
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA
Y TÉCNICAS DE EXPRESIÓN GRÁFICA**



TESIS DOCTORAL

***Contraste en la ejecución de
auscultaciones geodésicas por
métodos clásicos y con láser escáner.***

Autor:

JULIO MANUEL DE LUIS RUIZ

Director:

BENJAMÍN PIÑA PATÓN

Santander, Diciembre de 2009

AGRADECIMIENTOS

Es difícil describir en pocas líneas mi sentimiento de gratitud hacia tantas personas e instituciones que han hecho posible esta tesis doctoral. Por ello, quiero empezar pidiendo disculpas a las que mereciéndolo hayan sido omitidas, respondiendo esta omisión a la necesidad de no alargar demasiado la relación, siendo consciente que, por muy extensa que fuese, siempre habría algún olvido. En primer lugar deseo agradecer a los colaboradores materiales del documento:

- Saltos del Nansa, la empresa que puso a mi disposición su gran laboratorio y los medios necesarios para llevar a cabo las observaciones de campo. Muy especialmente tengo que agradecer el interés de D. Enrique Varela, quien colaboró activamente en tantas campañas, compartiendo conmigo los rigores meteorológicos de la zona.
- Leica Geosystems, la empresa que puso a mi disposición el equipo a contrastar, y muy especialmente a D. Rodrigo García, quien me enseñó lo que sé del instrumental utilizado en esta tesis.
- A la Universidad de Cantabria, a la Escuela de Minas, al Departamento de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica y al Grupo de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, que pusieron a mi disposición todos sus medios para que la elaboración de la tesis fuese una realidad.
- A mi director de tesis D. Benjamín Piña, por sus innumerables y pormenorizadas revisiones, lecturas y orientaciones, de las que he aprendido mucho más que lo meramente técnico, siendo él sin duda alguna, el artífice del documento tal cual se presenta.
- A la “niña”, por su paciencia, cariño y compromiso para revisar hojas y hojas de texto en las que, la redacción era objeto de discusión. Prefiero no estar cerca cuando lea esta página, la única que no ha visto del documento, y que seguro daría pie a otro intercambio de opiniones.

En segundo lugar, y no por ello menos importante, quiero agradecer a las personas que me apoyaron moralmente, aunque no sean colaboradores materiales; sin ellas, esta tesis tampoco se hubiese llevado a cabo:

- A mi amigo Rafa, él fue quien me ayudó a ser lo que siempre quise ser, profesor. Nunca le estaré lo suficientemente agradecido.
- A mis padres, de él aprendí que el trabajo es la base sobre la que se sustenta la familia y de ella que la felicidad está en el camino no en la meta. Gracias porque aunque ella se encuentra sumida en el mundo del olvido, todavía se le ilumina la cara al verme.
- A mi mujer e hija, ellas me han permitido ser un miembro omnipresente de la familia, que siempre promete más tiempo en el futuro, siendo consciente que el tiempo es un bien no acumulable. No sólo me concedieron dicho permiso sin ningún reproche, sino que además me apoyaron en este proyecto que empezamos ahora hace diez años.

*“La gratitud, como ciertas flores, no se da en la altura,
solamente florece en la tierra de los humildes”*

Contraste en la ejecución de auscultaciones geodésicas por métodos clásicos y con láser escáner.

Julio Manuel de Luis Ruiz

ÍNDICE DEL DOCUMENTO.

1.- ÍNDICE TEMÁTICO.

	<u>PÁGINA</u>
Capítulo I.- PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.	1
1.- MARCO REFERENCIAL DE LA TESIS DOCTORAL.....	3
1.1.- ÁMBITO DE LA INVESTIGACIÓN.	3
1.2.- EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE SALTOS DEL NANSÁ.....	4
1.3.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA PRESA DE LA COHILLA.	4
2.- LA INVESTIGACIÓN EN LOS PROCESOS DE AUSCULTACIÓN.	5
2.1.- INTRODUCCIÓN GENERAL.	5
2.1.1.- Definición y tipos de investigación.	5
2.1.2.- La investigación científica.	6
2.1.2.1.- Obtención de conocimientos particulares.	6
2.1.2.2.- Formulación de leyes experimentales.	6
2.1.2.3.- Construcción de modelos experimentales.	6
2.1.2.4.- Propuestas de teorías-marco.	6
2.1.2.5.- Construcción de sistemas teóricos.	7
2.1.3.- La investigación tecnológica.	7
2.1.4.- La innovación tecnológica.	7
2.2.- LA AUSCULTACIÓN DE PRESAS.	8
2.2.1.- Introducción.	8
2.2.2.- El proceso de auscultación.	9
2.2.3.- Sensores e instrumentos de auscultación.	11
2.2.4.- La auscultación geodésica.	11
2.2.4.1.- Encuadre referencial.	11
2.2.4.2.- Auscultaciones geodésicas planimétricas.	12
2.2.4.3.- Auscultaciones geodésicas altimétricas.	13
3.- METODOLOGÍA EMPLEADA EN EL DESARROLLO DE LA TESIS.	14
3.1.- LOS MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.	14
3.1.1.- Introducción.	14
3.1.1.1.- El método hipotético-deductivo.	14
3.1.1.2.- El método inductivo.	15
3.1.2.- Procedimientos de investigación.	15
3.1.2.1.- La investigación teórica.	15
3.1.2.2.- La investigación experimental.	16
3.1.2.3.- La investigación combinatoria.	16
3.1.2.4.- La investigación por observación de la naturaleza.	17
3.1.2.5.- La investigación sociológica.	17
3.2.- MÉTODO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.	18
3.2.1.- Introducción.	18
3.2.2.- Planteamiento del objetivo.	19
3.2.2.1.- Consideraciones generales acerca de la motivación.	19
3.2.2.2.- Planteamiento del objetivo.	19
3.2.3.- Reunión de los datos conocidos.	20
3.2.3.1.- Fase previa.	20
3.2.3.2.- Recopilación y revisión bibliográficas.	21
3.2.4.- Organización de los datos.	21
3.2.4.1.- Lectura del resumen y conclusiones.	21
3.2.4.2.- Lista de los aspectos más importantes.	22
3.2.4.3.- Técnica de recopilación de la información.	23
3.2.5.- Propuesta de solución.	23
3.2.5.1.- Consideraciones generales.	23
3.2.5.2.- Planificación de la secuencia experimental.	23

3.2.5.3.- Planificación de los medios a utilizar.	24
3.2.6.- Prueba de la solución propuesta.	25
3.2.6.1.- La organización del trabajo.	25
3.2.6.2.- El plan de trabajo.	26
3.2.6.3.- El investigador.	26
3.2.6.4.- El diario del investigador.	27
3.2.6.5.- Análisis y discusión de los resultados.	29
3.2.7.- Presentación de los resultados.	29
4.- PROCESO DE ELABORACIÓN Y CONTENIDO.	30
4.1.- ELECCIÓN DEL TEMA DE LA TESIS.	30
4.1.1.- Noción e importancia de la elección del tema.	30
4.1.2.- Condiciones del tema de la tesis.	30
4.1.3.- Elección del tema y objeto de la tesis.	31
4.1.4.- Bosquejo del tema de la tesis o del problema de investigación.	31
4.2.- PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TESIS.	32
4.3.- LA TESIS Y SU CONTENIDO.	33
4.3.1.- Introducción.	33
4.3.2.- El contenido de la tesis.	33
4.3.2.1.- Parte principal.	34
4.3.2.2.- Parte complementaria.	36
 Capítulo II.- MARCO REFERENCIAL Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO	
ACTUAL LAS AUSCULTACIONES GEODÉSICAS CLÁSICAS.	37
1.- INTRODUCCIÓN.	39
1.1.- ENCUADRE REFERENCIAL.	39
1.2.- CONTROL DE MOVIMIENTOS.	39
1.3.- DEFINICIÓN DE ESCENARIOS.	39
2.- ELEMENTOS PARTICIPANTES.	40
2.1.- PILARES DE AUSCULTACIÓN.	40
2.2.- DIANAS DE PUNTERÍA.	42
2.3.- PUNTOS DE SEGURIDAD.	45
2.4.- POLARES.	46
2.5.- INSTRUMENTAL TOPOGRÁFICO.	46
3.- LA OBSERVACIÓN ANGULAR.	48
3.1.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS.	48
3.2.- EL OBSERVABLE ANGULAR.	49
3.2.1.- Importancia del diseño de las diferentes redes.	49
3.2.2.- Metodologías intervinientes.	49
3.2.2.1.- La intersección directa angular.	50
3.2.2.2.- La intersección inversa angular.	51
3.3.- LA OBSERVACIÓN DE ÁNGULOS EN CAMPO.	52
3.3.1.- Método de observación.	52
3.3.2.- Control de las observaciones angulares.	53
4.- RESOLUCIÓN DE LA AUSCULTACIÓN MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DE ÁNGULOS. .	54
4.1.- INTRODUCCIÓN.	54
4.2.- MÉTODO NUMÉRICO.	55
4.3.- MÉTODO GRÁFICO.	58
4.4.- MÉTODO DE VARIACIÓN DE COORDENADAS EN LAS INTERSECCIONES	

DIRECTAS.....	60
4.5.- MÉTODO DE VARIACIÓN DE COORDENADAS EN LAS INTERSECCIONES INVERSAS.....	63
4.6.- INTERSECCIONES INVERSAS GRÁFICAS O NUMÉRICAS A TRAVÉS DE LAS PROPIEDADES DEL ARCO CAPAZ.....	65
4.7.- DISEÑO DE LAS REDES IMPLICADAS.....	69
5.- LA OBSERVACIÓN DISTANCIOMÉTRICA.....	71
5.1.- INTRODUCCIÓN.....	71
5.1.1.- Intersección de distancias.....	71
5.1.2.- La problemática de la observación.....	72
5.2.- INSTRUMENTAL TOPOGRÁFICO.....	73
5.3.- MÉTODO DE OBSERVACIÓN.....	74
5.3.1.- Control de las observaciones distanciométricas.....	74
5.3.1.1.- La corrección atmosférica.....	74
5.3.1.2.- Corrección por curvatura de la trayectoria.....	79
5.3.1.3.- La constante de equipo.....	79
5.3.2.- ERRORES EN LA MEDIDA DE DISTANCIAS.....	80
5.3.2.1.- El error de desfase.....	80
5.3.2.2.- El error de escala.....	80
5.3.3.- FUNDAMENTO DE LA CAPTACIÓN DE DISTANCIAS.....	81
6.- RESOLUCIÓN DE LA AUSCULTACIÓN MEDIANTE LA OBSERVACIÓN DE DISTANCIAS.....	82
6.1.- INTRODUCCIÓN.....	82
6.2.- MÉTODO NUMÉRICO.....	82
6.3.- MÉTODO GRÁFICO.....	85
6.4.- APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VARIACIÓN DE COORDENADAS A INTERSECCIONES DIRECTAS.....	87
6.5.- APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VARIACIÓN DE COORDENADAS A INTERSECCIONES INVERSAS.....	89
 Capítulo III.- EL NUEVO MARCO DE RESOLUCIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER.....	 93
1.- INTRODUCCIÓN.....	95
2.- FUNDAMENTO DE LA MEDICIÓN CON RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	100
2.1.- LA NATURALEZA DE LA LUZ.....	100
2.2.- DEFINICIÓN DE LÁSER.....	104
2.3.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL LÁSER.....	107
2.4.- FUNDAMENTO CIENTÍFICO DEL LÁSER.....	107
2.5.- TIPOS DE LÁSERES.....	110
2.5.1.- Láseres de gas.....	110
2.5.2.- Láseres sólidos.....	111
2.5.3.- Láseres líquidos.....	112
2.5.4.- Láseres de electrones libres.....	112
2.5.5.- Láser atómico.....	112
2.6.- LOS LÁSERES COMO INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	113
3.- APLICACIÓN A LOS LÁSER ESCÁNER ACTUALES.....	114
3.1.- EXPLORADORES LÁSER TERRESTRES (TLS).....	114
3.1.1.- Telémetro láser.....	114

3.1.1.1.- Propiedades del haz láser.....	114
3.1.1.2.- Principios y componentes de un telémetro.....	117
3.1.2.- Unidad de desviación del rayo láser.....	120
3.1.2.1.- Espejos poligonales.....	120
3.1.2.2.- Espejos oscilantes.....	121
3.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEDIDA.....	123
3.2.1.-Planteamiento de la medida.....	124
3.2.2.- Exploración.....	124
3.2.3.- Registro y georreferenciación.....	124
3.2.3.1.- Georreferenciación directa.....	126
3.2.3.2.- Georreferenciación indirecta.....	126
3.2.4.- Procesado previo y modelado de los datos.....	127
4.- FUENTES DE ERROR EN MEDIDAS CON LÁSER.....	130
4.1.- INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE LAS FUENTES DE ERROR.....	130
4.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS ERRORES DE MEDIDA CON TLS.....	132
4.3.- ERRORES INSTRUMENTALES.....	133
4.3.1.- Errores en el telémetro del láser.....	133
4.3.1.1.- Errores accidentales.....	133
4.3.1.2.- Errores sistemáticos.....	134
4.3.2.- Errores en la unidad de desviación del haz.....	135
4.3.2.1.- Exploradores poligonales.....	135
4.3.2.2.- Exploradores oscilantes.....	136
4.3.2.3.- Errores comunes a ambos tipos.....	136
4.3.3.- Errores axiales.....	137
4.4.- ERRORES RELACIONADOS CON EL OBJETO.....	137
4.5.- ERRORES AMBIENTALES.....	138
4.5.1.- Errores causados por la influencia de la atmósfera.....	138
4.5.2.- Influencia de las condiciones atmosféricas adversas en la medida.....	140
4.5.3.- Interferencia de la radiación.....	141
4.6.- ERRORES METODOLÓGICOS.....	141
4.6.1.- Errores metodológicos en georreferenciación indirecta.....	141
4.6.2.- Errores metodológicos en georreferenciación directa.....	144
4.7.- EL MODELO DEL ERROR DE TLS.....	145

Capítulo IV.- CONTRASTE METODOLÓGICO EN LA RESOLUCIÓN DE AUSCULTACIONES..... 149

1.- CÁLCULO POR MÉTODOS CLÁSICOS.....	151
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	151
1.1.1.- Descripción del instrumental empleado.....	151
1.1.2.- Redes pre-existentes.....	152
1.1.2.1.- Pilares de auscultación.....	152
1.1.2.2.- Polares.....	153
1.1.2.3.- Puntos de seguridad.....	153
1.1.2.4.- Dianas de auscultación.....	155
1.2.- OBSERVABLE ANGULAR.....	157
1.2.1.- Datos de campo angulares.....	157
1.2.2.- Procesado de los datos de campo angulares.....	159
1.2.2.1.- Determinación de las variaciones angulares.....	159
1.2.2.2.- Determinación de la estabilidad de los pilares.....	161
1.2.2.3.- Determinación del movimiento de las dianas.....	164

2.5.3.2.- Cálculos empleando orientación a un punto de seguridad fijo.	232
2.5.3.3.- Cálculos empleando orientación a un punto de seguridad medio.	235
2.5.3.4.- Conclusiones del tratamiento de los ángulos.	239
2.5.4.- Cálculos empleando la variación de distancias del escáner.	239
3.- CONTRASTE DE RESULTADOS.	246
3.1.- CONTRASTE DE RESULTADOS NUMÉRICO Y GRÁFICO.	246
3.2.- CONTRASTE ESTADÍSTICO.	254
3.2.1.- Elección de la técnica patrón para el contraste estadístico.	254
3.2.2.- Establecimiento del parámetro a contrastar.	256
3.2.3.- Justificación del modelo y contraste estadístico.	259
3.2.3.1.- Justificación del modelo estadístico.	259
3.2.3.2.- Contraste entre los resultados obtenidos mediante la observación de ángulos y distancias con la estación topográfica.	260
3.2.3.3.- Contraste entre los resultados obtenidos mediante la observación de ángulos con estación y distancias con el escáner.	262
 Capítulo V.- CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	 265
1.- CONCLUSIONES.	267
1.1.- CONCLUSIONES PARCIALES.	267
1.1.1.- Auscultaciones geodésicas clásicas.	267
1.1.1.1.- El péndulo.	267
1.1.1.2.- La auscultación geodésica.	267
1.1.2.- Auscultaciones geodésicas con láser escáner.	270
1.1.2.1.- Los observables.	270
1.1.2.2.- Los métodos de resolución.	270
1.2.- CONCLUSIONES GLOBALES.	272
1.2.1.- Contraste numérico y gráfico.	273
1.2.2.- Contraste estadístico.	273
2.- FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.	275
2.1.- LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN LAS AUSCULTACIONES GEODÉSICAS.	275
2.1.1.- Auscultaciones geodésicas clásicas.	275
2.1.1.1.- Presa de la Cohilla.	275
2.1.1.2.- Otras presas.	275
2.1.2.- Auscultaciones geodésicas láser escáner.	275
2.2.- LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EL LÁSER ESCÁNER.	275
2.2.1.- Ajuste radiométrico.	275
2.2.2.- Software de procesamiento de datos.	275
2.2.3.- Calibración del instrumento.	276
 FUENTES DE INFORMACIÓN.	 277
1.- LIBROS.	279
2.- ARTÍCULOS.	282
3.- CONGRESOS.	292
4.- TESIS DOCTORALES.	296

ANEJO Número 1.- APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE SALTOS DEL NANSÁ Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA PRESA DE LA COHILLA. A.1.1

1.- EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DE SALTOS DEL NANSÁ.	A.1.3
1.1.- LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL NANSÁ.	A.1.3
1.2.- LA EMPRESA SALTOS DEL NANSÁ.	A.1.6
1.3.- EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO.	A.1.7
1.3.1.- Salto de Peña Bejo.	A.1.8
1.3.2.- Salto de Rozadío.....	A.1.9
1.3.3.- Salto de Celis.	A.1.11
1.3.4.- Salto de Herrerías.	A.1.12
1.4.- EVOLUCIÓN TÉCNICA DE LAS CENTRALES DE SALTOS DEL NANSÁ.	A.1.14
1.5.- DATOS TÉCNICOS DE SALTOS DEL NANSÁ.	A.1.15
1.5.1.- Central de Peña Bejo.	A.1.15
1.5.2.- Central de Rozadío.	A.1.15
1.5.3.- Central de Celis.....	A.1.15
1.5.4.- Central de Herrerías.....	A.1.16
1.6.- RESUMEN DEL SISTEMA DE SALTOS DEL NANSÁ.	A.1.16
2.- LA PRESA DE LA COHILLA.	A.1.17
2.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS.	A.1.17
2.1.1.- Introducción.	A.1.17
2.1.2.- Evolución histórica del aprovechamiento.	A.1.17
2.2.- PROYECTO DE LA PRESA.	A.1.18
2.2.1.- Primeros pasos y evolución temporal.....	A.1.18
2.2.2.- Características técnicas de la obra.	A.1.21
2.3.- CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA.	A.1.22
2.4.- MODIFICACIONES POSTERIORES.	A.1.25

ANEJO Número 2.- SENSORES E INSTRUMENTAL DE AUSCULTACIONES. A.2.1

1.- INTRODUCCIÓN.	A.2.3
2.- LA PRESA COMO ESTRUCTURA.	A.2.4
3.- NORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRESAS.	A.2.6
4.- CLASIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS SENSORES.	A.2.28
4.1.- TIPOS DE AUSCULTACIÓN.	A.2.28
4.1.1.- Auscultación hidráulica.....	A.2.28
4.1.2.- Auscultación térmica.	A.2.29
4.1.3.- Auscultación sísmica.....	A.2.29
4.1.4.- Auscultación geodésica.....	A.2.29
4.2.- INSTRUMENTACIÓN BÁSICA.	A.2.30
4.2.1.- Péndulos.....	A.2.30
4.2.2.- Medidores tridimensionales de juntas.	A.2.31
4.2.3.- Cabezales de drenes.....	A.2.31
4.2.4.- Elementos para la auscultación geodésico-topográfica.	A.2.31
4.2.5.- Aforadores de filtraciones.	A.2.32
4.2.6.- Otros dispositivos de auscultación.....	A.2.32
4.3.- INSTRUMENTACIÓN PORMENORIZADA.....	A.2.32
5.- SENSORES EMPLEADOS EN LA PRESA DE LA COHILLA.....	A.2.39
5.1.- PÉNDULO DIRECTO.	A.2.40
5.2.- PÉNDULO INVERTIDO.	A.2.40
5.3.- PIEZÓMETROS.....	A.2.41

Contraste en la ejecución de auscultaciones geodésicas por métodos clásicos y con láser escáner.

5.4.- AFORADORES.....	A.2.41
5.5.- SENSOR DE NIVEL DE EMBALSE.....	A.2.42
5.6.- AUSCULTACIÓN GEODÉSICA.....	A.2.43
5.6.1.- Auscultación planimétrica.....	A.2.43
5.6.2.- Auscultación altimétrica.....	A.2.43

ANEJO Número 3.- AUSCULTACIÓN CLÁSICA MEDIANTE OBSERVABLE

ANGULAR A.3.1

1.- OBSERVACIONES DE CAMPO CAMPAÑA 76.....	A.3.3
2.- OBSERVACIONES DE CAMPO CAMPAÑA 77.....	A.3.13
3.- RESUMEN PROMEDIOS Y VARIACIONES ANGULARES.....	A.3.23
4.- ESTABILIDAD DE PILARES DE AUSCULTACIÓN.....	A.3.31
5.- DESPLAZAMIENTOS DIANAS DE PUNTERÍA.....	A.3.41
6.- RESUMEN RESULTADOS NUMÉRICOS Y GRÁFICOS.....	A.3.79

ANEJO Número 4.- AUSCULTACIÓN CLÁSICA MEDIANTE OBSERVABLE

DISTANCIOMÉTRICO..... A.4.1

1.- OBSERVACIONES DE CAMPO CAMPAÑA 76.....	A.4.3
2.- OBSERVACIONES DE CAMPO CAMPAÑA 77.....	A.4.9
3.- RESUMEN PROMEDIOS Y VARIACIONES DE DISTANCIA.....	A.4.15
4.- ESTABILIDAD DE PILARES DE AUSCULTACIÓN.....	A.4.21
5.- DESPLAZAMIENTOS DIANAS DE PUNTERÍA.....	A.4.27
6.- RESUMEN RESULTADOS NUMÉRICOS Y GRÁFICOS.....	A.4.61

ANEJO Número 5.- AJUSTE DE LA RED DE PILARES Y PUNTOS DE

SEGURIDAD..... A.5.1

1.- AJUSTE DE LA RED DE PILARES.....	A.5.3
2.- AJUSTE DE LA RED DE PUNTOS DE SEGURIDAD.....	A.5.11

ANEJO Número 6.- ENSAYOS CON LAS OBSERVACIONES DEL LÁSER

ESCÁNER..... A.6.1

1.- OBSERVACIONES DE CAMPO.....	A.6.3
2.- COMPARACIÓN DE COORDENADAS.....	A.6.13
2.1.- CÁLCULO DE LAS DESORIENTACIONES ANGULARES.....	A.6.15
2.2.- CÁLCULO DE COORDENADAS.....	A.6.16
2.3.- COMPARACIÓN DE COORDENADAS INDIVIDUALES.....	A.6.24
2.4.- COMPARACIÓN DE COORDENADAS MEDIAS.....	A.6.29

3.- VARIACIONES ANGULARES.....	A.6.31
3.1.- VARIACIONES ANGULARES CON ORIENTACIÓN LEJANA.....	A.6.33
3.2.- VARIACIONES ANGULARES CON ORIENTACIÓN FIJA.....	A.6.44
3.3.- VARIACIONES ANGULARES CON ORIENTACIÓN MEDIA.....	A.6.55
4.- VARIACIONES DISTANCIOMÉTRICAS.....	A.6.67
4.1.- CÁLCULO DE DISTANCIAS REDUCIDAS.....	A.6.69
4.2.- VARIACIONES DISTANCIOMÉTRICAS.....	A.6.77

**ANEJO Número 7.- AUSCULTACIÓN CON LÁSER ESCÁNER Y OBSERVABLE
DISTANCIOMÉTRICO..... A.7.1**

1.- OBSERVACIONES DE CAMPO CAMPAÑA 76.....	A.7.3
2.- OBSERVACIONES DE CAMPO CAMPAÑA 77.....	A.7.9
3.- RESUMEN PROMEDIOS Y VARIACIONES DE DISTANCIA.....	A.7.15
4.- DESPLAZAMIENTOS DIANAS DE PUNTERÍA.....	A.7.21
5.- RESUMEN RESULTADOS NUMÉRICOS Y GRÁFICOS.....	A.7.57

ANEJO Número 8.- CONTRASTE GRÁFICO Y NUMÉRICO..... A.8.1

1.- CONTRASTE FILAS.....	A.8.3
1.1.- CONTRASTE FILA NÚMERO 7.....	A.8.5
1.2.- CONTRASTE FILA NÚMERO 6.....	A.8.7
1.3.- CONTRASTE FILA NÚMERO 5.....	A.8.9
1.4.- CONTRASTE FILA NÚMERO 4.....	A.8.11
1.5.- CONTRASTE FILA NÚMERO 3.....	A.8.13
1.6.- CONTRASTE FILA NÚMERO 2.....	A.8.15
1.7.- CONTRASTE FILA NÚMERO 1.....	A.8.17
1.8.- CONTRASTE FILA NÚMERO 0.....	A.8.19
2.- CONTRASTE COLUMNAS.....	A.8.21
2.1.- CONTRASTE COLUMNA A.....	A.8.23
2.2.- CONTRASTE COLUMNA D.....	A.8.25
2.3.- CONTRASTE COLUMNA C.....	A.8.27
2.4.- CONTRASTE COLUMNA E.....	A.8.29
2.5.- CONTRASTE COLUMNA B.....	A.8.31
2.6.- CONTRASTE OBSERVACIÓN ANGULAR.....	A.8.33
2.7.- CONTRASTE OBSERVACIÓN DISTANCIOMÉTRICA.....	A.8.34
2.8.- CONTRASTE OBSERVACIÓN LÁSER ESCÁNER.....	A.8.35

2.- ÍNDICE FIGURAS.

PÁGINA**Capítulo I.- PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.****Capítulo II.- MARCO REFERENCIAL Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO ACTUAL EN LAS AUSCULTACIONES GEODÉSICAS CLÁSICAS.**

Figura II.1.- Dimensiones de los pilares de auscultación.	40
Figura II.2.- Mecanismo de centrado forzoso.	41
Figura II.3.- Perspectiva de la zona de observación.	42
Figura II.4.- Diana de puntería recomendada en auscultaciones geodésicas angulares.	43
Figura II.5.- Diana de puntería recomendada en auscultaciones geodésicas distanciométricas.	43
Figura II.6.- Diana de puntería recomendada en auscultaciones geodésicas con láser escáner.	44
Figura II.7.- Tipos de señalización empleados en la Presa de la Cohilla para las dianas de puntería.	44
Figura II.8.- Distribución de las dianas de puntería en la Presa de la Cohilla.	45
Figura II.9.- Detalle constructivo de los puntos de seguridad.	45
Figura II.10.- Teodolito marca Wild, modelo T3.	46
Figura II.11.- Estación topográfica modelo TC2003.	47
Figura II.12.- Esquema general de los elementos participantes.	48
Figura II.13.- Ejemplos caracterizados de lugares donde aplicar estas técnicas.	48
Figura II.14.- Esquema genérico de la intersección directa de ángulos.	50
Figura II.15.- Esquema genérico de la intersección inversa de ángulos.	51
Figura II.16.- Intersecciones directas de una de las dianas de puntería.	55
Figura II.17.- Afección del error angular en las intersecciones directas.	55
Figura II.18.- Elipse de error en las intersecciones directas angulares.	56
Figura II.19.- Valor del diámetro conjugado de la elipse.	56
Figura II.20.- Sustitución del arco por la tangente.	59
Figura II.21.- Resolución del desplazamiento de una diana por el método gráfico.	60
Figura II.22.- Variación de coordenadas cuando una diana sufre un desplazamiento angular.	60
Figura II.23.- Establecimiento de la elipse de error en variación de coordenadas.	62
Figura II.24.- Establecimiento de los ángulos de la intersección inversa múltiple.	63
Figura II.25.- Variación de coordenadas aplicada a las intersecciones inversas.	63
Figura II.26.- Determinación del arco capaz entre dos puntos.	65
Figura II.27.- Determinación del nuevo arco capaz cuando existe variación angular.	66
Figura II.28.- Desplazamiento del pilar debido a la variación angular.	67
Figura II.29.- Desplazamiento con cuatro visuales.	68
Figura II.30.- Variación del ángulo ante la posibilidad de movimiento del pilar.	69
Figura II.31.- Esquema genérico de la trilateración.	71
Figura II.32.- La distancia en la intersección inversa múltiple.	72
Figura II.33.- Problemática de las observaciones en campo.	73
Figura II.34.- Estación meteorológica.	73
Figura II.35.- Efecto de la refracción en la medida electrónica de distancias.	74
Figura II.36.- Ábaco de corrección atmosférica.	76
Figura II.37.- Concepto geométrico de la constante de equipo.	79
Figura II.38.- Situación relativa pilar-diana.	81
Figura II.39.- Intersecciones directas de una de las dianas de puntería.	82
Figura II.40.- Afección del error distanciométrico en las intersecciones directas.	83
Figura II.41.- Elipse de error en las intersecciones directas distanciométricas.	83
Figura II.42.- Valor del diámetro conjugado de la elipse.	83
Figura II.43.- Establecimiento de la nueva dirección que define la posición de la diana.	86
Figura II.44.- Resolución del desplazamiento de una diana por el método gráfico.	86
Figura II.45.- Elipse de error.	89
Figura II.46.- Intersección inversa de distancias.	89
Figura II.47.- Situación para un determinado triángulo.	90
Figura II.48.- Cálculo de coordenadas aproximadas.	90
Figura II.49.- Aplicación general del método de variación de coordenadas.	91

Capítulo III.- EL NUEVO MARCO DE RESOLUCIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER.

Figura III.1.- Experimento que demuestra el fenómeno de la difracción.	100
---	-----

Figura III.2.- Onda luminosa con el campo eléctrico vertical y el magnético horizontal.	101
Figura III.3.- Espectro de emisión del cuerpo negro, longitud de onda en micras.	102
Figura III.4.- Efecto fotoeléctrico.	103
Figura III.5.- Espectro electromagnético.	103
Figura III.6.- Parámetros elementales de la onda electromagnética.	104
Figura III.7.- Lente convergente frente a una fuente luminosa puntual.	105
Figura III.8.- Lente convergente frente a una fuente luminosa extendida.	105
Figura III.9.- Lente convergente con una fuente luminosa puntual colocada en su foco anterior.	106
Figura III.10.- Lente convergente con una fuente luminosa extendida colocada en su foco anterior.	106
Figura III.11.- Proceso atómico de absorción.	107
Figura III.12.- Proceso atómico de emisión espontánea.	108
Figura III.13.- Proceso atómico de emisión estimulada.	108
Figura III.14.- Emisiones incoherente y coherente de fotones de una fuente de luz extendida.	109
Figura III.15.- Amplificación de luz por medio de emisión estimulada.	109
Figura III.16.- Empleo de espejos para la retroalimentación de la luz y construcción de láseres.	109
Figura III.17.- Esquema del láser de rubí.	110
Figura III.18.- Esquema del láser de helio-neón.	110
Figura III.19.- Definición de la cintura del haz de un rayo láser.	114
Figura III.20.- Amplificador del rayo láser [PRIC-89].	115
Figura III.21.- Diferentes definiciones del diámetro del haz, no escalar [MARS-85].	116
Figura III.22.- Concepto del ángulo de la divergencia del haz.	116
Figura III.23.- Diagrama de bloque de un telémetro pulsado del láser.	117
Figura III.24.- Izqda: técnica del umbral constante. Dcha: técnica de fraccionamiento del umbral.	118
Figura III.25.- Esquemas funcionales más empleados en exploradores láser (Alzado).	121
Figura III.26.- Esquemas funcionales más empleados en exploradores láser (Planta).	122
Figura III.27.- El principio de la exploración del rayo láser.	123
Figura III.28.- El sistema coordinado interno de un explorador láser.	125
Figura III.29.- Flujo de trabajo a seguir en escaneados con láser terrestre.	129

Capítulo IV.- CONTRASTE METODOLÓGICO EN LA RESOLUCIÓN DE AUSCULTACIONES.

Figura IV.1.- Estación topográfica empleada en la auscultación.	152
Figura IV.2.- Representación planimétrica de las diferentes redes implicadas.	154
Figura IV.3.- Tipología de las señales empleadas en las dianas de auscultación.	155
Figura IV.4.- Distribución de las dianas de puntería en la Presa de la Cohilla.	156
Figura IV.5.- Elipse de error en la determinación del desplazamiento del pilar (Ángulos).	163
Figura IV.6.- Vista en planta de los desplazamientos y elipses de error de las dianas de la fila número 7 (Ángulos).	168
Figura IV.7.- Vista en alzado de los desplazamientos de la columna C (Ángulos).	168
Figura IV.8.- Elipse de error en la determinación del desplazamiento del pilar (Distancias).	174
Figura IV.9.- Vista en planta de los desplazamientos y elipses de error de dianas de la fila número 7 (Distancias).	178
Figura IV.10.- Vista en alzado de los desplazamientos de la columna C (Distancias).	178
Figura IV.11.- Bajante del péndulo sobre el paramento de la presa.	179
Figura IV.12.- Extremo inferior del péndulo donde se encuentra el micrómetro de lectura.	179
Figura IV.13.- Micrómetro de lectura del péndulo.	180
Figura IV.14.- Representación de las diferentes posiciones del péndulo.	182
Figura IV.15.- Sistema de referencia empleado por el péndulo.	183
Figura IV.16.- Vista en planta del desplazamiento determinado por el péndulo.	183
Figura IV.17.- Vista en alzado del desplazamiento determinado por el péndulo.	184
Figura IV.18.- Componentes del equipo HDS3000.	185
Figura IV.19.- Detalles del HDS3000.	186
Figura IV.20.- Detalle del campo de visión del equipo.	186
Figura IV.21.- Imagen de una parte del laboratorio de calibración.	191
Figura IV.22.- Mecanismo para la determinación del error vertical de la escala en un escáner.	198
Figura IV.23.- Instalación de un telémetro láser para la determinación del error cero.	200
Figura IV.24.- Detalle de la nivelación del equipo Leica HDS3000.	208
Figura IV.25.- Detalle de las conexiones del equipo Leica HDS3000.	209
Figura IV.26.- Detalle de los indicadores luminosos del equipo.	209
Figura IV.27.- A la izquierda la imagen de la presa, a la derecha la nube de puntos correspondiente.	216
Figura IV.28.- A la izquierda la imagen de la presa, a la derecha el modelado correspondiente.	216
Figura IV.29.- Vista en planta de los desplazamientos y elipses de error de las dianas de la fila número 5 (Escáner).	245
Figura IV.30.- Vista en alzado de los desplazamientos de la columna C (Escáner).	245

Figura IV.31.- Desplazamientos en las tres técnicas de observación para las dianas de la fila 4.....	247
Figura IV.32.- Desplazamientos y elipses de error en las tres técnicas de observación para las dianas de la fila 4.	247
Figura IV.33.- Desplazamientos obtenidos por las tres técnicas para las dianas de la columna A.	249
Figura IV.34.- Desplazamientos obtenidos con estación topográfica (Ángulos).....	249
Figura IV.35.- Desplazamientos y elipses de error obtenidos con estación topográfica (Ángulos).....	250
Figura IV.36.- Desplazamientos obtenidos con estación topográfica (Distancias).....	250
Figura IV.37.- Desplazamientos y elipses de error obtenidos con estación topográfica (Distancias).....	250
Figura IV.38.- Desplazamientos obtenidos con láser escáner (Distancias).	251
Figura IV.39.- Desplazamientos y elipses de error obtenidos con láser escáner (Distancias).	251
Figura IV.40.- Determinación del parámetro a contrastar entre dos desplazamientos.....	256
Figura IV.41.- Simulación de una distribución bivariante.....	260
Figura IV.42.- Distribución bivariante empleada en el contraste de los ángulos y distancias clásicas.	261
Figura IV.43.- Distribución bivariante empleada en el contraste de los ángulos clásicos y distancias del escáner.	263

Capítulo V.- CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

3.- ÍNDICE TABLAS.

PÁGINA**Capítulo I.- PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.****Capítulo II.- MARCO REFERENCIAL Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO ACTUAL EN LAS AUSCULTACIONES GEODÉSICAS CLÁSICAS.**

Tabla II.1.- Temperaturas y presiones del vapor de agua.	78
---	----

Capítulo III.- EL NUEVO MARCO DE RESOLUCIÓN MEDIANTE TECNOLOGÍA LÁSER ESCÁNER.

Tabla III.1.- Principales propiedades de los láseres de gas.	111
Tabla III.2.- Principales propiedades de los láseres sólidos.	111

Capítulo IV.- CONTRASTE METODOLÓGICO EN LA RESOLUCIÓN DE AUSCULTACIONES.

Tabla IV.1.- Coordenadas de la red de pilares.	153
Tabla IV.2.- Coordenadas de las polares empleadas en la Presa de la Cohilla.	153
Tabla IV.3.- Coordenadas de los puntos de seguridad empleados en la observación angular.	154
Tabla IV.4.- Coordenadas de los puntos de seguridad empleados en la observación distanciométrica.	154
Tabla IV.5.- Coordenadas de las dianas ubicadas en la presa.	156
Tabla IV.6.- Observaciones del ángulo horizontal y valor del promedio, pilar I – campaña 76.	159
Tabla IV.7.- Determinación del ángulo horizontal, pilar I – campaña 76.	159
Tabla IV.8.- Determinación del ángulo horizontal, pilar I – campaña 77.	160
Tabla IV.9.- Variaciones del ángulo horizontal entre las campañas 76 y 77.	161
Tabla IV.10.- Desplazamientos y elipses de error de los pilares entre las campañas 76 y 77 (Ángulos).	166
Tabla IV.11.- Desplazamientos y elipses de error de las dianas de puntería entre la campaña 76 y 77 (Ángulos).	167
Tabla IV.12.- Observaciones de la distancia reducida y valor del promedio, pilar I – campaña 76.	170
Tabla IV.13.- Variaciones de la distancia reducida entre las campañas 76 y 77.	172
Tabla IV.14.- Desplazamientos y elipses de error de los pilares entre las campañas 76 y 77 (Distancias).	176
Tabla IV.15.- Desplazamientos y elipses de error de las dianas de puntería entre las campañas 76 y 77 (Distancias).	177
Tabla IV.16.- Lecturas del péndulo entre las campañas 76 y 77.	181
Tabla IV.17.- Datos técnicos generales del instrumento.	187
Tabla IV.18.- Datos sobre el funcionamiento del sistema.	187
Tabla IV.19.- Propiedades fundamentales del sistema del láser escáner.	188
Tabla IV.20.- Propiedades fundamentales del sistema eléctrico del láser escáner.	188
Tabla IV.21.- Especificaciones ambientales del equipo.	188
Tabla IV.22.- Características físicas del equipo.	188
Tabla IV.23.- Coordenadas de la red de pilares.	207
Tabla IV.24.- Coordenadas de los puntos de seguridad.	207
Tabla IV.25.- Observaciones del láser escáner, pilar I – campaña 76.	219
Tabla IV.26.- Coordenadas ajustadas de la red de pilares y puntos de seguridad.	220
Tabla IV.27.- Cálculo de las desorientaciones en cada pilar y campaña de observación con el láser escáner.	221
Tabla IV.28.- Cálculo de las coordenadas de las dianas desde el pilar I en la campaña 76.	223
Tabla IV.29.- Resumen de los desplazamientos de las dianas calculados desde cada pilar.	225
Tabla IV.30.- Coordenadas medias de las dianas obtenidas desde todos los pilares en cada campaña.	226
Tabla IV.31.- Desplazamientos de las dianas calculados con las coordenadas medias de cada campaña.	227
Tabla IV.32.- Resumen de acimutes obtenidos con la orientación más lejana en la campaña 76.	230
Tabla IV.33.- Resumen de acimutes obtenidos con la orientación más lejana en la campaña 77.	231
Tabla IV.34.- Variaciones angulares obtenidas con la orientación más lejana entre campañas ^(CC)	232
Tabla IV.35.- Resumen de acimutes obtenidos con orientación única en la campaña 76.	233
Tabla IV.36.- Resumen de acimutes obtenidos con orientación única en la campaña 77.	234
Tabla IV.37.- Variaciones angulares obtenidas con orientación única entre campañas ^(CC)	235
Tabla IV.38.- Resumen de acimutes obtenidos con orientación ficticia en la campaña 76.	236
Tabla IV.39.- Resumen de acimutes obtenidos con orientación ficticia en la campaña 77.	237
Tabla IV.40.- Variaciones angulares obtenidas con orientación ficticia entre campañas ^(CC)	238
Tabla IV.41.- Resumen de distancias reducidas obtenidas con el láser escáner en la campaña 76.	241
Tabla IV.42.- Resumen de distancias reducidas obtenidas con el láser escáner en la campaña 77.	242
Tabla IV.43.- Variaciones de distancia (mm), obtenidas con el láser escáner entre las campañas 76 y 77.	243

Contraste en la ejecución de auscultaciones geodésicas por métodos clásicos y con láser escáner.

Tabla IV.44.- Resumen de los desplazamientos y sus precisiones correspondientes calculados con el láser escáner.	244
Tabla IV.45.- Resultados de los desplazamientos y sus precisiones correspondientes a la fila 4.	246
Tabla IV.46.- Resultados de los desplazamientos y sus precisiones correspondientes a la columna A.	248
Tabla IV.47.- Valor de las áreas de las elipses de error para las diferentes técnicas de observación y cálculo.	255
Tabla IV.48.- Contraste estadístico de los resultados obtenidos en las áreas de las elipses de error.	255
Tabla IV.49.- Diferencias entre desplazamientos obtenidos mediante observables clásicos (Ángulos y Distancias).	257
Tabla IV.50.- Diferencias entre desplazamientos obtenidos con ángulos clásicos y láser escáner.	258
Tabla IV.51.- Estadísticos de la diferencia de vectores obtenidos con ángulos y distancias clásicas	261
Tabla IV.52.- Estadísticos de la diferencia de vectores obtenidos con ángulos clásicos y láser escáner.	262

Capítulo V.- CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.