

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	10
1. ANTECEDENTES.....	12
2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	14
3. JUSTIFICACIÓN.....	15
4. IMPORTANCIA EN LA CARRERA Y EL MEDIO.....	16
5. OBJETIVOS.....	17
5.1 OBJETIVO GENERAL	17
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
6. ALCANCE Y PRODUCTOS.....	18
7. MARCO TEÓRICO	19
7.1 LA FUERZA HIDROELÉCTRICA.....	19
7.2 LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS A PEQUEÑA ESCALA.....	20
7.3 ESTUDIO DE DEMANDA	22
7.4 PARÁMETROS BÁSICOS PARA UNA MICROCENTRAL	23
7.5 COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA	26
7.6 DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE TURBINAS	27
7.7 SELECCIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS	28
7.8 IMPACTO AMBIENTAL	30
7.9 EVALUACIÓN DE VIABILIDAD FINANCIERA.....	33
8. LOCALIZACION DE LA MICROCENTRAL.....	34
8.1 MACROLOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	34
8.2 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE QUEBRADAS	35
8.3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE QUEBRADAS.....	36
8.4 SELECCIÓN DE LOCALIZACIÓN	38
8.5 OPCIONES DE UBICACIÓN DE BOCATOMA.....	40

8.6 UBICACIÓN DE LA CASA DE MÁQUINAS	42
8.7 INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA	43
8.8 INFORME DE DEMANDA DEL PARQUE EL SALADO.....	45
8.9 CAUDAL DE DISEÑO.....	49
9. NORMATIVIDAD PARA DISEÑO DE MICROCENTRALES.....	50
10. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE COMPONENTES.....	52
10.1 DISEÑO DE BOCATOMA DE REJILLA DE FONDO.....	52
10.2 CONDUCCIÓN	65
10.3 CAJA DE SALIDA DE LA BOCATOMA	72
10.4 DESARENADOR	74
10.5 TANQUE DE CARGA	79
10.6 TUBERÍA DE PRESIÓN	81
10.7 DISEÑO DE APOYOS Y ANCLAJES DE TUBERÍAS	86
10.8 VÁLVULAS Y COMPUERTA	91
10.9 SELECCIÓN DE TURBINA.....	95
10.10 CASA DE MÁQUINAS	100
10.11 COMPONENTES ELECTRICOS	101
11. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	105
11.1 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO	105
11.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	106
12. CONCLUSIONES	107
12.1 CONCLUSIONES DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	107
12.2 CONCLUSIONES GENERALES	108
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS.....	114

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación según potencial.....	22
Tabla 2. Características principales de las turbinas.....	28
Tabla 3. Impacto ambiental de sistemas de producción eléctrica.....	31
Tabla 4. Datos generales de subcuencas y microcuencas de interés.....	35
Tabla 5. Índice de escasez de quebradas de interés.....	36
Tabla 6. Comparación de datos entre quebradas.....	37
Tabla 7. Caudales de la quebrada la Ayurá en el año.....	39
Tabla 8. Datos de caudales a considerar.....	40
Tabla 9. Detalle de consumo energético de zonas del Parque.....	45
Tabla 10. Selección de zonas de abastecimiento.....	48
Tabla 11. Coordenadas del perfil Creager.....	54
Tabla 12. Relaciones de $Yr1/Yc1$ vs $Yr1/Erej$ en bocatoma sumergida.....	60
Tabla 13. Iteraciones para canal recolector.....	64
Tabla 14. Coeficientes de pérdidas en curvas.....	69
Tabla 15. Características del conjunto turbina/generador.....	99
Tabla 16. Datos operativos del conjunto turbina/generador.....	99
Tabla 17. Caída de tensión para cables de cobre AWG.....	103

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ciclo hidrológico	19
Figura 2. Central hidroeléctrica a pequeña escala	20
Figura 3. Central de agua fluyente	21
Figura 4. Diagrama de componentes de una microcentral	26
Figura 5. Diagrama descriptivo del tipo de turbinas	27
Figura 6. Rangos de operación de turbinas	29
Figura 7. Perfiles longitudinales de dos quebradas	37
Figura 8. Primera opción de captación en cota 1846 msnm.....	41
Figura 9. Segunda opción de captación en cota 1815 msnm.....	41
Figura 10. Tercera opción de captación en cota 1808 msnm.....	42
Figura 11. Ubicación casa de máquinas	43
Figura 12. Vista satelital del Parque Ecoturístico	44
Figura 13. Esquema de una bocatoma de rejilla de fondo	52
Figura 14. Representación de variables del vertedero	55
Figura 15. Relación para cálculo de diente del dique	57
Figura 16. Esquema de variables para cálculos de rejilla.....	58
Figura 17. Esquema de variables en el canal recolector	63
Figura 18. Configuración del conjunto desarenador – tanque de carga	81
Figura 19. Tubería de carga	81
Figura 20. Esquema de anclajes en tubería de presión	87
Figura 21. Diagrama de fuerzas en anclaje.....	90
Figura 22. Válvula de mariposa	92
Figura 23. Esquema para empuje resultante en compuerta.....	93
Figura 24. Compuerta deslizante	94
Figura 25. Gráfico de rangos de turbinas.....	96
Figura 26. Correlación de velocidades específicas	98
Figura 27. Turbina Betta modelo P600	100

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Estimación inicial de potencia disponible.....	25
Ecuación 2. Caudal de diseño.....	25
Ecuación 3. Cálculo de caudal disponible.....	36
Ecuación 4. Cálculo del salto bruto.....	43
Ecuación 5. Cálculo del salto neto.....	44
Ecuación 6. Relación entre Q_d/Q_{disp}	49
Ecuación 7. Fórmula de Francis para vertederos.....	53
Ecuación 8. Velocidad media de flujo.....	53
Ecuación 9. Carga por velocidad H_a	54
Ecuación 10. Fórmula para el perfil Creager.....	54
Ecuación 11. Velocidad V_1 al pie del vertedero.....	56
Ecuación 12. Altura Y_1 de salida al pie del vertedero.....	56
Ecuación 13. Cálculo de número de Froude.....	56
Ecuación 14. Altura Y_2 del agua al pasar el diente.....	57
Ecuación 15. Altura Y_3 a la salida del pozo de aquietamiento.....	58
Ecuación 16. Longitud del pozo de aquietamiento L_{po}	58
Ecuación 17. Profundidad crítica en canales rectangulares.....	59
Ecuación 18. Velocidad crítica en canales rectangulares.....	59
Ecuación 19. Energía específica mínima en canales abiertos.....	59
Ecuación 20. Energía específica E_{rej} para rejilla.....	60
Ecuación 21. Altura Y_{r2} a la salida de la rejilla.....	61
Ecuación 22. Determinación del número de varillas n_{var}	61
Ecuación 23. Ancho de la rejilla b_t	62
Ecuación 24. Altura H_{c1} al inicio del canal recolector.....	64
Ecuación 25. Altura total H_{ca} en canal recolector.....	64
Ecuación 26. Rugosidad relativa de tubería.....	67
Ecuación 27. Velocidad a tubo lleno.....	67
Ecuación 28. Viscosidad cinemática del agua.....	67

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 29. Número de Reynolds Re	67
Ecuación 30. Fórmula de Darcy-Weisbach en tuberías.....	68
Ecuación 31. Hazen-Williams para sistema métrico.....	69
Ecuación 32. Pérdidas por turbulencia en tubería.....	70
Ecuación 33. Sobrepresión máxima Δh_{max}	71
Ecuación 34. Espesor teórico en mm.....	72
Ecuación 35. Sumergencia mínima para tubería.....	72
Ecuación 36. Diámetro de tubería según Hazen-Williams.....	73
Ecuación 37. Factor para tipo de planta.....	74
Ecuación 38. Formula de Stokes para sedimentación.....	75
Ecuación 39. Tiempo ideal de sedimentación t_i	76
Ecuación 40. Tiempo real de sedimentación t_r	76
Ecuación 41. Capacidad C_{dr} del desarenador.....	76
Ecuación 42. Superficie real A_d del desarenador.....	76
Ecuación 43. Superficie mínima requerida A_{req} en el desarenador.....	77
Ecuación 44. Pérdidas h_{jr} en rejilla por turbulencia.....	83
Ecuación 45. Pérdida de carga h_{ad} en rejilla por ángulo.....	83
Ecuación 46. Fuerza de fricción F_1	88
Ecuación 47. Peso de tubería por unidad de longitud.....	88
Ecuación 48. Peso del agua en tubo por unidad de longitud.....	88
Ecuación 49. Fuerza F_2 debido a la presión hidrostática.....	89
Ecuación 50. Fuerza F_3 debido a la cantidad de movimiento.....	90
Ecuación 51. Empuje resultante en compuerta.....	92
Ecuación 52. Centro de presión en compuerta.....	93
Ecuación 53. Velocidad específica de turbinas.....	96
Ecuación 54. Potencia eléctrica aparente.....	101
Ecuación 55. Porcentaje de caída de tensión.....	102
Ecuación 56. Tensión de fase.....	104

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Cartilla de orientación para Microcentrales hidroeléctricas	114
Anexo B. Informe de actividad de aforo en quebrada la Ayurá	115
Anexo C. Mapa esquemático del Parque Ecoturístico el Salado	117
Anexo D. Matriz de alternativas en componentes	118
Anexo E. Plano topográfico	119
Anexo F. Diagrama de Moody	120
Anexo G. Esquema de dimensionamiento de bocatoma	121
Anexo H. Esquema de dimensionamiento desarenador-tanque de carga	122
Anexo I. Dimensionamiento de casa de máquinas	123
Anexo J. Evaluación financiera del Proyecto	125
Anexo K. Datos de tubería y accesorios PAVCO Unión Platino	129