

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SANITARIAS



**ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LEVANTAMIENTOS
BATIMÉTRICOS POR LOS MÉTODOS ECOSONDA Y
PERFILADOR ACÚSTICO DOPPLER DE CORRIENTE**

Aplicación práctica: Presa La Hondura - Provincia Méndez -

Departamento de Tarija

Por:

WILMA VERÓNICA CARRAZANA GALLARDO

Semestre I - Gestión 2019

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A: Dios por ser fuente de inspiración en el proceso de mi formación profesional.

A: mi señora madre Wilma Gallardo por su amor, apoyo incondicional, su inagotable esfuerzo y sacrificio en pos de mi formación personal y profesional.

A: mi señor padre Tito Carrazana por la motivación y apoyo brindado en mi vida personal y en todo el transcurso del presente trabajo.

A: mi hermana Mitzi por estar siempre a mi lado en los momentos buenos y difíciles de mi vida.

A: mi abuela Victoria Llanos por ser el pilar de la familia y ser un gran ejemplo de sabiduría, fortaleza y perseverancia.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	
	Página
CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Generalidades.....	12
1.2. Planteamiento del problema.....	13
1.3. Justificación.....	14
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
1.5. Alcance.....	15
CAPÍTULO II.- MARCO REFERENCIAL	17
2.1. Marco histórico	17
2.2. Marco teórico	18
2.2.1. Sedimentos	18
2.2.1.1. Sedimentación en embalses.....	19
2.2.1.2. Efectos de la sedimentación en embalses.....	20
2.2.1.3. Control de la Sedimentación.....	21
2.2.2. Batimetría.....	22
2.2.2.1. Uso de la información topo-batimétrica.....	23
2.2.2.2. Estudios de sedimentación de embalses.....	23
2.2.3. Métodos para levantamientos batimétricos.....	24
2.2.3.1. Métodos de posicionamiento planimétrico (x, y).....	25
2.2.3.2. Métodos de posicionamiento altimétrico (z).....	26
2.2.4. Método de perfilador acústico Doppler de corriente (ADCP)	27
2.2.4.1. Principios de operación.....	28
2.2.4.2. RiverPro ADCP.....	29
2.2.4.3. RiverPro incorporado a “Q-Boat”.....	33

2.2.4.4. Software WinRiver II para mediciones con “Q-Boat”.....	35
2.2.5. Método de sondadores acústicos para levantamientos batimétricos	36
2.2.5.1. Principio de ecosonda.	36
2.2.5.2. Ecosonda Monohaz CV 100.....	38
2.2.5.3. Ecosonda Monohaz CV 100 incorporado a “Z-Boat”	40
2.2.5.4. Software Hypack para mediciones con “Z-Boat”.	42
2.2.6. Capacidad de los instrumentos de medición	43
2.2.6.1. Precisión.....	44
2.2.6.2. Exactitud	44
2.3. Marco conceptual.....	44
CAPÍTULO III.- MARCO METODOLÓGICO	47
3.1. Instrumentos de investigación.....	47
3.2. Descripción del desarrollo del proyecto.....	48
3.2.1. Metodología para un levantamiento batimétrico con Q-Boat ADCP	48
3.2.1.1. Pre - proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.....	49
3.2.1.2. Proceso: Recolección de datos.	50
3.2.1.3. Post - proceso: Procesamiento de datos.	65
3.2.2. Metodología para levantamiento batimétrico con Z-boat	74
3.2.2.1. Pre – proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.	75
3.2.2.2. Proceso: Recolección de datos.	86
3.2.2.3. Post – Proceso: Procesamiento de datos.	91
CAPÍTULO IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	100
4.1. Descripción del sitio de investigación.....	100
4.1.1. Ubicación	100
4.1.2. Antecedentes de la presa	102
4.2. Desarrollo del levantamiento batimétrico con Q-Boat ADCP.....	106
4.2.1. Pre – proceso: Planificación del levantamiento batimétrico	106
4.2.2. Proceso: Recolección de datos.	108
4.2.3. Post - Proceso: Procesamiento de datos	112
4.3. Desarrollo del levantamiento batimétrico con Z-Boat.....	128

4.3.1. Pre proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.	128
4.3.2. Proceso: Recolección de datos.	132
4.3.3. Post – Proceso: Procesamiento de datos.	138
4.4. Resumen de los resultados obtenidos.....	148
4.4.1. Resultados obtenidos con la aplicación de los Softwares	148
4.4.2. Resultados de volúmenes de almacenamiento y sedimentación.	148
4.5. Análisis e interpretación de resultados.....	149
4.5.1. Comparación técnica.	149
4.5.1.1. Características de los equipos.	149
4.5.1.2. Metodología de los equipos.	151
4.5.1.3. Precisión de los equipos.	156
4.5.1.4. Tiempo empleado.....	159
4.5.2. Comparación económica.....	162
4.5.2.1. Depreciación de los equipos.....	162
4.5.2.2. Presupuesto para un levantamiento batimétrico con “Q-Boat”	164
4.5.2.3. Presupuesto para un levantamiento batimétrico con “Z-Boat”	168
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	172
5.1. Conclusiones	172
5.2. Recomendaciones.....	175
BIBLIOGRAFÍA.....	176
ANEXOS	
Anexo A. Descripciones del equipo Q-Boat	
Anexo B. Descripciones del equipo Z-Boat	
Anexo C. Manual de Usuario RiverPro	
Anexo D. Manual de Usuario Q-Boat	
Anexo E. Manual de Usuario ParaniWin	
PLANOS	
PLANO 1. Superficie topográfica de referencia (2009)	
PLANO 2. Superficie subacuática Q-Boat	
PLANO 3. Superficie subacuática Z-Boat	
PLANO 4. Perfiles Q-Boat y Z-Boat	
PLANO 5. Vistas simuladas	

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II.- MARCO REFERENCIAL

Figura 2.1. Entrada y distribución de los sedimentos en el vaso de un embalse.	19
Figura 2.2. Efecto sobre los sedimentos de las variaciones de la lámina de agua.	20
Figura 2.3. Esquema de funcionamiento de ADCP	29
Figura 2.4. Perfil obtenido con WinRiver II	35
Figura 2.5. Longitud Z entre el transductor y el fondo.	36
Figura 2.6. Esquema sobre el funcionamiento de una ecosonda.....	37
Figura 2.7. Sondador Monohaz.....	38
Figura 2.8. Sondador Multihaz.....	38
Figura 2.9. Software hidrométrico Hypack.....	43

CAPÍTULO III.- MARCO METODOLÓGICO

Figura 3.1. Pantalla principal de WinRiver II.	55
Figura 3.2. Ubicación de pestañas e íconos.	56
Figura 3.3. Ubicación de ventanas predeterminadas.....	56
Figura 3.4. Procedimiento de configuración.	57
Figura 3.5. Diálogo de configuración de periféricos.....	57
Figura 3.6. Selección del puerto COM.....	58
Figura 3.7. Banner de RiverPro.....	58
Figura 3.8. Nueva medición.....	59
Figura 3.9. Ventana de Diálogo de configuración, información del sitio.	59
Figura 3.10. Ventana de Información de evaluación.	60
Figura 3.11. Diálogo de configuración.	61
Figura 3.12. Ventana de control de medición preparada para iniciar el pingeo.....	61
Figura 3.13. Procedimiento para ejecutar prueba de ADCP.	62
Figura 3.14. Empezar pingeo	64
Figura 3.15. Procedimiento para empezar transecto.	65
Figura 3.16. Procedimiento para abrir una medición.....	66
Figura 3.17. Selección del archivo de medición.	66
Figura 3.18. Reprocesar transectos seleccionados.	67

Figura 3.19. Pantalla de WinRiver II al cargar una medición.....	68
Figura 3.20. Pantallas tabulares de GPS y Velocidad.....	68
Figura 3.21. Selección de Generic ASCII Output.....	69
Figura 3.22. Selección de artículo para la salida ASCII.....	70
Figura 3.23. Selección de formato de salida.....	70
Figura 3.24. Selección de datos de salida.....	71
Figura 3.25. Guardar archivo de plantilla.....	71
Figura 3.26. Salida de datos en Bloc de notas.....	72
Figura 3.27. Salida de coordenadas en Bloc de notas.....	72
Figura 3.28. Pantalla principal de Hypack.....	76
Figura 3.29. Ubicación de pestañas, íconos y características del proyecto.....	76
Figura 3.30. Pantalla para dibujo de líneas de sondeo y herramientas auxiliares.....	77
Figura 3.31. Selección de parámetros geodésicos.....	77
Figura 3.32. Ventana de georreferenciación de la imagen del embalse.....	78
Figura 3.33. Adición de puntos de control terrestre en la imagen a georreferenciar.....	79
Figura 3.34. Selección de editor de borde.....	80
Figura 3.35. Ejemplo de dibujo de borde.....	81
Figura 3.36. Dibujo de líneas planeadas en la ventana de editor de borde.....	82
Figura 3.37. Ventana de Editor de Línea.....	83
Figura 3.38. Datos ingresados para dibujar las líneas.....	84
Figura 3.39. Datos de ingreso para la creación de líneas paralelas.....	85
Figura 3.40. Ícono de configuración de equipos.....	86
Figura 3.41. Dibujo de la embarcación con dimensiones reales.....	87
Figura 3.42. Mensajes que enviará el GPS al controlador de la ecosonda.....	88
Figura 3.43. Configuración para la conexión de la ecosonda.....	88
Figura 3.44. Configuración para la conexión de la ecosonda.....	89
Figura 3.45. Parámetros de navegación para automatizar grabado de línea.....	90
Figura 3.46. Activación de Archivos Brutos.....	92
Figura 3.47. Selección de archivos RAW para editarlos.....	93
Figura 3.48. Ventana principal del Editor Monohaz.....	93
Figura 3.49. Parámetros de lectura.....	95

Figura 3.50. Ventana principal de Editor Monohaz con datos brutos cargados.	95
Figura 3.51. Edición en ventana de levantamiento.	96
Figura 3.52. Aplicación del comando Borrar sobre línea en los picos del perfil.	97
Figura 3.53. Ventana de reducción de datos editados.	98

CAPÍTULO IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura 4.1. Geometría del cuerpo de la presa “La Hondura”.	102
Figura 4.2. Datos recolectados con Q-Boat.	112
Figura 4.3. Selección del primer archivo a editar.	113
Figura 4.4. Ventana de Transectos de la primera medición.	113
Figura 4.5. Reproducción del primer transecto.	114
Figura 4.6. Tabular de velocidad de un ensamble.	115
Figura 4.7. Tabular de GPS de un ensamble.	116
Figura 4.8. Superficie subacuática con Q-Boat.	122
Figura 4.9. Superficie de referencia.	125
Figura 4.10. Ubicación del proyecto en Ítems del proyecto.	128
Figura 4.11. Imagen para georreferenciación cargada.	129
Figura 4.12. Ingreso de primer punto para georreferenciación.	129
Figura 4.13. Imagen de fondo cargada en Hypack.	131
Figura 4.14. Línea de seguridad sobre el embalse.	131
Figura 4.15. Líneas de sondeo.	132
Figura 4.16. Ventanas predeterminadas para levantamiento.	134
Figura 4.17. Ventana gráfica del levantamiento.	135
Figura 4.18. Estado GPS.	136
Figura 4.19. Ventana mostrar datos.	136
Figura 4.20. Recorrido del levantamiento final.	137
Figura 4.21. Archivos obtenidos.	138
Figura 4.22. Datos cargados al editor Monohaz.	138
Figura 4.23. Perfil N° 1 sin editar.	139
Figura 4.24. Perfil N° 1 editado.	139
Figura 4.25. Perfil N° 2 sin editar.	140

Figura 4.26. Perfil N° 2 editado.	140
Figura 4.27. Perfil N° 3 sin editar.	140
Figura 4.28. Perfil N° 3 editado.	141
Figura 4.29. Ventana de reducción.	141
Figura 4.30. Vista de datos reducidos.	142
Figura 4.31. Superficie subacuática con Z-Boat.	145

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II.- MARCO REFERENCIAL

Tabla 2.1. Características del ADCP RiverPro 1200-I	30
Tabla 2.2. Características físicas del Q-Boat.	33
Tabla 2.3. Manejo remoto de Q-Boat.....	34
Tabla 2.4. Rendimiento de Q-Boat 1800.	34
Tabla 2.5. Características de la ecosonda CV 100.	39
Tabla 2.6. Características físicas del Z-Boat.....	41
Tabla 2.7. Manejo remoto de Z-Boat.....	41
Tabla 2.8. Rendimiento de Z-Boat 1800.....	42

CAPÍTULO IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 4.1. Ubicación de la presa “La Hondura”.	101
Tabla 4.2. Niveles característicos de la presa “La Hondura”.....	103
Tabla 4.3. Volúmenes característicos del embalse “La Hondura”.....	103
Tabla 4.4. Parámetros morfométricos de la cuenca Pajchani.....	105
Tabla 4.5. Coordenadas UTM de puntos de control terrestre del embalse.	108
Tabla 4.6. Coordenadas Geodésicas de puntos de control terrestre del embalse.....	108
Tabla 4.7. Resultados de un ensamble.	116
Tabla 4.8. Resultados del transecto N° 1.	117
Tabla 4.9. Puntos para Civil 3D del transecto N° 1.	118
Tabla 4.10. Elevaciones con Q-Boat.....	120
Tabla 4.11. Elevaciones de la superficie de referencia.	123
Tabla 4. 12. Tabla de pesos específicos.	126
Tabla 4. 13. Proyección de volumen de sedimentación en 50 años.....	127
Tabla 4.14. Coordenadas UTM de puntos de control terrestre del embalse.	130
Tabla 4.15. Coordenadas Geodésicas de puntos de control terrestre del embalse....	130
Tabla 4.16. Ejemplo de resultados obtenidos.....	142
Tabla 4.17. Elevaciones con Z-Boat.	144
Tabla 4. 18. Proyección de volumen de sedimentación en 50 años.....	147

Tabla 4.19. Resumen de resultados obtenidos de la aplicación de los Softwares.....	148
Tabla 4.20. Resumen de volúmenes obtenidos.	148
Tabla 4.21. Comparación de características.....	149
Tabla 4.22. Comparación metodológica.	151
Tabla 4.23. Comparación de la precisión.....	156
Tabla 4.24. Comparación del tiempo empleado.....	159
Tabla 4.25. Comparación económica.....	162
Tabla 4.26. Depreciación del equipo Q-Boat.....	162
Tabla 4.27. Depreciación del Z-Boat.	163
Tabla 4.28. Honorarios del personal asignado "Q-Boat".....	164
Tabla 4.29. Detalle de alquileres y misceláneos "Q-Boat".	165
Tabla 4.30. Relación de instalaciones y equipamiento "Q-Boat".....	166
Tabla 4.31. Presupuesto total del costo "Q-Boat".....	167
Tabla 4.32. Honorarios diarios del personal asignado "Z-Boat".	168
Tabla 4.33. Detalle de alquileres y misceláneos "Z-Boat".	169
Tabla 4.34. Relación de instalaciones y equipamiento "Z-Boat".	170
Tabla 4.35. Presupuesto total del costo "Z-Boat".....	170
Tabla 4. 36. Resumen de la comparación económica.	171

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO II.- MARCO REFERENCIAL

Fotografía 2.1. Equipo Q-Boat.....	35
Fotografía 2.2. Equipo Z-Boat.	42

CAPÍTULO III.- MARCO METODOLÓGICO

Fotografía 3.1. Llave de encendido del ADCP.	54
---	----

CAPÍTULO IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Fotografía 4.1. Embalse “La Honduras”.....	104
Fotografía 4.2. Ubicación y conexión del Q-Boat	109
Fotografía 4.3. Ingreso del Q-Boat en el embalse.....	110
Fotografía 4.4. Conducción del Q-Boat a través del embalse.....	110
Fotografía 4.5. Conexión de los instrumentos al Z-Boat.	133
Fotografía 4.6. Conexión de la batería a la radio Rocket M5.	133
Fotografía 4.7. Radio Rocket M5 conectada.....	134

ÍNDICE DE MAPAS

CAPÍTULO IV.- DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Mapa 4.1. Provincia Méndez	100
Mapa 4.2. Mapa de accesos a la presa La Honduras.	101
Mapa 4.3. Vista satelital de la presa La Honduras y la cuenca de aporte.....	104
Mapa 4.4. Embalse La Honduras.....	106
Mapa 4.5. Trazado previo de líneas de sondeo	107
Mapa 4.6. Ubicación de puntos geodésicos.	107
Mapa 4.7. Desplazamiento en campo.	111