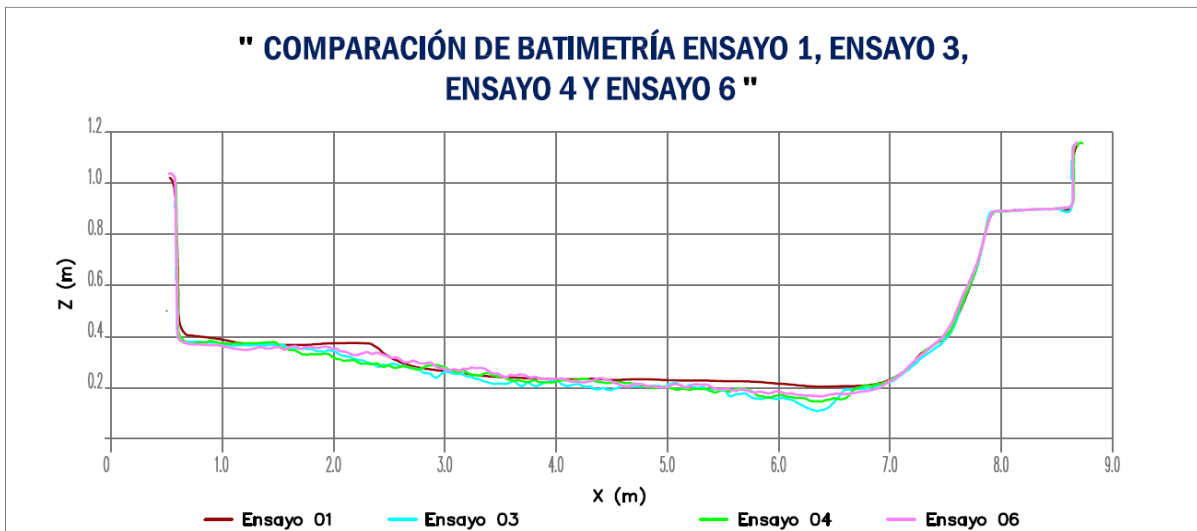


Figura E.21: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 05.

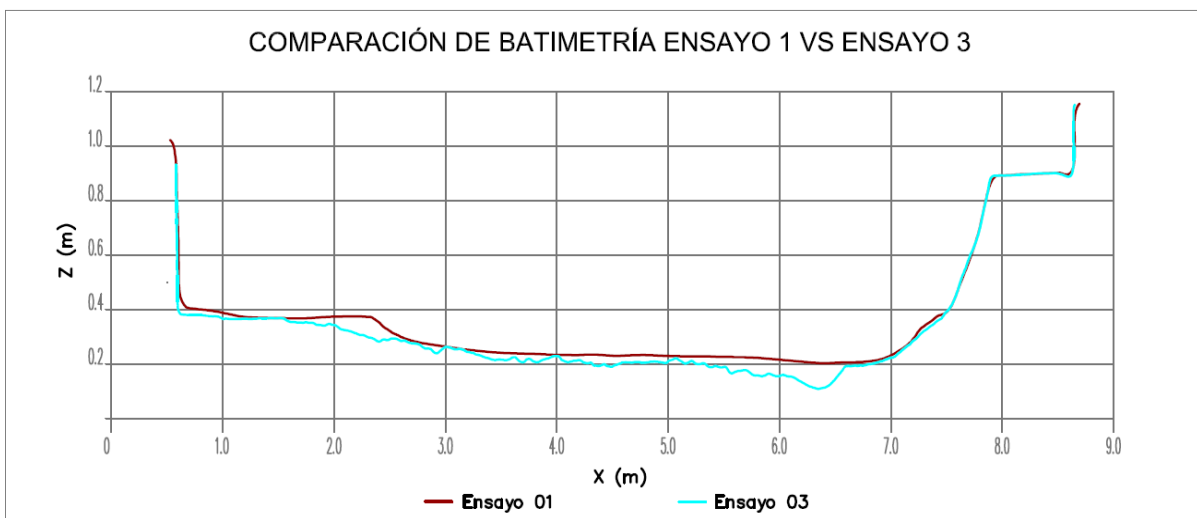


Figura E.22: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 05.

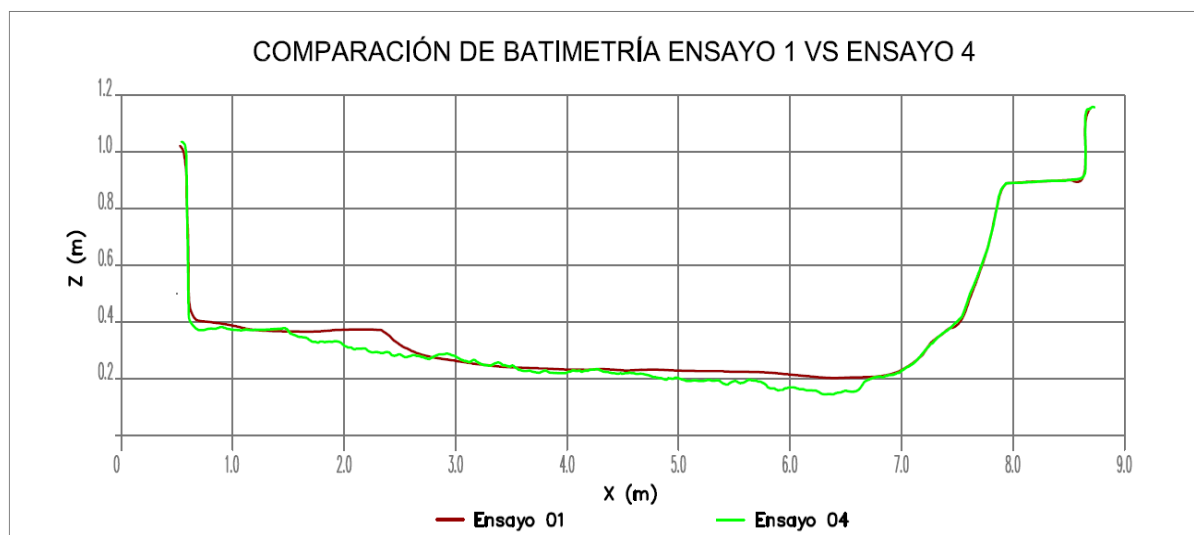


Figura E.23: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 05.

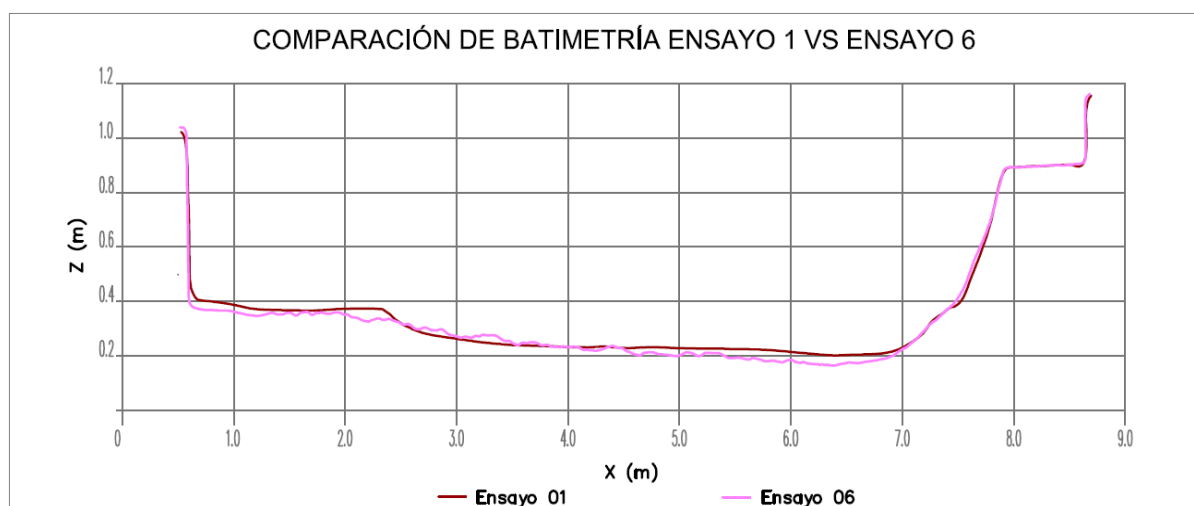


Figura E.24: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 05.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_06

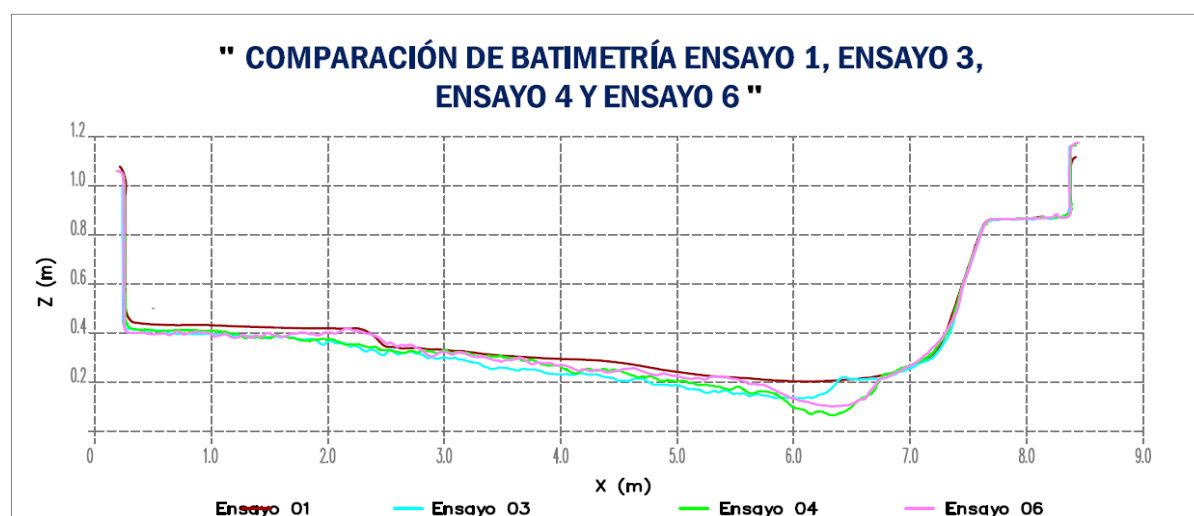


Figura E.25: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 06.

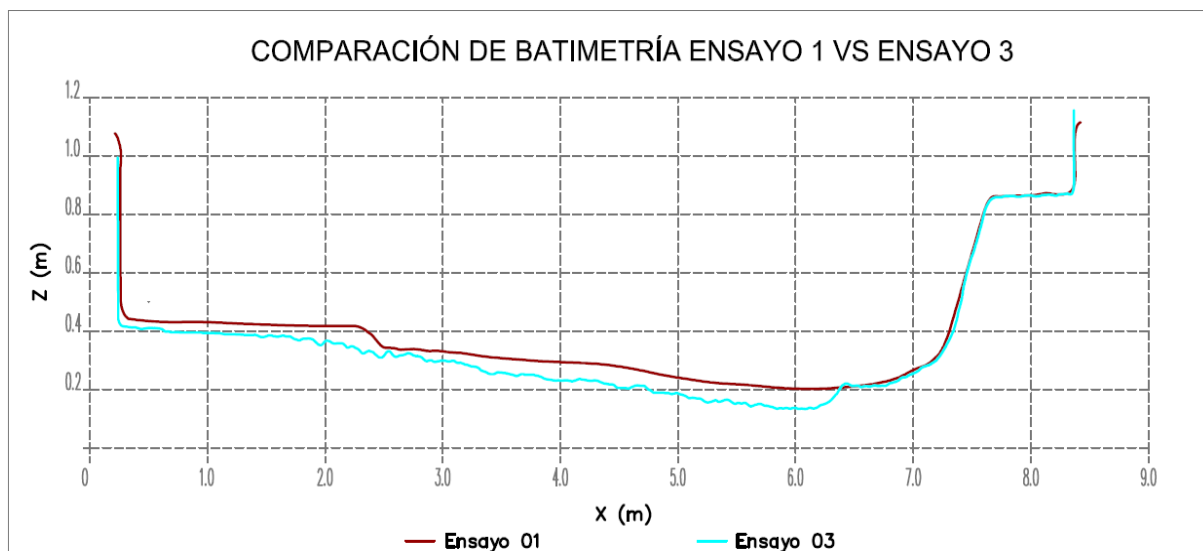


Figura E.26: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 06.

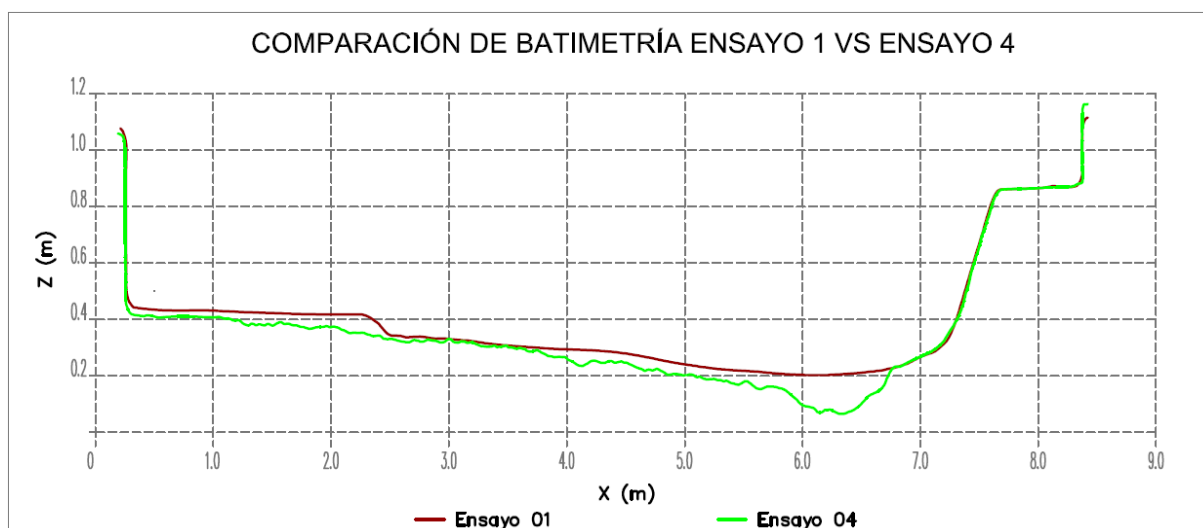


Figura E.27: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 06.

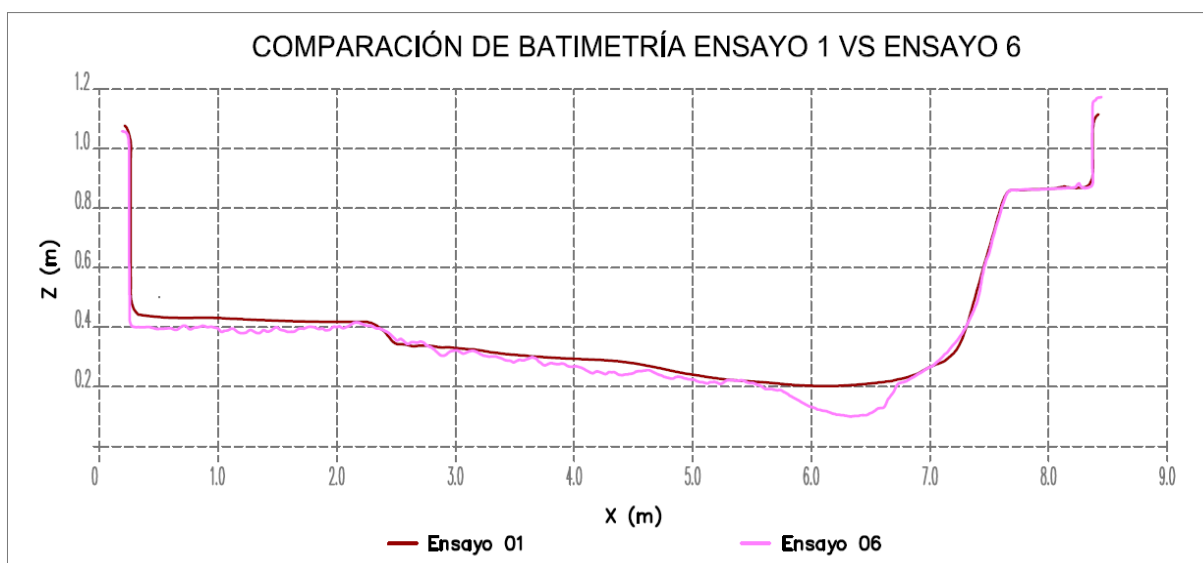


Figura E.28: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 06.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_07

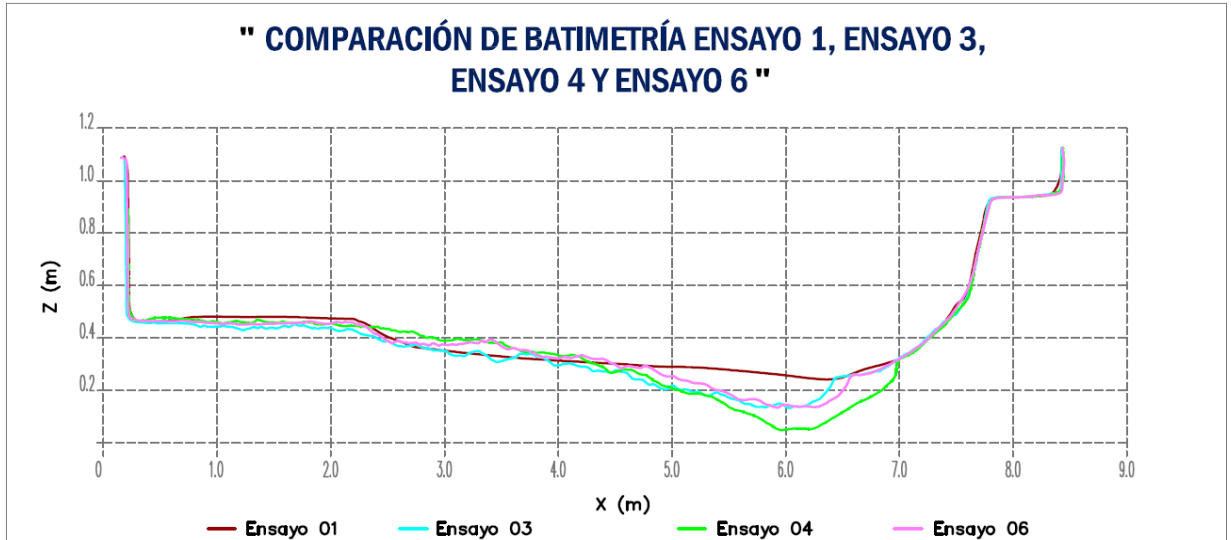


Figura E.29: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 07.

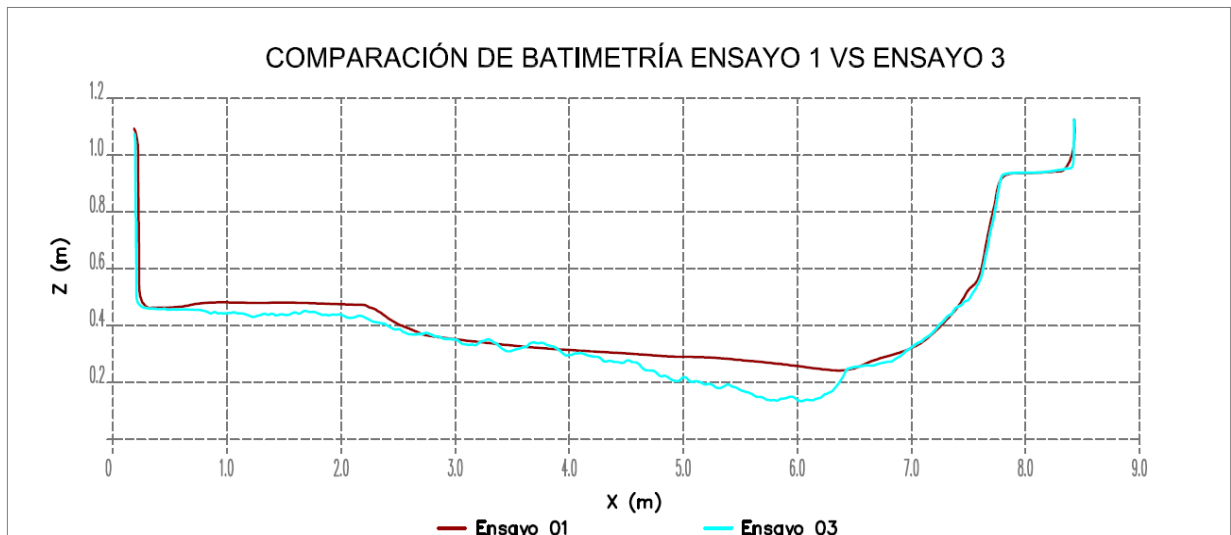


Figura E.30: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 07.

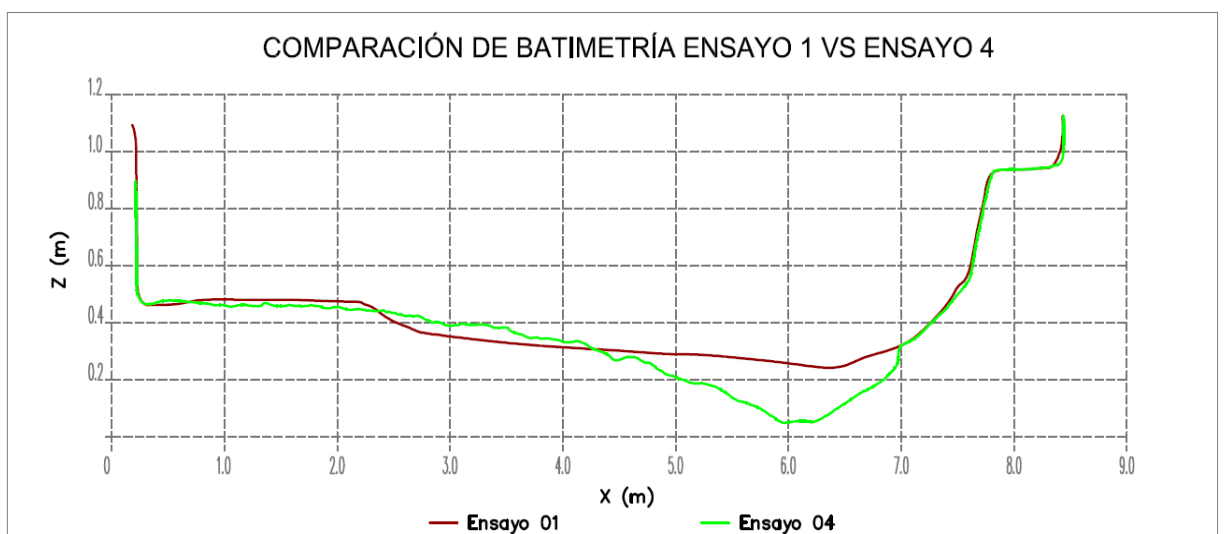


Figura E.31: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 07.

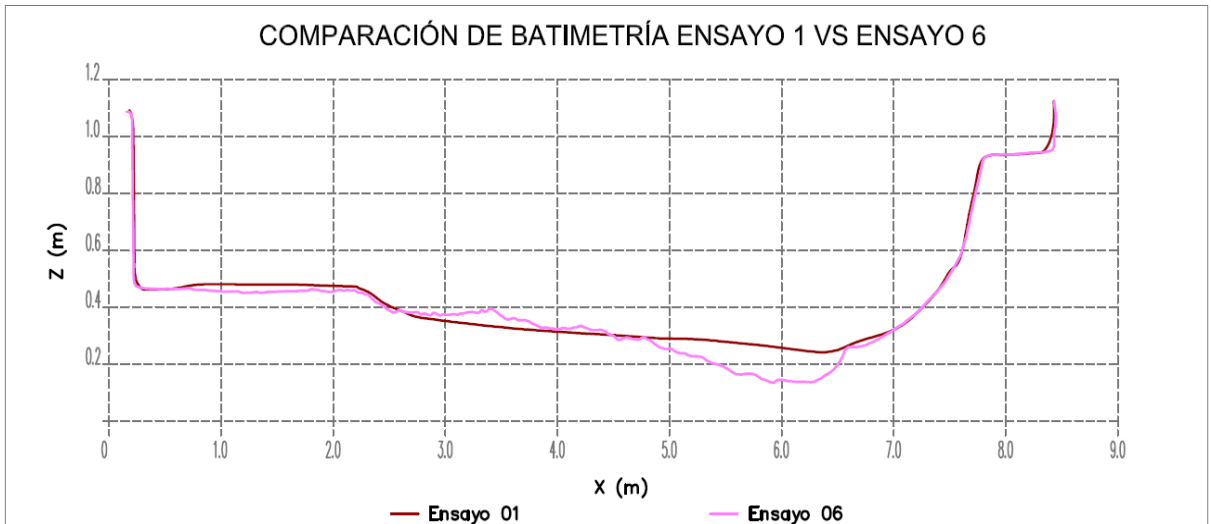


Figura E.32: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 07.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_08

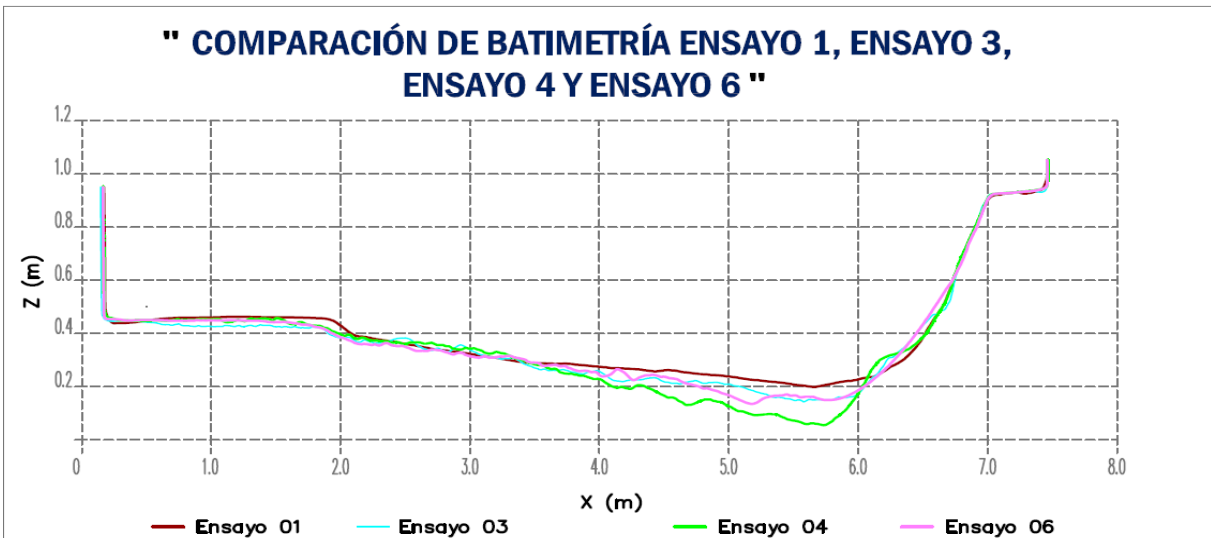


Figura E.33: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 08.

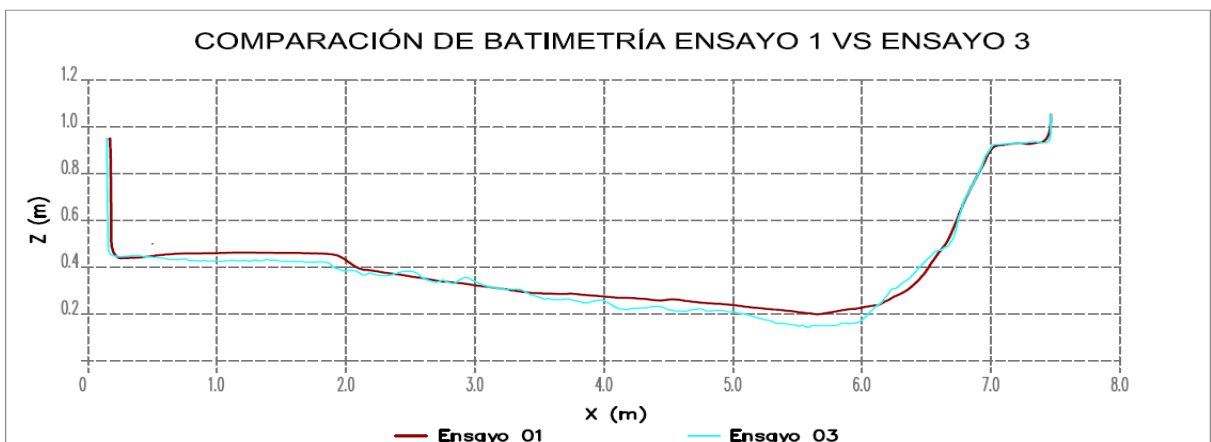


Figura E.34: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 08.

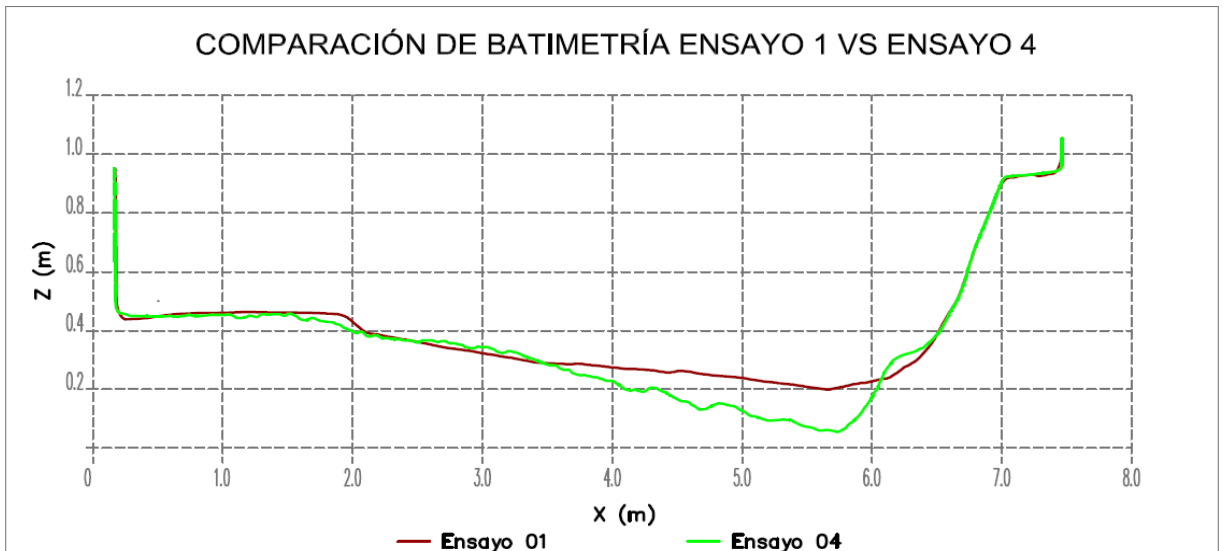


Figura E.35: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 08.

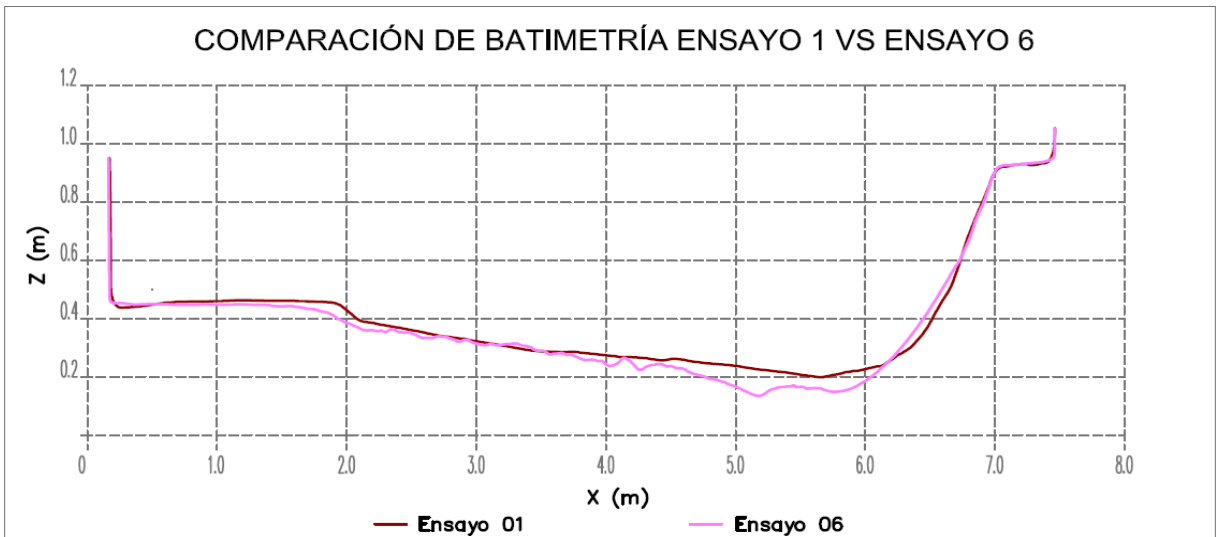


Figura E.36: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 08.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_09

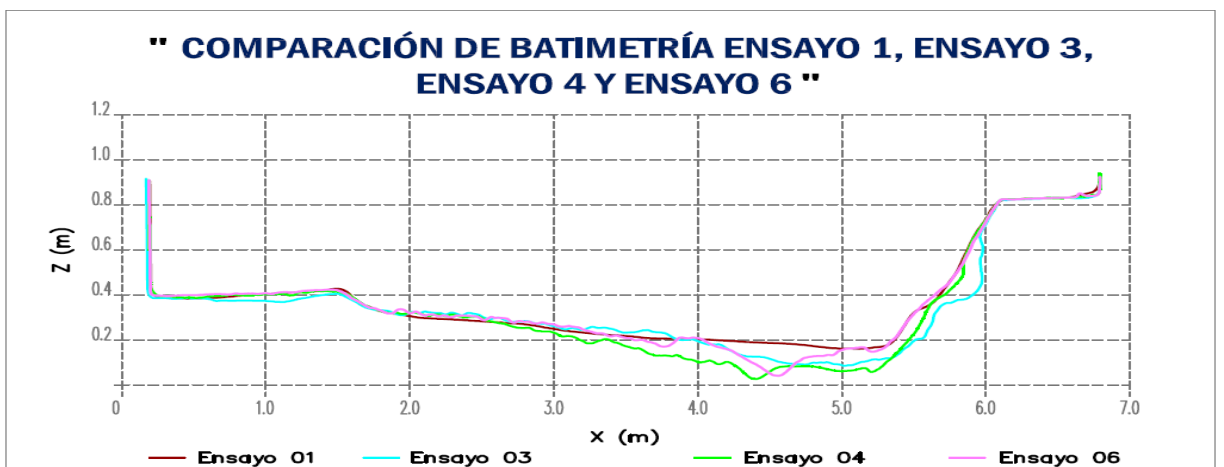


Figura E.37: Variación del lecho en cada ensayo en la sección 09.

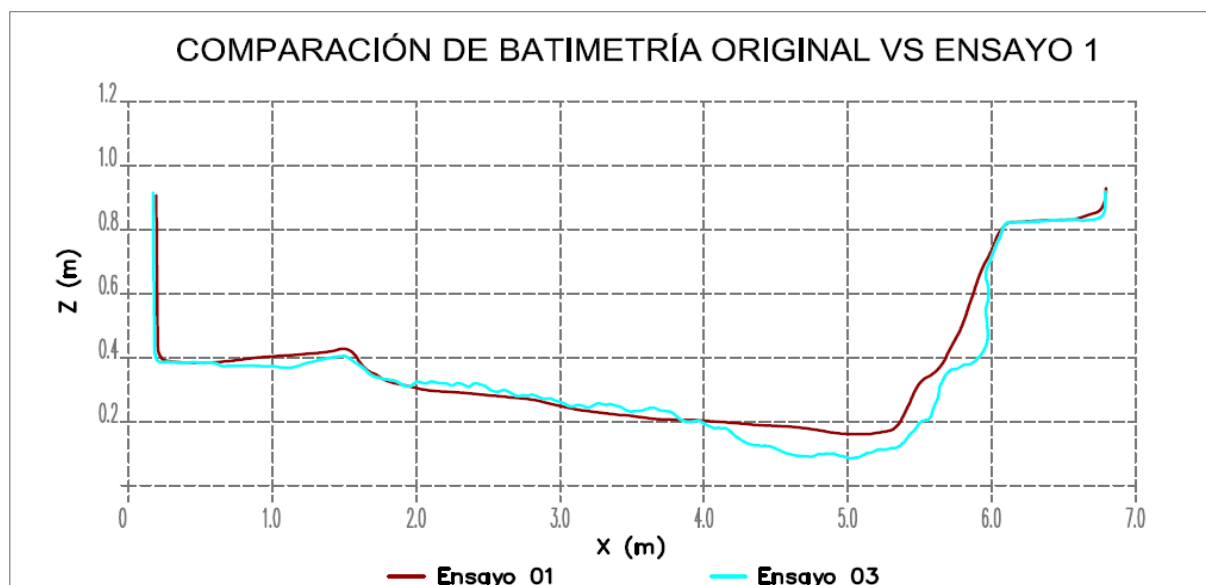


Figura E.38: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección 09.

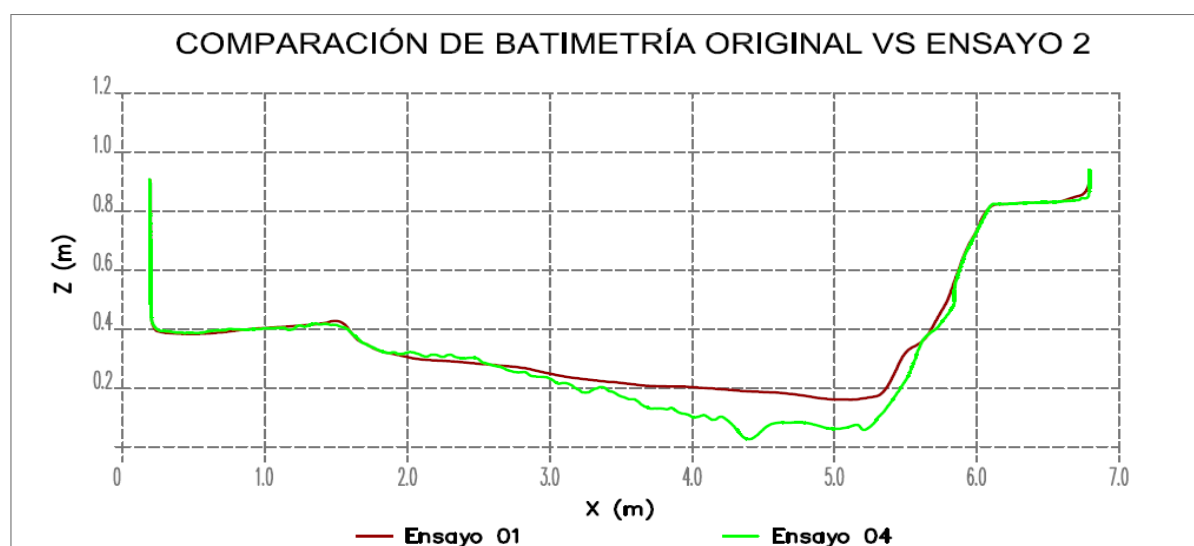


Figura E.39: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección 09.

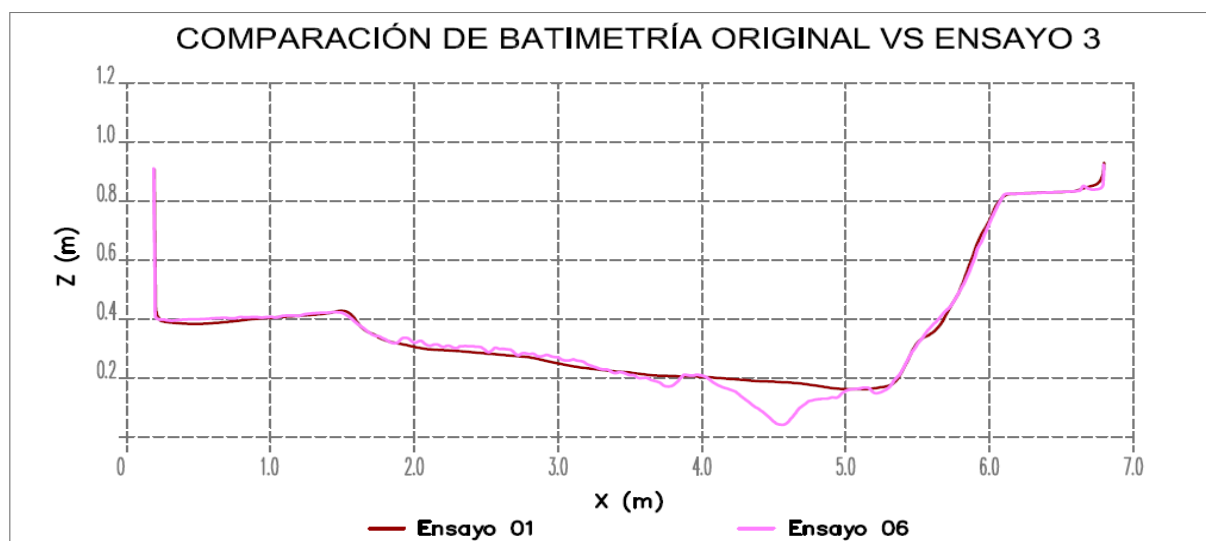


Figura E.40: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección 09.

COMPARACIÓN DE BATIMETRÍAS DE LA SECCIÓN X0S_0

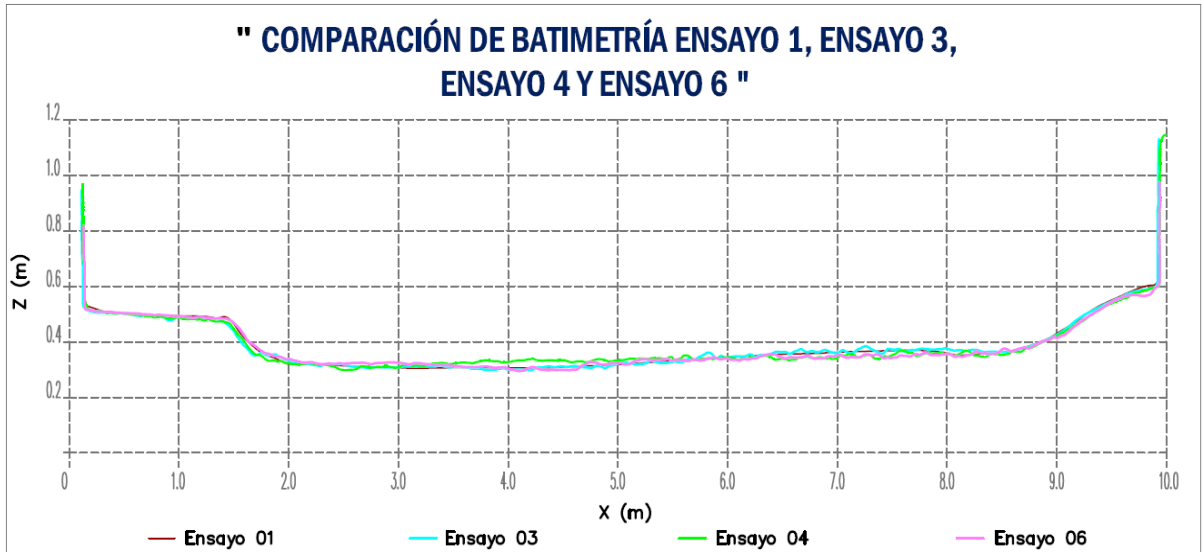


Figura E.41: Variación del lecho en cada ensayo en la sección de salida.

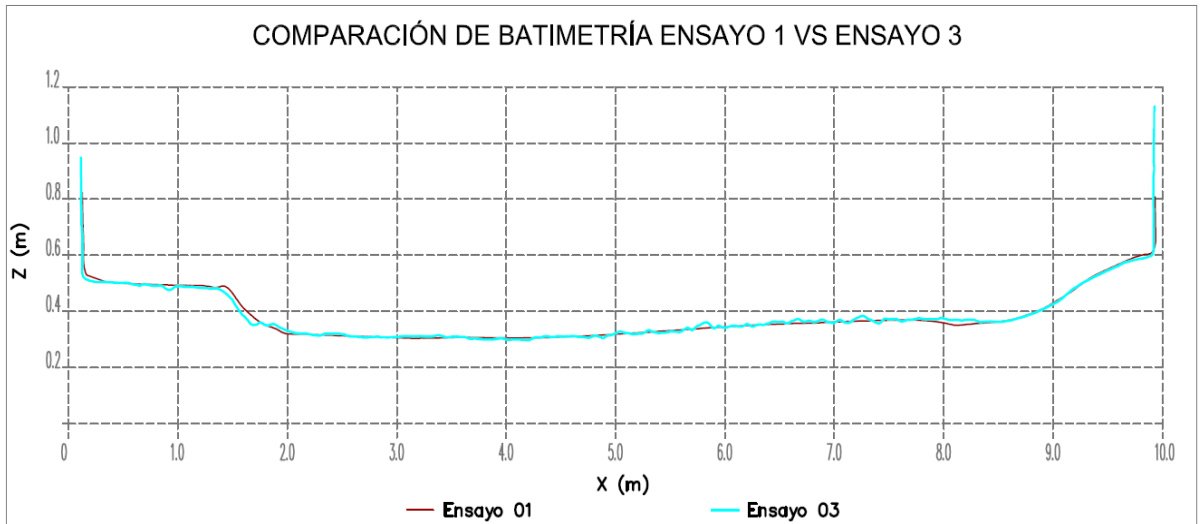


Figura E.42: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 3 en la sección de salida.

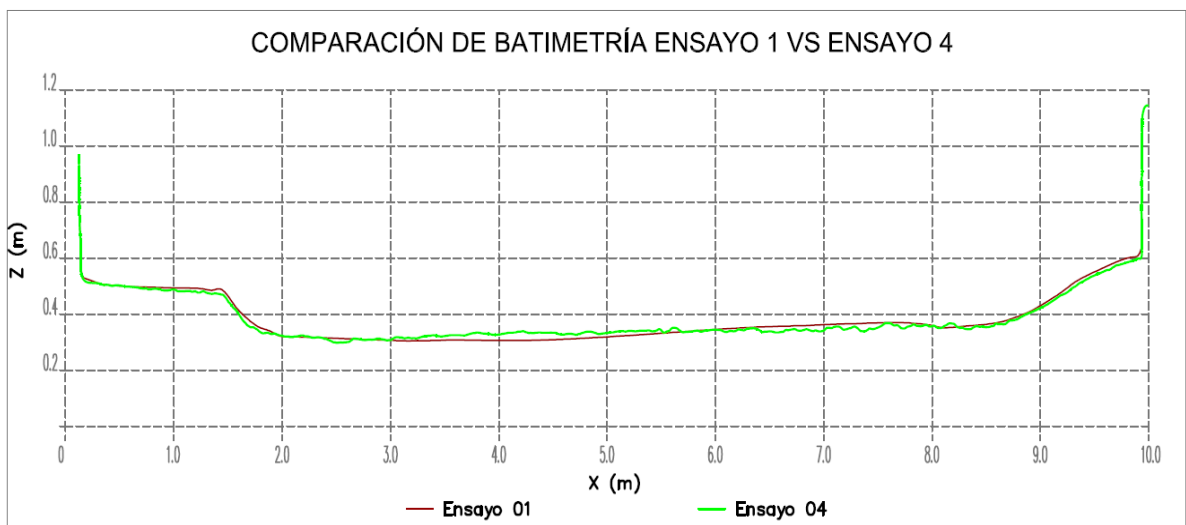


Figura E.43: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 4 en la sección de salida.

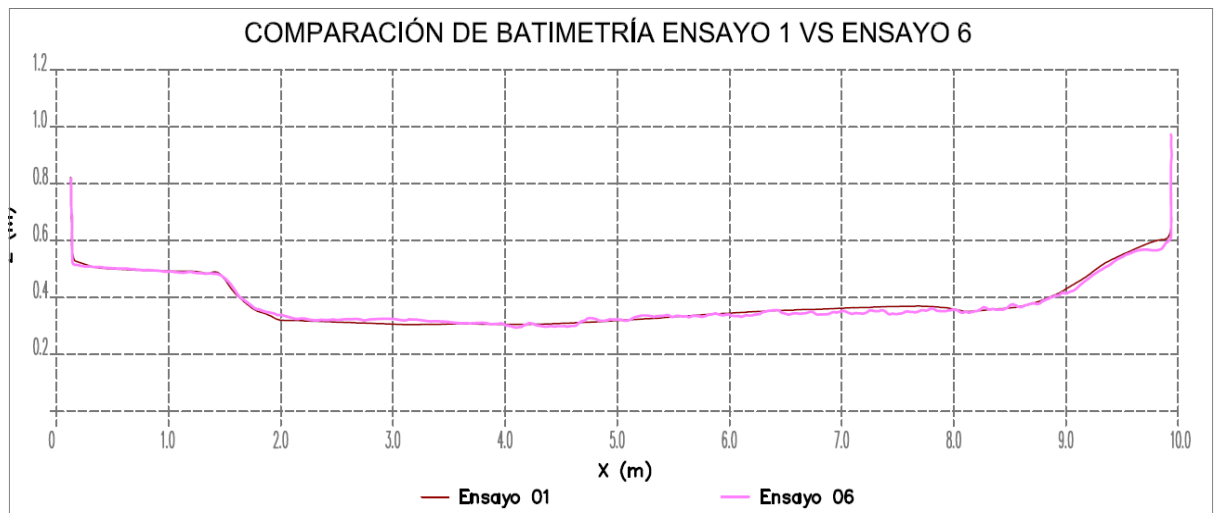


Figura E.44: Variación del lecho entre el Ensayo 1 vs Ensayo 6 en la sección de salida.

ANEXO 11: PLANOS