

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“DIAGNÓSTICO DE LA RED DE OBSERVACIÓN HIDRO -
METEOROLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA Y
PROPUESTA DE RED MÍNIMA PARA LA AUSCULTACIÓN
HIDROLÓGICA DE LA PRESA CALDERAS”**

Por:

UNIV. ANDRES RICAR CRUZ CHOCALA

Proyecto de Grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Semestre I 2017

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS

**“DIAGNÓSTICO DE LA RED DE OBSERVACIÓN HIDRO -
METEOROLÓGICA DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA Y
PROPUESTA DE RED MÍNIMA PARA LA AUSCULTACIÓN
HIDROLÓGICA DE LA PRESA CALDERAS”**

Por:

UNIV. ANDRES RICAR CRUZ CHOCALA

Semestre I 2017

TARIJA – BOLIVIA

El docente y tribunal evaluador del presente trabajo, no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleadas en la elaboración del presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A mis padres, Leonor y Sofía. A mis hermanos, Omar, Rosalía, Edith y Saúl. Por ser fuente de inspiración y de apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el hermoso don de la vida y por el simple hecho de estar aquí.

A mis padres, por el sacrificado esfuerzo realizado en todos los años de estudio siendo ejemplo de amor, fuerza, dedicación y constancia.

A mis hermanos y familiares, por todo el apoyo brindado en todo este tiempo.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y a la carrera de Ingeniería civil por la oportunidad de realizarme como profesional.

Al Ing. Moisés Perales A. Por brindarme su tiempo y ayuda para la elaboración de este trabajo.

A funcionarios y técnicos del servicio nacional de meteorología e hidrología SENAMHI del departamento de Tarija y la Oficina Técnica Nacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo OTN PB por su colaboración para la elaboración del presente trabajo.

A mis amigos, por haber compartido momentos gratos y difíciles, una promesa de amistad nos mantendrá siempre unidos pese a las distancias.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. El problema	1
1.1.1. Problemática actual	1
1.1.2. Planteamiento del problema	2
1.1.3. Formulación del problema	2
1.1.4. Sistematización del problema	3
1.2. Objetivos del proyecto.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Justificaciones del proyecto.....	4
1.3.1. Justificación académica	4
1.3.2. Justificación técnica.....	5
1.3.3. Justificación social.....	5
1.3.4. Justificación institucional	5
1.4. Marco de referencia	6
1.4.1. Marco teórico	6
1.4.2. Marco conceptual.....	10
1.4.3. Marco espacial	11
1.4.4. Marco temporal.....	11
1.5. Alcance del proyecto	11
1.6. Localización	13

CAPÍTULO 2

2. OBSERVACIONES, ESTACIONES Y REDES DE OBSERVACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA.....	15
2.1. Necesidad de datos y de información.....	15
2.2. Redes hidro – meteorológicas	16
2.2.1. Conceptos generales	16
2.2.1.1. Definición de diseño de red.....	19
2.2.1.2. La red básica	20
2.2.1.3. La red mínima	21
2.2.1.4. Red integrada	22
a. Estaciones de referencia.....	22
b. Cuencas representativas	22
c. Estaciones destinadas a fines operativos.....	23
d. Estaciones de proyecto.....	23
2.2.1.5. Análisis para el diseño de red de observación	23
a. Contexto institucional	24
b. Fines de la red	24
c. Objetivos de la red	25
d. Establecimiento de prioridades	25
e. Evaluación de las redes existentes	25
f. Diseño de la red.....	25
g. Optimización de las operaciones.....	26
h. Presupuesto	26
i. Implementación.....	26

j. Reevaluación.....	26
2.2.1.6. Densidad de estaciones de una red.....	26
2.3. Recopilación de datos.....	28
2.3.1. Selección del emplazamiento	28
2.3.1.1. Estaciones meteorológicas sinópticas	29
2.3.1.2. Estaciones climatológicas	30
2.3.1.3. Estaciones hidrométricas.....	30
2.3.2. Identificación de estaciones	31
2.3.2.1. Información descriptiva	31
2.3.3. Frecuencia de visitas a las estaciones dentro de una red	32
2.3.3.1. Estaciones manuales.....	33
2.3.3.2. Estaciones de registro.....	34
2.3.3.3. Nuevas tecnologías.....	35

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED DE OBSERVACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA..... 36

3.1. Análisis de la situación actual en Bolivia.....	36
3.1.1. Resumen del estado actual de las redes meteorológicas e hidrológicas del país.....	36
3.1.1.1. Red hidro - meteorológica distribuida en el país	38
3.2. Descripción de las instituciones que operan a nivel nacional	40
3.2.1. Servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI).....	40
3.2.1.1. Departamento de Meteorología.....	41
3.2.1.2. Departamento de Agrometeorología.....	42

3.2.1.3. Departamento de Hidrología.....	42
3.2.1.4. Organización y Personal	42
3.2.2. Administración de aeropuertos y servicios auxiliares a la navegación aérea (AASANA)	43
3.2.2.1. Organización y Personal	44
3.2.3. Sistema de información sobre seguridad alimentaria y alerta temprana (SINSAAT).....	45
3.2.4. Oficina técnica nacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo (OTN - PB) ...	46
3.3. Descripción de las instituciones que operan en el departamento	47

CAPÍTULO 4

4. DIAGNÓSTICO DE LA RED DE OBSERVACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA DENTRO DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA 49

4.1. Estaciones meteorológicas conformantes de la red departamental	52
4.1.1. Descripción de las estaciones meteorológicas conformantes de la red departamental, de acuerdo al tipo	53
4.1.1.1. Climatológica Ordinaria: denominación “CO”	53
4.1.1.2. Climatológica Principal: denominación “CP”	57
4.1.1.3. Pluviométrica: denominación “P”	61
4.1.1.4. Pluviométrica hidrológica: denominación “PH”.....	67
4.1.1.5. Sinóptica: denominación “S”	69
4.1.1.6. Automática Sinóptica Agrometeorológica: denominación “SA”	71
4.1.1.7. Automática Meteorológica: denominación “SM”	73
4.1.1.8. Termopluviométrica: denominación “TP”	77

4.1.2. Análisis de la distribución de estaciones dentro de la red de observación del departamento de Tarija	80
4.1.2.1. Distribución de estaciones en las provincias del departamento	80
4.1.2.2. Distribución de estaciones dentro de las zonas más representativas de Tarija	89
4.2. Estaciones hidrométricas conformantes de la red departamental.....	93
4.2.1. Descripción de las estaciones hidrométricas conformantes de la red departamental, de acuerdo a las variables que miden.....	85
4.2.1.1. Estaciones que cuentan con registro de aforos.....	95
4.2.1.2. Estaciones que cuentan con registro de aforos y escalas	96
4.2.1.3. Estaciones que cuentan con registro de aforos, escalas y determinación de sedimentos.....	99
4.2.2. Análisis de la distribución de estaciones dentro del departamento de Tarija	102
4.2.2.1. Distribución de estaciones dentro de las zonas más representativas de Tarija	106
4.3. Análisis de la densidad de estaciones dentro del departamento de Tarija.....	109
4.4. Situación de la cantidad de estaciones conformantes de la red de observación, en relación con años anteriores.....	114
4.5. Presentación de resultados y conclusiones del diagnóstico de la red actual de observación en el área de estudio	117
4.5.1. Análisis de la red hidro – meteorológica	117
4.5.2. Análisis sobre la distribución espacial de la red	119
4.5.3. Recomendaciones para el mejoramiento de la red de observación	120
4.5.4. Opiniones finales vertidas por el elaborador del trabajo	122

CAPÍTULO 5

5. PROPUESTA DE UNA RED PARA LA AUSCULTACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA EN LA CUENCA DE LA PRESA DE CALDERAS Y LA CUENCA DEL RIO YESERA..... 124

5.1. Establecimiento de los fines y objetivo de la red de observación	124
5.1.1. Fines operativos de la red de observación	124
5.1.2. Objetivo de la red de observación.....	126
5.2. Establecimiento de prioridades de la red de observación.....	126
5.3. Diseño de la red de observación.....	126
5.3.1. Criterios de diseño para la propuesta de la red de observación	126
5.3.2. Tipo y orden de las estaciones (parámetros observados).....	127
5.3.2.1. Estaciones meteorológicas	127
5.3.2.2. Estaciones hidrométricas.....	127
5.3.3. Número de estaciones, distribución y ubicación de las mismas	128
5.3.3.1. Criterios para la selección de los sitios para la instalación de las estaciones	128
a. Criterio de densidad	128
b. Criterio de período de registro	129
c. Criterio de garantía de funcionamiento de la estación	129
5.3.3.2. Cuenca de la Presa de Calderas.....	130
5.3.3.3. Cuenca del río Yesera	131
5.3.4. Extensión y consistencia de la información a ser recolectada.....	132
4.3.4.1. Medición de la temperatura.....	132
a. Unidades.....	132

b. Variables derivadas	132
c. Rango operacional.....	133
d. Resolución.....	133
e. Exactitud de la información.	133
f. Condiciones de emplazamiento.....	133
5.3.4.2. Medición de la presión atmosférica	134
a. Unidades.....	134
b. Variables derivadas	135
c. Rango operacional.....	135
d. Resolución.....	135
e. Exactitud de la información	135
f. Condiciones de emplazamiento.....	135
5.3.4.3. Medición de la humedad	136
a. Unidades.....	136
b. Variables derivadas	136
c. Rango Operacional.....	136
d. Resolución.....	137
e. Exactitud de la información	137
f. Condiciones de emplazamiento.....	137
5.3.4.4. Medición del viento en superficie	137
a. Unidades.....	138
b. Variables derivadas	138
c. Rango operacional.....	138

d. Resolución.....	139
e. Exactitud de la información	139
f. Condiciones de emplazamiento.....	139
5.3.4.5. Medición de la precipitación.....	140
a. Unidades.....	140
b. Variables derivadas	140
c. Rango operacional.....	140
d. Resolución.....	140
e. Exactitud de la información	140
f. Condiciones de emplazamiento.....	141
5.3.4.6. Medición de la radiación.....	141
a. Unidades.....	141
b. Variables derivadas	141
c. Rango operacional.....	142
d. Resolución.....	142
e. Exactitud de la información	142
f. Condiciones de emplazamiento.....	142
5.3.4.7. Medición de la evaporación	143
a. Unidades.....	143
b. Rango Operacional.....	143
c. Resolución.....	143
d. Exactitud de la información	143
e. Condiciones de emplazamiento.....	143

5.3.4.8. Medición de cotas	144
a. Unidades	144
b. Rango operacional.....	144
c. Resolución.....	145
d. Exactitud de la información	145
e. Condiciones de emplazamiento.....	145
5.3.4.9. Medición del caudal líquido.....	146
a. Unidades	146
a. Rango operacional.....	146
b. Resolución.....	146
c. Exactitud de la información	146
d. Condiciones de emplazamiento.....	147
5.3.5. Instrumental a ser utilizado.....	147
5.3.5.1. Instrumental en estaciones climatológicas	148
5.3.5.2. Instrumental en estaciones hidrométricas	148
5.3.6. Procedimientos de operación.....	149
5.3.6.1. Frecuencia de visitas a los recintos de las estaciones	149
5.3.6.2. Frecuencia de las observaciones	149
5.3.7. Consideraciones de seguridad.....	150
5.3.7.1. Seguridad en las estaciones de registro.....	150
a. Acceso.....	150
5.3.7.2. Precauciones de seguridad para el manejo de equipos.....	150
a. Equipos eléctricos.....	150

b. Herramientas motorizadas	151
5.3.7.3. Vestimenta de protección y equipo de seguridad.....	151
5.3.7.4. Peligros del polvo.....	151
5.3.7.5. Vehículos motorizados.....	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	152
BIBLIOGRAFÍA.....	155

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Elementos básicos del diseño de redes	8
Figura 1.2. Ubicación del departamento de Tarija.....	13
Figura 1.3. Localización del proyecto Presa de Calderas	14
Figura 2.1. Marco de análisis para el diseño y rediseño de redes	24
Figura 3.1. Comparación y distribución de Estaciones en funcionamiento y cerradas a nivel nacional	39
Figura 4.1. Distribución de Estaciones en el Departamento de Tarija.....	52
Figura 4.2. Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Climatológica Ordinaria.....	55
Figura 4.3. Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Climatológica Principal.....	59
Figura 4.4. Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Pluviométrica	64
Figura 4.5. Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Termopluviométrica.....	75
Figura 4.6. Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Termopluviométrica.....	78
Figura 4.7. Distribución de Estaciones de Observación dentro de la Red departamental	89
Figura 4.8. Distribución de Estaciones hidrométricas de acuerdo a sus variables medibles	93

Figura 4.9. Estaciones hidrométricas con aforo de caudales y escalas	97
Figura 4.10. Estaciones hidrométricas con aforo de caudales y escalas	100
Figura 4.11. Distribución de Estaciones hidrométricas dentro de la Red departamental	106
Figura 4.12. Distribución de la Superficie del Departamento por Provincias	112
Figura 4.13. Distribución de estaciones meteorológicas por Provincias	112
Figura 4.14. Distribución de estaciones hidrométricas por Provincias.....	113
Figura 4.15. Comparación de Densidades de Estaciones meteorológicas en las Provincias (estaciones por km ²)	113
Figura 4.16. Comparación de Densidades de Estaciones hidrométricas en las Provincias (estaciones por km ²)	114
Figura 4.17. Variación de cantidad de estaciones en funcionamiento	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Exactitud recomendada, expresada en el intervalo de confianza del 95% 18	
Tabla 2.2. Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km ² por estación).....	28
Tabla 3.1. Distribución de las Estaciones Meteorológicas que existen en el país de acuerdo al Departamento donde se ubican.....	38
Tabla 3.2. Distribución de las Estaciones Hidrométricas que existen en el país de acuerdo al Departamento donde se ubican.....	39
Tabla 4.1. Tipos de estaciones en Funcionamiento dentro del departamento de Tarija	52
Tabla 4.2. Climatológicas Ordinarias en funcionamiento.....	54
Tabla 4.3. Climatológicas Ordinarias Cerradas	54
Tabla 4.4. Climatológicas Principales en funcionamiento.....	57
Tabla 4.5. Climatológicas Principales Cerradas	58
Tabla 4.6. Pluviométricas en funcionamiento.....	61
Tabla 4.7. Pluviométricas Cerradas	62
Tabla 4.8. Pluviométricas hidrológicas en funcionamiento	67
Tabla 4.9. Sinópticas en funcionamiento	69
Tabla 4.10. Automáticas Sinópticas Agrometeorológicas Cerradas	71
Tabla 4.11. Automáticas Meteorológicas en funcionamiento.....	73
Tabla 4.12. Automáticas Meteorológicas Cerradas	73
Tabla 4.13. Termopluviométricas en funcionamiento	77

Tabla 4.14. Termopluviométricas Cerradas	77
Tabla 4.15. Distribución de estaciones en la provincia Arce	80
Tabla 4.16. Distribución de estaciones en la provincia Avilés	80
Tabla 4.17. Distribución de estaciones en la provincia Cercado	83
Tabla 4.18. Distribución de estaciones en la provincia Gran Chaco.....	83
Tabla 4.19. Distribución de estaciones en la provincia Méndez.....	86
Tabla 4.20. Distribución de estaciones en la provincia O'Connor.....	86
Tabla 4.21. Estaciones conformantes de la Zona 1	90
Tabla 4.22. Estaciones conformantes de la Zona 2	90
Tabla 4.23. Estaciones conformantes de la Zona 3	91
Tabla 4.24. Estaciones Hidrométricas dentro del departamento de Tarija.....	93
Tabla 4.25. Estaciones hidrométricas con aforos de caudales	95
Tabla 4.26. Estaciones hidrométricas con aforos de caudales y escalas	96
Tabla 4.27. Estaciones hidrométricas con aforos de caudales y escalas	99
Tabla 4.28. Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Arce	102
Tabla 4.29. Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Avilés	102
Tabla 4.30. Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Cercado	103
Tabla 4.31. Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Gran Chaco.	103
Tabla 4.32. Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Méndez.....	105
Tabla 4.33. Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Méndez.....	105
Tabla 4.34. Estaciones hidrométricas conformantes de la Zona 1	106
Tabla 4.35. Estaciones hidrométricas conformantes de la Zona 2	107
Tabla 4.36. Estaciones hidrométricas conformantes de la Zona 3	107

Tabla 4.37. Densidad de estaciones meteorológicas en el departamento de Tarija .	109
Tabla 4.38. Densidad de estaciones hidrométricas en el departamento de Tarija....	109
Tabla 4.39. Densidad de Estaciones meteorológicas en las Provincias	111
Tabla 4.40. Densidad de Estaciones hidrométricas en las Provincias.....	111

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A - ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO Y CERRADAS DISPONIBLES EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA.

ANEXO B - ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO CON PERIODO DE REGISTRO DE 1 A 10 AÑOS.

ANEXO C - ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO CON PERIODO DE REGISTRO DE 11 A 20 AÑOS.

ANEXO D - ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO CON PERIODO DE REGISTRO DE 21 A 30 AÑOS.

ANEXO E - ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO CON PERIODO DE REGISTRO DE 31 A 40 AÑOS.

ANEXO F - ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO CON PERIODO DE REGISTRO DE 41 A 70 AÑOS.

ANEXO G - MANUAL DE PROPUESTA PARA UNA RED DE OBSERVACIÓN EN LA PRESA DE CALDERAS Y LA CUENCA DEL RÍO YESERA.

ANEXO H - CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE ALGUNOS INSTRUMENTOS.

ANEXO I - PLANILLAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.