

Universidad Católica Andrés Bello

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO
EL LIMÓN COMO FUENTE DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A
PUERTO CRUZ, ESTADO LA GUAIRA, VENEZUELA**

Trabajo Especial de Grado

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Autores:

GONZÁLEZ MILANO, Analuisa

PÁEZ RODRÍGUEZ, Melanie de las Nieves

Tutor: Ing. GÓMEZ, José Manuel

Junio de 2023

Universidad Católica Andrés Bello

Facultad de Ingeniería

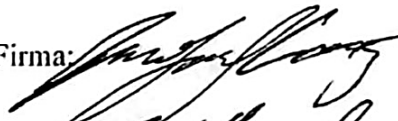
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO
EL LIMÓN COMO FUENTE DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A
PUERTO CRUZ, ESTADO LA GUAIRA, VENEZUELA**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el
resultado: **VEINTE (20) puntos.**

JURADO EXAMINADOR

Firma:


Nombre: José Manuel Gómez

Firma:


Nombre: CARLO Gedfin

Firma:


Nombre: José M. Divassón

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre, quien me ha brindado su apoyo incondicional, su amor y su comprensión todos estos años. Gracias por ser mi inspiración y por motivarme a siempre seguir adelante y a cumplir mis sueños.

A mi familia, tanto a los que han estado desde lejos apoyándome y creyendo en mí, como a los que han podido estar aquí conmigo en esta etapa de mi vida. A todos, les estoy inmensamente agradecida, sin ustedes esto no sería posible.

A mis amigos, del colegio y de la universidad, les agradezco por confiar en mí, por apoyarme y animarme a seguir, por todas las risas y los buenos momentos, gracias a ustedes este camino fue mucho más fácil para mí.

Melanie de las Nieves Páez Rodríguez

A nuestro tutor, el Ing. José Manuel Gómez por todo su apoyo y comprensión en esta última etapa de nuestra carrera. Gracias a su motivación y a su disposición pudimos lograrlo.

Por último, queremos agradecer a nuestra querida universidad por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales con profesores increíbles, que nos ayudaron a cumplir este sueño.

Analuisa González Milano & Melanie de las Nieves Páez Rodríguez

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO EL LIMÓN COMO FUENTE DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PUERTO CRUZ, ESTADO LA GUAIRA, VENEZUELA

Autores:

González Milano, Analuisa & Páez Rodríguez, Melanie de las Nieves

Tutor:

Gómez, José Manuel

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el potencial hidroeléctrico de la cuenca del río El Limón, en Puerto Cruz ubicada en el estado La Guaira, Venezuela. Para ello, se recopiló información sobre la topografía del terreno y el caudal circulante por el río El Limón. Luego, se realizó la divisoria de cuencas y subcuencas, lo que permitió determinar los caudales correspondientes a cinco puntos de aprovechamiento seleccionados, empleando la metodología de correlación de cuencas. Posteriormente, se determinaron los caudales medios mensuales para el 95%, 90%, 85% y 80% de garantía, con los cuales se determinaron los caudales ecológicos que definieron los caudales aprovechables en todos los puntos de estudio. Dichos resultados permitieron obtener los caudales a turbinar, considerando los caudales máximos turbinables, y finalmente se determinaron las potencias y energías generadas en todos los puntos de aprovechamiento. Por último, se realizó una visita de campo donde se determinó el consumo eléctrico y las necesidades energéticas de la población, con la finalidad de proponer posibles usos de la energía generada en la cuenca.

Palabras clave: potencial hidroeléctrico, hidroelectricidad, energía, potencia, pequeñas centrales hidroeléctricas.

ABSTRACT

This study evaluated the hydroelectric potential of the El Limón river basin in Puerto Cruz, located in the state of La Guaira, Venezuela. For this purpose, information was collected on the topography of the terrain and the flow rate of the El Limón river. Then, the division of basins and sub-basins was carried out, which made it possible to determine the flows corresponding to the five selected harnessing points, using the basin correlation methodology. Subsequently, the average monthly flows were determined for 95%, 90%, 85% and 80% of guarantee, which were used to determine the ecological flows that defined the usable flows at all the harnessing points. These results made it possible to obtain the flows to be turbined, considering the maximum turbineable flows, and finally, the power and energy generated at all the harnessing points were determined. Finally, a field visit was made to determine the electricity consumption and energy needs of the population, in order to propose possible uses for the energy generated in the basin.

Key words: hydroelectric potential, hydroelectricity, energy, power, small hydroelectric power plants.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos de la investigación.....	3
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3. Alcance y limitaciones.....	3
1.4. Justificación	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.1.1. <i>Hidroelectricidad en el mundo</i>	4
2.1.2. <i>Hidroelectricidad en Venezuela</i>	5
2.1.3. <i>Situación actual en Puerto Cruz</i>	5
2.1.4. <i>Estudios previos sobre potencial hidroeléctrico</i>	6
2.2. Conceptos básicos.....	7
2.3. Hidroelectricidad	8
2.4. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.....	9
2.4.1. <i>Clasificación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas</i>	11
2.4.2. <i>Componentes de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas</i>	14
2.5. Estudios requeridos para una Pequeña Central Hidroeléctrica.....	14
2.5.1. <i>Cartografía</i>	14
2.5.2. <i>Hidrología</i>	14
2.6. Caudales de diseño	15
2.6.1. <i>Correlación de cuencas</i>	16
2.6.2. <i>Curva de duración de caudales</i>	16

2.6.3.	<i>Caudal ecológico</i>	16
2.6.4.	<i>Caudal aprovechable</i>	17
2.6.5.	<i>Caudal a turbinar</i>	18
2.7.	Tubería Forzada.....	18
2.8.	Potencia	19
2.9.	Turbinas	19
2.10.	Demanda eléctrica.....	21
2.10.1.	<i>Demanda eléctrica para uso residencial</i>	21
2.10.2.	<i>Demanda eléctrica para alumbrado público</i>	21
2.10.3.	<i>Demanda eléctrica para conservación y congelación de productos alimenticios</i>	22
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....		23
3.1.	Tipo de investigación.....	23
3.2.	Búsqueda de información	23
3.3.	Delimitación de la cuenca hidrográfica	24
3.4.	Selección de los puntos de aprovechamiento hidroeléctrico	24
3.4.1.	<i>Salto bruto</i>	25
3.5.	Determinación de caudales medios mensuales.....	25
3.5.1.	<i>Correlación de cuencas</i>	26
3.5.2.	<i>Curva de duración de caudales</i>	27
3.6.	Caudal ecológico	27
3.7.	Cálculo hidráulico de la tubería forzada.....	28
3.7.1.	<i>Caudal máximo turbinable</i>	28
3.7.2.	<i>Caudal a turbinar</i>	29
3.7.3.	<i>Pérdidas de energía</i>	29

3.8.	Determinación del potencial hidroeléctrico.....	30
3.9.	Determinación de la energía generada.....	30
3.10.	Selección del tipo de turbina.....	31
3.11.	Estimación de la demanda eléctrica.....	31
3.11.1.	<i>Demanda eléctrica para uso residencial</i>	31
3.11.2.	<i>Demanda eléctrica para alumbrado público</i>	32
3.11.3.	<i>Demanda eléctrica para conservación y congelación de productos alimenticios</i>	32
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		34
4.1.	Cuenca del Río El Limón	34
4.2.	Puntos de aprovechamiento	35
4.3.	Caudales medios mensuales	38
4.4.	Caudal aprovechable.....	43
4.5.	Diámetro de la tubería forzada	44
4.6.	Caudal máximo turbinable.....	46
4.7.	Caudal a turbinar	46
4.8.	Salto neto	47
4.9.	Potencia generada	48
4.10.	Análisis de costos de la tubería forzada.....	51
4.11.	Energía generada.....	54
4.12.	Análisis de costos de inversión	56
4.13.	Demanda eléctrica.....	57
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		66
5.1.	Conclusiones.....	66
5.2.	Recomendaciones	69

BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas	10
Tabla 2. Clasificación de centrales hidroeléctricas de acuerdo con su potencia instalada	12
Tabla 3. Clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas con acuerdo a su potencia instalada	12
Tabla 4. Clasificación del salto de agua de pequeñas centrales hidroeléctricas	13
Tabla 5. Clasificación de centrales hidroeléctricas de acuerdo con el tipo de aprovechamiento	13
Tabla 6. Recomendaciones de diversos autores para evaluar la demanda de potencia pico de poblaciones rurales	21
Tabla 7. Tabla resumen de las características planialtimétricas de los puntos de aprovechamiento	38
Tabla 8. Características morfológicas de cada punto de toma	40
Tabla 9. Caudales medios mensuales del Punto de toma 4 en el río El Limón para diferentes porcentajes de garantía seleccionados	42
Tabla 10. Caudales aprovechables del Punto 4 en el río El Limón para el 90% de garantía	44
Tabla 11. Diámetros seleccionados de las tuberías forzadas de los puntos de aprovechamiento	45
Tabla 12. Caudales mensuales a turbinar del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	47
Tabla 13. Cálculo hidráulico del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	48

Tabla 14. Potencia generada del punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	49
Tabla 15. Tipo de turbinas adecuadas para cada uno de los puntos del estudio	50
Tabla 16. Costos de las tuberías forzadas de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía	51
Tabla 17. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía	52
Tabla 18. Energías generadas en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	54
Tabla 19. Resumen de energías producidas de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía	56
Tabla 20. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía	57
Tabla 21. Consumo mensual de energía de los electrodomésticos en el estudio	58
Tabla 22. Demanda mensual de uso residencial de acuerdo con las metodologías aplicadas	59
Tabla 23. Demanda mensual para la conservación y congelación de productos alimenticios	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Nacional del Estado La Guaira	2
Figura 2. Ubicación regional de Puerto Cruz en el Estado La Guaira	2
Figura 3. Producción mundial bruta de electricidad por fuente	4
Figura 4. Campo de utilización recomendado de los diferentes tipos de turbinas de acuerdo con el salto y el caudal	20
Figura 5. Cuenca del Río El Limón, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira	34
Figura 6. Imagen en sitio de la ubicación de la casa de máquinas 1	35
Figura 7. Imagen en sitio de la ubicación de punto de toma 2	36
Figura 8. Imagen en sitio de la ubicación de la casa de máquinas 3	36
Figura 9. Imagen en sitio de la ubicación del punto de aprovechamiento 4	37
Figura 10. Imagen en sitio de la ubicación de punto de toma 5	37
Figura 11. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4	41
Figura 12. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4	41
Figura 13. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4	42
Figura 14. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	46
Figura 15. Potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	50
Figura 16. Energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	55
Figura 17. Curva de carga mensual del Punto 4 con diámetro 400 mm todos los porcentajes de garantía	60

ÍNDICE ANEXOS

Anexo A. Antecedentes de la hidroelectricidad.....	78
Anexo B. Algunas normativas sobre energías renovables.....	79
Anexo C. Componentes de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.....	80
Anexo D. Características físicas del método de correlación de cuencas.....	81
Anexo E. Delimitación de las subcuencas.....	82
Anexo E1. Delimitación de la subcuenca del Punto 1 en la quebrada Tamaira, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira	82
Anexo E2. Delimitación de la subcuenca del Punto 2 en la quebrada Caguaita, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira	83
Anexo E3. Delimitación de la subcuenca del Punto 3 en el Río El Limón, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira	84
Anexo E4. Delimitación de la subcuenca del Punto 4 en el Río El Limón, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira	85
Anexo E5. Delimitación de la subcuenca del Punto 5 en el Río El Limón, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira	86
Anexo F. Perfiles longitudinales.....	87
Anexo F1. Perfil longitudinal del cauce principal del Punto 1 en la quebrada Tamaira..	87
Anexo F2. Perfil longitudinal del cauce principal del Punto 2 en la quebrada Caguaita ..	88
Anexo F3. Perfil longitudinal del cauce principal del Punto 3, 4 y 5 en el río El Limón	89
Anexo G. Caudales medios mensuales.....	90
Anexo G1. Caudales medios mensuales de la cuenca base del río El Limón	90
Anexo G2. Caudales medios mensuales del Punto 1 en la quebrada Tamaira	91
Anexo G3. Caudales medios mensuales del Punto 2 en la quebrada Caguaita	92
Anexo G4. Caudales medios mensuales del Punto 3 en el río El Limón.....	93
Anexo G5. Caudales medios mensuales del Punto 4 en el río El Limón.....	94
Anexo G6. Caudales medios mensuales del Punto 5 en el río El Limón.....	95

Anexo H. Curvas de duración de caudales.....96

Anexo H1. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 1.....96

Anexo H2. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 1.....96

Anexo H3. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 1.....97

Anexo H4. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 2.....97

Anexo H5. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 2.....98

Anexo H6. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 2.....98

Anexo H7. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 3.....99

Anexo H8. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 3.....99

Anexo H9. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 3.....100

Anexo H10. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4.....100

Anexo H11. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4.....101

Anexo H12. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4.....101

Anexo H13. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 5.....102

Anexo H14. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 5.....102

Anexo H15. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 5.....103

Anexo I. Curvas de caudales máximos turbinables.....104

Anexo I1. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 1 con diámetro 150 mm104

Anexo I2. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 2 con diámetro 100 mm104

Anexo I3. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 3 con diámetro 500 mm105

Anexo I4. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 4 con diámetro 400 mm105

Anexo I5. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 5 con diámetro 400 mm106

Anexo J. Potencia y energía generada mensualmente.....107

Anexo J1. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 95% de garantía 107

Anexo J2. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 90% de garantía 108

Anexo J3. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 85% de garantía 109

Anexo J4. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 80% de garantía 10910

Anexo J5. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 95% de garantía 111

Anexo J6. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 90% de garantía 112

Anexo J7. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 85% de garantía 113

Anexo J8. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 80% de garantía 114

Anexo J9. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 95% de garantía 115

Anexo J10. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 90% de garantía 116

Anexo J11. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 85% de garantía 117

Anexo J12. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 80% de garantía	118
Anexo J13. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía	119
Anexo J14. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	120
Anexo J15. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía	121
Anexo J16. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía	122
Anexo J17. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía	123
Anexo J18. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	124
Anexo J19. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía	125
Anexo J20. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía	126
Anexo K. Gráficos de potencia generada mensualmente.....	127
Anexo K1. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 95% de garantía	127
Anexo K2. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 90% de garantía	127
Anexo K3. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 85% de garantía	128
Anexo K4. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 80% de garantía	128
Anexo K5. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 95% de garantía	129
Anexo K6. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 90% de garantía	129

Anexo K7. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 85% de garantía	130
Anexo K8. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 80% de garantía	130
Anexo K9. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 95% de garantía	131
Anexo K10. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 90% de garantía	131
Anexo K11. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 85% de garantía	132
Anexo K12. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 80% de garantía	132
Anexo K13. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía	133
Anexo K14. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	133
Anexo K15. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía	134
Anexo K16. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía	134
Anexo K17. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía	135
Anexo K18. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	135
Anexo K19. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía	136
Anexo K20. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía	136

Anexo L. Gráficos de energía generada mensualmente.....137

Anexo L1. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 95% de garantía 137

Anexo L2. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 90% de garantía 137

Anexo L3. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 85% de garantía 138

Anexo L4. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 80% de garantía 138

Anexo L5. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 95% de garantía 139

Anexo L6. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 90% de garantía 139

Anexo L7. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 85% de garantía 140

Anexo L8. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 80% de garantía 140

Anexo L9. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 95% de garantía 141

Anexo L10. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 90% de garantía 141

Anexo L11. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 85% de garantía 142

Anexo L12. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 80% de garantía 142

Anexo L13. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía 143

Anexo L14. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía 143

Anexo L15. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía 144

Anexo L16. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía	144
Anexo L17. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía	145
Anexo L18. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía	145
Anexo L19. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía	146
Anexo L20. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía	146
Anexo M. Costos de la tubería forzada para diferentes diámetros de tubería.....	147
Anexo M1. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 95% de garantía	147
Anexo M2. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía	148
Anexo M3. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 85% de garantía	149
Anexo M4. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 80% de garantía	150
Anexo N. Costos totales del aprovechamiento por energía generada.....	151
Anexo N1. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 95% de garantía	151
Anexo N2. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía	151
Anexo N3. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 85% de garantía	152
Anexo N4. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 80% de garantía	152

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La energía hidroeléctrica se caracteriza por ser una energía limpia y renovable, razón por la cual la convierte como una de las energías con mayor atractivo a nivel mundial, usada en zonas donde se presenta la suficiente cantidad de agua y el desnivel adecuado para producir energía.

La energía hidroeléctrica generada en Venezuela se encuentra dividida en dos grandes focos, uno en la cuenca baja del río Caroní y otro en la región andina. Sin embargo, el suministro de energía eléctrica actualmente es un bien al cual muchas personas no tienen acceso continuo, en algunos casos puede llegar hasta un par de días o incluso más sin electricidad; como bien se sabe, el acceso al suministro eléctrico transforma la calidad de vida, el acceso a los servicios básicos y la subsistencia, por lo que, la falta de este recurso afecta negativamente al desarrollo del país.

Por consiguiente, se presentan las pequeñas centrales hidroeléctricas como una excelente solución para lograr un desarrollo hidroeléctrico en el país, considerando además aspectos ambientales y económicos, y como indica Liu et al. (2019), una pequeña central hidroeléctrica puede producir hasta 10 MW pudiendo abastecer la demanda eléctrica de comunidades remotas y vulnerables, la cual además, ofrece una oportunidad para solucionar el acceso a energía renovable, reduciendo las emisiones de gases invernadero y garantizando una mayor independencia energética.

En el presente trabajo se determina el potencial hidroeléctrico del Río El Limón en Puerto Cruz, Estado La Guaira. La población de Puerto Cruz está conformada por un pequeño pueblo agroturístico pesquero ubicado al norte del país, en el municipio Carayaca del estado La Guaira; los accesos al lugar pueden ser por vía terrestre desde la Colonia Tovar o Chichiriviche de la Costa, o vía marítima mediante lanchas.

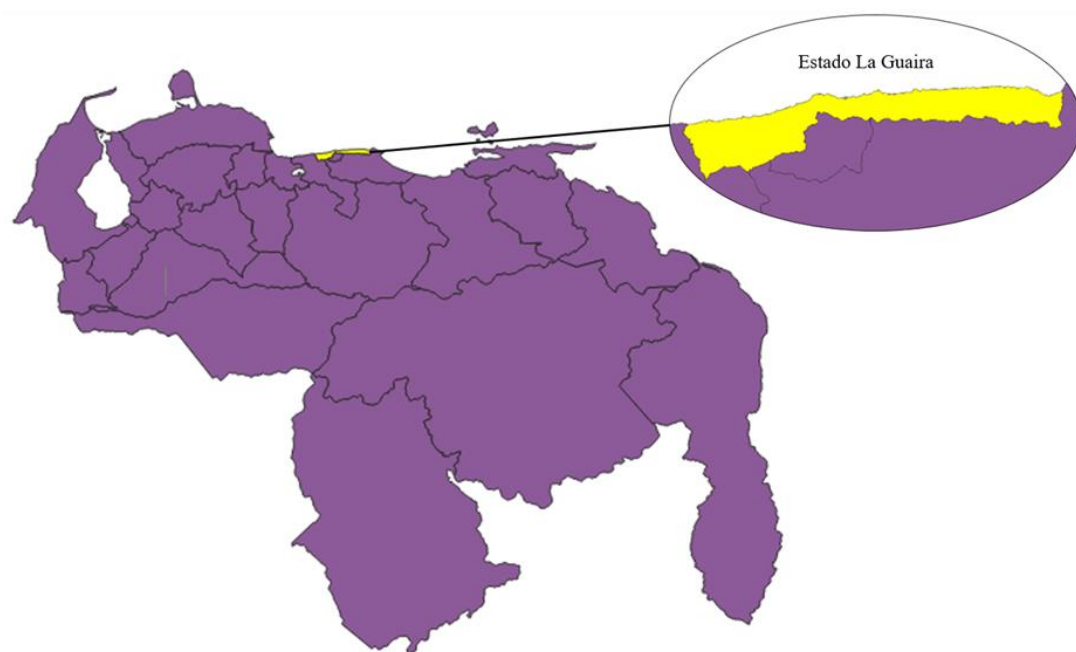


Figura 1. Ubicación Nacional del Estado La Guaira

Nota. Adaptado del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (2023).

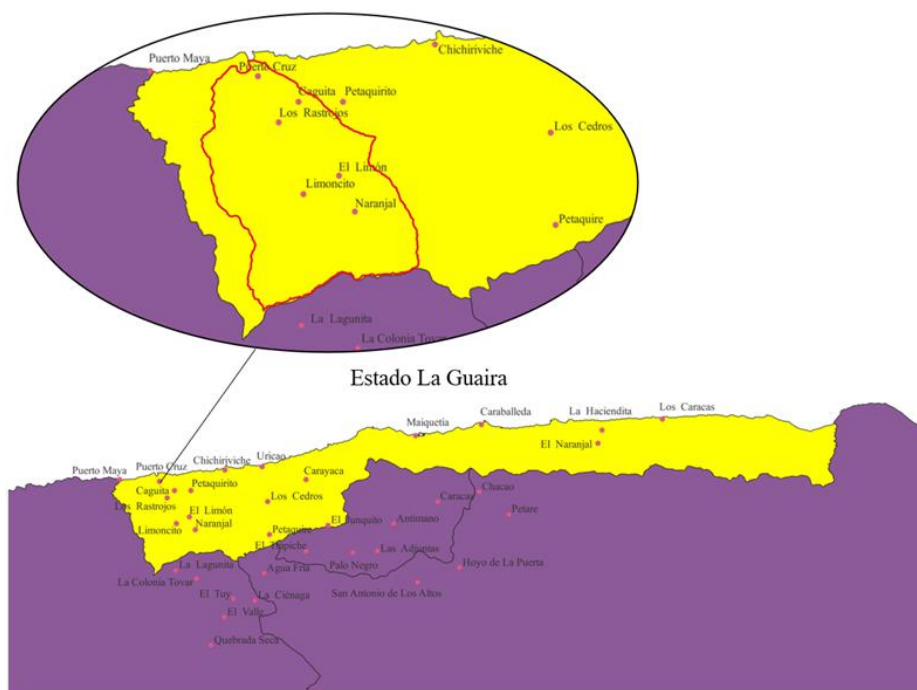


Figura 2. Ubicación regional de Puerto Cruz en el Estado La Guaira

Nota. Adaptado del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (2023).

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. *Objetivo General*

Evaluar el potencial hidroeléctrico de la cuenca del río El Limón para el suministro de energía hidroeléctrica a la población de Puerto Cruz, estado La Guaira, Venezuela.

1.2.2. *Objetivos Específicos*

- Analizar el potencial hidroeléctrico de la cuenca del río El Limón, estado La Guaira, Venezuela.
- Evaluar la capacidad del río El Limón como fuente de generación hidroeléctrica a pequeña escala para el suministro de la población de Puerto Cruz.
- Determinar el tipo de aprovechamiento óptimo de la potencia generada del río en estudio.

1.3. Alcance y limitaciones

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar el potencial hidroeléctrico de la cuenca del río El Limón para proveer energía eléctrica parcial o total a la población de Puerto Cruz y seleccionar la ubicación idónea de aprovechamiento hídrico, así como la alternativa más eficiente de extracción de este potencial.

Un estudio completo sobre la ubicación del sitio de interés requeriría de evaluaciones preliminares que podrían determinar su factibilidad, así como estudios geotécnicos o levantamientos topográficos para obtener planos detallados. También sería necesario detallar cálculos para la selección de equipos y elementos que componen la central hidroeléctrica, así como un estudio socioeconómico y ambiental, sin embargo, el alcance de este trabajo se limita a la evaluación del potencial hidroeléctrico de la cuenca del río El Limón.

1.4. Justificación

El funcionamiento de las centrales hidroeléctricas en Venezuela no logra abarcar a todo el territorio nacional, dejando a muchas personas sin acceso a la energía eléctrica constante o sin suministro de energía en lo absoluto. En consecuencia, se busca ofrecer una alternativa económica y con un impacto ambiental comparativamente reducido, como es el uso de pequeñas centrales hidroeléctricas para impulsar el desarrollo e integración de aquellas comunidades cercanas que viven en condiciones precarias.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Hidroelectricidad en el mundo

Actualmente la hidroelectricidad se mantiene como la mayor fuente de energía renovable por capacidad y generación, cuyo potencial puede seguir siendo explotado a futuro en lugares como África, Asia y América Latina, a fin de ampliar el acceso a la electricidad y al desarrollo económico. Su importancia se ve reflejada en los datos obtenidos por la Agencia Internacional de la Energía (AIE, 2021), donde la energía hidroeléctrica produce alrededor del 2,6% de la electricidad mundial, como se muestra en la Figura 3, ubicándose como la mayor fuente de generación de energía renovable.

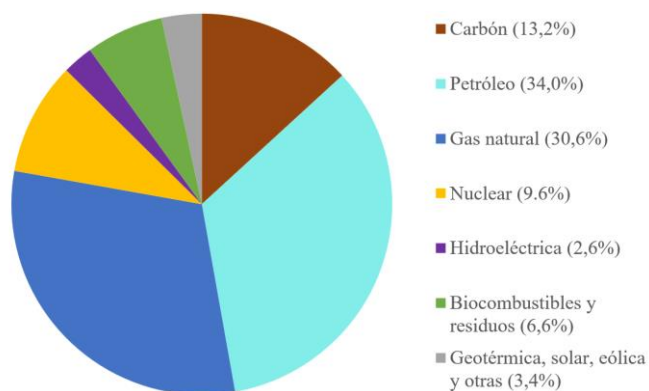


Figura 3. Suministro total de energía por fuente

Nota. Adaptado de la AIE (2021)

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), en su informe de Estadísticas de Energía Renovable 2022 reflejó que a nivel mundial la capacidad de todas las energías renovables fue de 2.808 GW con una producción de 7.468 TWh en el año 2020. En ese mismo año, la capacidad de origen hidroeléctrico fue de 1.335 GW con una producción de 4.476 TWh.

De acuerdo con el Informe Mundial sobre el Desarrollo de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas del 2019 publicado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la capacidad mundial de las pequeñas centrales hidroeléctricas de hasta 10 MW fue de aproximadamente 78 GW, que representó el 4,5% de la capacidad total de energía renovable y 7,5% de la capacidad total de energía hidroeléctrica.

Por su parte, las capacidades instaladas por región fueron de: 65% Asia, 25% Europa, 8% América, 1% África y 1% Oceanía.

La implementación de las pequeñas centrales hidroeléctricas representa una alternativa de aprovechamiento a menor escala con impactos ambientales reducidos; que adicionalmente garantizan mayor independencia energética en las zonas rurales remotas de baja densidad con el fin de mejorar la calidad de vida de las comunidades, crear empleos y mejorar la salud de la población.

2.1.2. *Hidroelectricidad en Venezuela*

La primera planta hidroeléctrica en el país fue la Estación El Encantado, construida en 1897 por la Electricidad de Caracas e ideada por el Ing. Ricardo Zuloaga. Posteriormente, en 1933 entraron en funcionamiento las hidroeléctricas de Mamo, Caoma y Carapa (Valery et al., 2022).

Más adelante en 1948 se preparó el Plan Nacional de Electrificación, cuyo esquema contemplaba la construcción de grandes centrales hidroeléctricas y termoeléctricas, donde el principal desarrollo hidroeléctrico sería el del Caroní en Guayana (Valery et al., 2022).

La hidroelectricidad en Venezuela depende en gran parte de la cuenca baja del río Caroní y la región andina. Específicamente el bajo Caroní tiene una capacidad instalada de 15.126 MW en total (Gómez, 2015).

Según el informe de Estadísticas de Energía Renovable 2022, Venezuela ha mantenido una capacidad de 16.598 MW en energías renovables desde el 2019 hasta el 2021, con una producción de 64.597 GWh para el 2020.

2.1.3. *Situación actual en Puerto Cruz*

En mayo de 2023 se realizaron varias entrevistas a los habitantes de Puerto Cruz, los cuales indicaron la situación de dicho poblado en diferentes áreas.

En general, dicha población goza de un buen servicio eléctrico y depende de la subestación de la Colonia Tovar (M. Sulvaran, comunicación personal, 6 de mayo de 2023).

Los habitantes de Puerto Cruz viven del turismo, la pesca y la cosecha de plátano, papa, remolacha, cambur, mango, entre otros. El turismo se conforma por algunas posadas,

casas de familias, restaurantes y los campamentos que realizan los turistas en la playa (M. Mayora, comunicación personal, 6 de mayo de 2023).

Los pescadores se dividen en grupos organizados por el Consejo de Pescadores, quienes se encargan de planificar las actividades y el abastecimiento de gasolina de cada uno de ellos. Debido a que no cuentan con cavas refrigeradoras para la conservación del pescado, poseen un intervalo muy corto de tiempo para coordinar las ventas y traslados a los posteriores puntos de distribución, dentro o fuera de la población (P. Mayora, comunicación personal, 6 de mayo de 2023).

2.1.4. Estudios previos sobre potencial hidroeléctrico

El trabajo realizado por Mora y Hurtado (2004) en Colombia se enfocó en la elaboración de una guía para disminuir las incertidumbres producidas en los estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas. Establecieron las condiciones para involucrar los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos en un sistema híbrido de energías renovables. En el estudio se analizó la viabilidad del recurso hidroenergético de acuerdo con la estimación de la demanda eléctrica y se evaluó minuciosamente los emplazamientos de las obras civiles, información básica topográfica, geológica e hidrológica, y estudios ambientales necesarios.

La investigación realizada por Rivas (2014) en México evaluó el potencial hidroeléctrico de la cuenca del Río La Antigua, estado Veracruz estudiando distintos sitios de aprovechamiento con las características idóneas para su desarrollo. El estudio consiste en una propuesta técnica para aprovechar el recurso hidroeléctrico y las obras civiles a implementar, considerando el aprovechamiento máximo del potencial hidroeléctrico mediante la optimización de los recursos. En este trabajo se identificaron 21 proyectos hidroeléctricos clasificados como pequeñas centrales cuya potencia instalada es de 74.259 MW y energía firme es de 650.52 GWh.

Por otro lado, en el estudio de Martínez y Seijas (2020) se determinó el potencial hidroeléctrico del río Cuyagua, Edo. Aragua, Venezuela, y evaluaron cuatro puntos de aprovechamiento con la finalidad de abastecer parcial o totalmente la demanda eléctrica de la población, obteniendo como resultado una minicentral con una potencia continua de 109 kW. Los datos empleados en dicha investigación, tanto de la demanda eléctrica como de los caudales, corresponden a una cuenca aledaña a la cuenca de estudio, por lo que, su

metodología consistió en realizar una correlación de cuencas para definir los caudales de trabajo y estimar las demandas eléctricas de la población de Cuyagua.

El estudio realizado por Raybaudi y Sans (2022) consistió en determinar el potencial de generación hidroeléctrica del río Maya, Edo. Aragua, Venezuela, para ejecutar un proyecto de aprovechamiento a baja escala con posibles usos y alternativas, adaptados a las necesidades energéticas de Puerto Maya. Esta investigación analizó cuatro puntos de aprovechamiento en la cuenca y obtuvieron como resultado una microcentral con una potencia continua de 34,89 kW.

2.2. Conceptos básicos

A continuación se presenta una serie de definiciones las cuales serán adecuadas para comprender conceptos que se estarán utilizando a lo largo del presente trabajo:

Cámara de carga: es un depósito usado para el almacenamiento de un volumen determinado de agua para equilibrar las fluctuaciones de caudal que se pudieran presentar en la tubería forzada (ONUDI, 2019).

Canal de fuga: es la estructura de conducción que restituye las aguas turbinadas al cauce natural de donde provino u otro vecino (Espinosa et al., 2021).

Casa de máquinas: es la estructura que aloja los equipos electromecánicos empleados en la transformación de energía (Espinosa et al., 2021).

Demanda eléctrica: es el requerimiento de potencia o energía, de un usuario, sector o sistema eléctrico (Merlo y Gallardo, 2015).

Energía: es la potencia producida durante un tiempo determinado (Sanz, 2008).

Energía firme: es la energía generada que la casa de máquinas es capaz de colocar en el mercado y que puede ser razonablemente garantizada, estimada normalmente en bases anuales (Bolinaga, 1999).

Energía secundaria: es la energía producida en exceso de la firme y que no puede garantizarse a un riesgo aceptable (Bolinaga, 1999).

Generador: es una máquina eléctrica que se encarga de transformar la energía mecánica proporcionada por la turbina en energía eléctrica (Espinosa et al., 2021).

Obras de toma: es una estructura que capta el agua requerida por las turbinas, la cual puede ser o no sumergida (Empresa Provincial de Energía de Córdoba [EPEC], 2018).

Potencia: es la medida de la intensidad con la que fluye la energía por unidad de tiempo (Quintini, 2013).

Potencia continua: es la máxima potencia que se puede generar de manera constante y permanente, y que podría permitir un aprovechamiento hidroeléctrico con riesgo aceptable (Bolinaga, 1999).

Potencia instalada: es la potencia nominal del grupo de generadores instalado en la casa de máquinas (Capristano y Muñoz, 2022).

Salto bruto: es el desnivel entre la superficie del agua en el punto de toma y las turbinas (Capristano y Muñoz, 2022).

Salto neto: es la diferencia entre el salto bruto y las pérdidas de energía por los diferentes elementos de conducción (Indacochea, E. et al., 1981).

Tubería forzada: es una conducción a presión que va desde la cámara de carga hasta la turbina (ONUDI, 2019).

Turbina: es un motor hidráulico que convierte la energía del agua, producida por el salto de agua, en energía mecánica (Bolinaga, 1999).

2.3. Hidroelectricidad

Las centrales hidroeléctricas generan energía limpia, ya que no emiten gases de efecto invernadero, emisiones tóxicas ni causan ningún tipo de lluvia ácida. Además, las centrales tienen un uso no consuntivo del agua, puesto que luego de aprovechada su energía, es devuelta al cauce aguas abajo sin alteraciones (EPEC, 2016).

El proceso de transformación de la energía comienza con el aprovechamiento de la energía cinética del agua mediante el sistema de captación del caudal que conduce el fluido por una tubería forzada hacia la turbina, a gran velocidad, hasta impactar sus paletas, que a su

vez, hacen girar su eje. Posteriormente, el generador conectado al eje de la turbina transforma la energía mecánica en energía eléctrica, a través del movimiento rotatorio del eje; y finalmente dicha energía producida se transporta y distribuye a través de líneas eléctricas de larga distancia conformadas, de forma general, por subestaciones de transmisión, cables eléctricos y acometidas (EPEC, 2016).

La energía hidroeléctrica presenta muchas ventajas que la sobreponen al resto de las energías renovables, y es que la misma presenta una eficiencia de hasta 90% y esta no se ve afectada por las fluctuaciones en los precios del petróleo, el carbón o el gas natural. Por otra parte, permite el control de inundaciones dependiendo del tipo de aprovechamiento instalado; así como también controla el flujo de agua, a través de las turbinas, según las necesidades eléctricas del momento, permitiendo incluso almacenar energía mediante embalses, para ser usada en los horarios de mayor consumo de energía. Por último, puede contar con varios puntos de aprovechamiento, y las instalaciones poseen una larga vida útil con bajos costos de mantenimiento y unitarios de energía, con una única inversión importante que está destinada a la etapa de construcción (Nunez, 2010)

A pesar de esto, las grandes centrales hidroeléctricas presentan desventajas como que requieren de grandes cantidades de agua y gran superficie para la construcción de las centrales y embalses, presentando como consecuencia grandes repercusiones en la fauna y el ambiente. Asimismo, la inversión económica desde la construcción hasta la puesta en marcha del sistema es bastante alta, siendo poco competitiva en zonas donde abunda el petróleo o el carbón. Aunado a lo anterior, la generación de energía depende de condiciones hidrológicas y orográficas, por lo que, las sequías extremas como las que se han presentado en los últimos años representan una disminución de la energía producida; y a su vez, limita la ubicación de los aprovechamientos.

2.4. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Como explica Mora y Hurtado (2004) las pequeñas centrales hidroeléctricas son centrales con una potencia de generación baja, que en su mayoría se ubican en zonas aisladas con un área de influencia reducida, capaces de cubrir las necesidades eléctricas de la zona. Dichos aprovechamientos pueden estar conectados al sistema nacional de interconexión, cubriendo temporalmente la demanda y transmitiendo sus excedentes de potencia al sistema, o estar totalmente aisladas.

Los principios de obra civil en este tipo de centrales son muy diferentes a las grandes centrales que se encuentran alimentadas por enormes embalses, además, ofrecen la posibilidad de aprovechar fuentes de agua con caudales más pequeños mediante las nuevas tecnologías, que en muchos casos solo requieren de adaptaciones para reducir la inversión necesaria, y así promover su implementación. En la Tabla 1 se pueden observar distintas ventajas y desventajas de estos tipos de aprovechamientos.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Ventajas y desventajas	Descripción
Ventajas	- Los costos de instalación, operación y mantenimiento son menores en comparación a otras energías renovables, y posee una larga vida útil. - La energía generada puede emplearse para diferentes usos como, cargar baterías, inyectarse en la red eléctrica, electricidad para viviendas aisladas y alumbrado público. - El impacto ambiental es mucho menor en relación con las grandes centrales y otro tipo de generación de energía. Y además, el nivel de ruido es reducido. - Tiene un uso no consuntivo del agua, ya que la misma es utilizada y retornada al cauce sin alteraciones y no requiere regular su temperatura. - Es de carácter autóctono ya que posee menor dependencia del sector energético. - Existe disponibilidad de recurso y de energía, puesto que las características climatológicas y topográficas necesarias para estas instalaciones se encuentran en muchos lugares del mundo y de América Central. - La tecnología empleada tiene un alto porcentaje de eficiencia en la transformación de energía. - Impulsa el desarrollo socioeconómico y cultural en el sitio de implantación.

Nota. Adaptado del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía [IDAE] (2006), Cuenca y Ruiz (2019) y Biomass Users Network of Central America [BUN-CA] (2002).

Tabla 1 (continuación)*Ventajas y desventajas de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*

Ventajas y desventajas	Descripción
Ventajas	- Mejora el esquema de inversiones, ya que es compatible con otras obras hidráulicas que están ya construidas con un fin establecido.
Desventajas	- Se debe tener condiciones hidráulicas y topográficas muy específicas. - Se limita por la distancia entre el punto de aprovechamiento y la conexión a la red eléctrica, ya que a mayor distancia mayor costo de inversión. - Las fluctuaciones del caudal se pueden ver afectadas por las condiciones meteorológicas y estacionales. - Requiere de la realización de estudios técnicos para determinar la factibilidad del proyecto, lo cual implica un costo adicional y un tiempo significativo para la puesta en marcha del proyecto. - Elevada inversión inicial e inversiones unitarias por kW instalado en comparación con los grandes complejos hidroeléctricos.

Nota. Adaptado del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía [IDAE] (2006), Cuenca y Ruiz (2019) y Biomass Users Network of Central America [BUN-CA] (2002).

2.4.1. Clasificación de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Como explicaron Gómez y Pérez (2015) la clasificación de acuerdo con la potencia instalada suele ser la más utilizada, sin embargo, varía dependiendo de las políticas de cada país. La clasificación general mencionada por dichos autores se asemeja a la clasificación propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en el Seminario Taller de Intercambio de Experiencias Transferencia de Tecnología en Unidades de Generación de Minicentrales, la cual indica que la potencia de microcentrales alcanza 100 kW, y la de minicentrales se encuentra en un rango entre 100 kW y 1.000 kW.

Tabla 2

Clasificación de centrales hidroeléctricas de acuerdo con su potencia instalada

Tipo	Potencia (MW)
Microcentrales	< 0,1
Minicentrales	< 1
Pequeñas Centrales	1 - 100
Medianas Centrales	> 100
Grandes Centrales	> 500

Nota. Adaptado de Gómez, J. y Pérez, J. (2015)

Por otro lado, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) para la región latinoamericana y el caribe, establece que las pequeñas centrales poseen potencias inferiores a 5.000 kW, la cual se subclasifica de la siguiente manera (Indacochea, E. et al., 1981).

Tabla 3

Clasificación de pequeñas centrales hidroeléctricas de acuerdo con su potencia instalada

Tipo	Potencia (kW)
Microcentrales	Hasta 50
Minicentrales	50 - 500
Pequeñas Centrales	500 - 5.000

Nota. Adaptado de Indacochea, E. et al. (1981)

De acuerdo con Ortiz (2011) en su libro Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, dicha clasificación de OLADE limita el rango de las microcentrales de 5 kW a 50 kW, e incluye las picocentrales con un rango de potencia entre 0,5 a 5 kW.

El sistema propuesto por OLADE explicado anteriormente, también establece la clasificación del salto de agua de las centrales hidroeléctricas, según si es un salto de alta, media o baja caída, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4

Clasificación del salto de agua de pequeñas centrales hidroeléctricas

Tipo	Salto de agua (m)		
	Bajo	Medio	Alto
Microcentrales	< 15	15 - 50	> 50
Minicentrales	< 20	20 - 100	> 100
Pequeñas Centrales	< 25	25 - 130	> 130

Nota. Adaptado de Indacochea, E. et al. (1981)

Por otro lado, la European Small Hydropower Association (2006), establece la siguiente clasificación de los tipos de centrales.

Tabla 5

Clasificación de centrales hidroeléctricas de acuerdo con el tipo de aprovechamiento

Clasificación	Descripción
Aprovechamiento de agua fluyente	No disponen de embalses reguladores.
Aprovechamiento con embalse	Con la construcción de un embalse es posible aprovechar los caudales excedentes e inclusive el caudal ecológico para la generación de energía hidroeléctrica.
Aprovechamiento a partir de redes de agua	En canales de riego, en sistemas de alimentación de agua potable y en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Nota. Adaptado de ESHA (2006).

2.4.2. Componentes de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

Los principales componentes de los pequeños aprovechamientos son los siguientes: presa o dique, obra de toma, canal de conducción, desarenador, cámara de carga, tubería forzada, casa de máquinas, canal de restitución, línea de transmisión y red de distribución. (Espinosa et al., 2021). Una descripción detallada de cada uno de estos componentes se puede visualizar en el Anexo C.

2.5. Estudios requeridos para una Pequeña Central Hidroeléctrica

Para realizar el estudio de un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico se debe recopilar y analizar toda la información existente y disponible en cuanto a topografía, geología, hidrología y la situación socioeconómica de las zonas que serán estudiadas.

2.5.1. Cartografía

Para localizar posibles puntos de aprovechamiento y definir las cuencas se requiere material aerofotográfico y cartográfico. En el caso de no contar con cartas topográficas ni fotografías aéreas, puede realizarse el reconocimiento sobre el terreno que permite, además de hacer un levantamiento del sitio, constatar las condiciones de puntos potenciales de aprovechamiento que pueden no reflejarse en algún registro generando posibles problemas constructivos.

2.5.2. Hidrología

En el diseño de la central es requerido el caudal aprovechable del río obtenido de la curva de duración de caudales con un porcentaje de ocurrencia acorde al uso del aprovechamiento, en caso de no contar con la información puede emplearse el caudal mínimo registrado en el río.

De acuerdo con la disponibilidad de información respecto a datos hidrometeorológicos, Novillo y Krochin (1985) describen los siguientes casos y la metodología a seguir en cada uno:

- Se tienen registros de caudales medios mensuales en una estación hidrométrica cercana a la zona de captación en la misma cuenca. Si no se disponen de series de más

de 15 años de registro, se puede completar la serie con correlación de datos de otra estación con características hidrológicas similares.

- No se tienen registros de caudales pero si con estaciones pluviométricas distribuidas en la cuenca. El procedimiento es similar al caso anterior, en este caso se estudia la estación existente y luego se transponen los valores al sitio de la toma.
- La zona en la que se encuentra el proyecto no dispone de ningún tipo de registro hidrometeorológico. En estos casos se asumen valores de rendimiento iguales a los de las cuencas vecinas para la determinación del caudal.

2.6. Caudales de diseño

Los caudales de diseño son aquellos caudales desarrollados en el estudio, necesarios para determinar el potencial hidroeléctrico del río, y se conforman por: la serie de datos de los caudales medios mensuales de la cuenca base, la estimación de caudales medios mensuales de las subcuencas de los puntos de toma, el caudal ecológico, caudal aprovechable, caudal máximo turbinable y caudal a turbinar. Es importante acotar que la cuenca base hace referencia a la cuenca que cuenta con el registro de caudales medios mensuales y a partir de la cual se realizan las estimaciones de caudales para las subcuencas.

Para estimar los caudales medios del río en estudio, es necesario contar con los registros de caudales o disponer de datos hidrológicos. Los caudales medios diarios necesarios se obtienen de las mediciones realizadas en las estaciones de aforo, a partir de los cuales se determinan los caudales máximos, medios y mínimos diarios.

Cuando no se tienen registros históricos de caudales se debe recurrir a la hidrología, que mediante características fisiográficas de la cuenca, la intensidad de las precipitaciones y valores de evapotranspiración, es posible determinar la serie de caudales.

La Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat [ANIH] (2021) sugiere que en caso de la ausencia de registros de caudales, programar por al menos un año mediciones de caudal con la finalidad de considerar la variación de la magnitud del caudal en diferentes épocas, para ello describen las siguientes metodologías: área-velocidad, aforo químico, aforo volumétrico y el uso de vertederos.

2.6.1. Correlación de cuencas

El método de correlación de cuencas es usado en los casos donde no se tienen datos de una estación de aforo en la cuenca en estudio, y se basa en el análisis de los datos de precipitaciones en cuencas semejantes. Para ello, se deben determinar previamente las características físicas de la cuenca como; factor de forma, factor de compacidad, extensión superficial de la cuenca, extensión superficial media, elevación media de la cuenca, pendiente media de la cuenca, densidad de la red hidrográfica, cobertura vegetal y estructura geológica. Para más detalle de cada una de estas características, ver Anexo D.

Una vez determinadas todas estas características, la comparación consiste en que los valores deben ser los más parecidos para poder definir un índice de confiabilidad para el uso de la correlación de las cuencas y subcuencas. Por último, se define el coeficiente de correlación de cuencas como la relación entre las áreas y precipitaciones medias ponderadas del sitio de toma y del sitio de la estación.

2.6.2. Curva de duración de caudales

La curva de duración de caudales se obtiene graficando los valores de descarga medio de un río contra el número de veces que ha ocurrido esa descarga. Una de las aplicaciones de esta curva es evaluar la potencia generada y la potencia continua que puede obtenerse de una central hidroeléctrica, tomando generalmente el caudal con 90% de probabilidad de ocurrencia como la potencia continua y el caudal con 50% de probabilidad de ocurrencia como la potencia adicional (Novillo y Krochin, 1985).

2.6.3. Caudal ecológico

El caudal ecológico se define como el caudal mínimo que se debe dejar en el río para contrarrestar los efectos producidos por la disminución de los flujos naturales del agua (BUN-CA, 2002).

Existen diversas metodologías para determinar el caudal ecológico de un cauce, y en muchos casos depende de la normativa específica del país donde se realiza el estudio; sin embargo, en Venezuela no existe una norma legal vigente para estimarlo.

Dichas metodologías se clasifican como:

Métodos hidrológicos: son metodologías simples, de estimaciones rápidas, que se fundamentan en datos históricos, conformando una primera estimación del caudal ecológico donde se asume que una porción de los caudales históricos es capaz de preservar los ecosistemas.

Métodos hidráulicos: son metodologías que consideran cambios en las variables hidráulicas del cauce, tales como caudal, profundidad, velocidad, perímetro mojado, entre otros.

Métodos hidrobiológicos y de simulación del hábitat: son metodologías de evaluación detallada del hábitat que incorporan aspectos hidrológicos, hidráulicos y ecológicos de acuerdo con análisis de campo detallados y simulaciones matemáticas.

Métodos holísticos: son metodologías que consideran los requerimientos del ecosistema completo a partir de objetivos ecológicos, de calidad del agua, socioeconómicos, entre otros.

Debido a su facilidad de aplicación, los métodos hidrológicos son los más usados en el contexto internacional y el que domina en la literatura académica venezolana. De acuerdo con Kucharsky (2018), entre las metodologías más recomendadas en esta clasificación se tienen:

- El 10% del caudal medio mensual: definido para caudales mensuales con registros de mínimo 20 años.
- Método de la curva de permanencia: el caudal ecológico se considera como el caudal correspondiente al 95% de permanencia por mes.
- 7Q10: se basa en caudales mínimos diarios o caudales diarios medios durante un intervalo de siete (7) días con un período de retorno de diez (10) años.
- Método de Montana: el método estudia tres variables fundamentales que son; el porcentaje de perímetro mojado con respecto al ancho del lecho, la profundidad y la velocidad.

2.6.4. Caudal aprovechable

El caudal aprovechable se define como aquel caudal que puede ser aprovechado para generación hidroeléctrica, considerando los requerimientos ambientales según el método del caudal ecológico definido.

2.6.5. *Caudal a turbinar*

El caudal a turbinar es el caudal que circulará por la tubería forzada, el cual depende de la magnitud del caudal aprovechable y el caudal máximo turbinable. El caudal a turbinar debe ser menor o igual al caudal máximo turbinable ya que, un valor de caudal mayor al máximo turbinable representa una disminución significativa en la potencia generada, producida por las pérdidas de energía en la tubería forzada.

2.7. **Tubería Forzada**

La tubería forzada es una tubería que conduce el agua desde la cámara de carga hasta la turbina. La selección de la tubería forzada está influenciada por los siguientes factores:

- Presión de operación y diámetro.
- Tipo de uniones y acoples de las tuberías.
- Peso, factibilidad de transporte y acceso al sitio.
- Disponibilidad en el mercado.
- Requerimientos de mantenimiento y vida útil.
- Tipo de terreno donde se ubicarán las tuberías.
- Efectos por la calidad de las aguas y afectaciones a causa de estar en la intemperie.

En cuanto a los materiales empleados en tuberías forzadas, el acero es el más frecuente ya que posee un buen desempeño con relación a la resistencia a la deformación y rotura por esfuerzos internos y externos (Méndez, 1995).

Las tuberías de PVC, PEAD o en general materiales plásticos, presentan menores pérdidas por fricción a comparación con otros materiales; sin embargo, no se recomiendan para exposición a la intemperie, ya que la radiación ultravioleta degrada el material; en consecuencia, su uso debe ser enterradas y por ende, se deben evaluar a detalle las presiones externas ejercidas sobre la tubería; e incluso, en un estudio más profundo, debería considerarse como factor importante, el costo que implicaría excavación para la canalización de la tubería forzada enterrada a la profundidad requerida (Méndez, 1995).

La selección del diámetro adecuado de la tubería forzada depende de su costo, de la velocidad del agua y la pérdida de carga; teniendo en cuenta que mientras mayor sea el

diámetro, menor será la pérdida hidráulica en la tubería, por lo que se puede aprovechar mayor potencia del salto (Coz et al., 1995).

2.8. Potencia

La potencia es una medida de la intensidad con la que fluye la energía por unidad de tiempo. En hidroelectricidad la potencia se clasifica en generada y continua; la potencia continua es la mayor potencia que puede generarse con un porcentaje de garantía seleccionado, mientras que la potencia generada se conforma por la potencia continua y el excedente, con un porcentaje de garantía inferior al seleccionado (Bolinaga, 1999)

La magnitud de la potencia depende de diversos factores entre los cuales se tiene las características del canal o tubería forzada, ya que ellos aportan una disminución de la energía producida conocida como pérdidas de energía; así mismo se debe conocer las propiedades del grupo de turbogeneradores, ya que aportan una eficiencia definida según el tipo de equipos a implementar. Es conveniente trazar una curva de la potencia generada en función del caudal, en la que el punto de inflexión de la curva será el caudal máximo turbinable, que indica el punto a partir del cual el incremento del caudal genera una pérdida significativa de la potencia generada consecuencia de las pérdidas de energía.

2.9. Turbinas

Las turbinas son máquinas que permiten convertir la energía cinética del agua en energía mecánica de rotación. Existen dos tipos de turbinas: de acción, en las que se aprovecha la energía cinética del flujo mediante el choque de un chorro de agua con un elemento giratorio; mientras que las turbinas de reacción aprovechan tanto la energía cinética como la energía de presión del flujo mediante el paso del flujo por álabes o hélices que hacen rotar el equipo, estas pueden ser radial, axial o mixto (IDAE, 2006).

De acuerdo con IDAE (2006) las turbinas de acción se clasifican en:

- Pelton: es una turbina empleada en saltos con más de 80 metros con bajo caudal. Su rendimiento es superior al 80%.
- Michell-Banki: es una turbina de doble impulsión que se puede instalar en aprovechamientos con saltos entre 1 a 200 metros con un rango de variación de caudales muy grande. Su rendimiento es de aproximadamente 85%.

- Turgo: es una turbina de inyección lateral que trabaja con caudales similares a las turbinas Pelton, sin embargo, la disposición de sus álabes le permite trabajar con saltos inferiores (Secretaría General del Sistema de la Integración Centroamericana [SG-SICA], 2014).

De igual forma IDAE (2006) clasifica las turbinas de reacción como:

- Francis: es una turbina que se adapta a todo tipo de saltos y caudales considerando un rango muy grande. Su rendimiento es superior al 90%.
- Hélice, Semikaplan y Kaplan: las dos últimas son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación y ambas funcionan con un rango mayor de caudales. La turbina Kaplan tiene un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, usada para saltos pequeños y caudales variables o grandes.
- Deriaz: es una turbina de flujo axial con álabes orientables empleada en saltos de más de 10 metros con grandes caudales. Su rendimiento es superior al 90%.

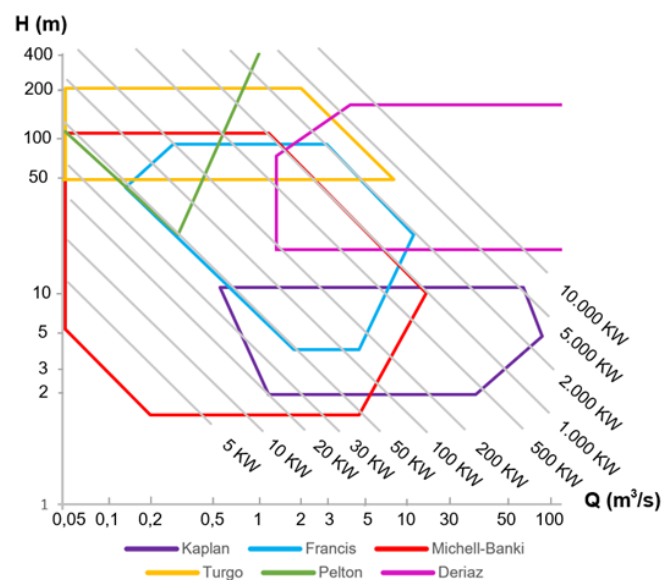


Figura 4. Campo de utilización recomendado de los diferentes tipos de turbinas de acuerdo con el salto y el caudal

Nota. Adaptado de IDAE (2006) y Coz et al. (1995).

2.10. Demanda eléctrica

2.10.1. Demanda eléctrica para uso residencial

La demanda eléctrica para uso residencial proviene de las necesidades eléctricas por vivienda, a partir de la cual se determina la demanda de la población.

Es necesario conocer el número de viviendas de la zona, el consumo de energía correspondiente, así como la información relacionada al servicio eléctrico existente en la zona con el objetivo de examinar si la zona es servida por algún otro sistema a nivel regional o nacional y la frecuencia del servicio.

Según la guía metodológica de Espinosa et al. (2021), para determinar la demanda eléctrica actual se tienen diferentes metodologías y valores picos correspondientes a distintas referencias como se observa en la Tabla 6, dentro de las cuales recomienda usar el definido por la Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico (CADAFE) en sus programas de electrificación rural.

Tabla 6

Recomendaciones de diversos autores para evaluar la demanda de potencia pico de poblaciones rurales

Autor	Demanda de potencia al pico
ONU (medio rural)	0,5 kW/vivienda
CADAFE (Venezuela)	1 kW/vivienda

Nota. Adaptado de Espinosa et al. (2021).

2.10.2. Demanda eléctrica para alumbrado público

El alumbrado público se refiere a la iluminación de los espacios públicos como vías, parques, entre otros. De acuerdo con la guía metodológica de Espinosa et al. (2021), CADAFE estima que hay un poste con un bombillo de 150 vatios por cada dos casas, mientras que OLADE (1985) estima que hay un consumo entre 5 y 15 vatios por habitantes.

2.10.3. *Demanda eléctrica para conservación y congelación de productos alimenticios*

La conservación y congelación de productos alimenticios consiste en la implementación de cavas cuarto, las cuales dependen del número de frigorías necesarias para mantener la temperatura dentro de la cámara de conservación o la cámara de congelación, según sea el caso. El número total de frigorías para la conservación o congelación debe considerar las ganancias de calor involucradas, siendo éstas las producidas a través de las paredes, por el trabajo de los motores eléctricos, por reacción y renovación del aire en los casos de la refrigeración de frutas y verduras, por la iluminación y en general el uso de servicio de la cava (*Cálculo de instalaciones frigoríficas*, 2013).

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La investigación es tanto documental como cuantitativa: documental porque implica el uso de bibliografía para fundamentar y profundizar; y cuantitativa porque es necesaria la recopilación de datos que, mediante análisis y herramientas matemáticas, proporcionan resultados.

3.2. Búsqueda de información

La búsqueda de información consistió en recopilar toda la información necesaria para desarrollar el presente estudio. En el caso de aprovechamientos hidroeléctricos, incluye información topográfica, hidrológica, poblacional, y como complemento, una inspección de campo que permita visualizar información más específica.

El ente encargado de suministrar información respecto a geografía, cartografía y catastro en Venezuela es el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB). A partir del IGVSB se obtuvo información de mapas aerofotogramétricos en los cuales emplean de datum vertical el nivel medio del mar, datum horizontal la canoa y datum hidrográfico el nivel aproximado de la bajamar media. La información obtenida se presenta en la escala 1:25.000, elaborada con fotografías aéreas y curvas de nivel en intervalos de 20 metros.

Los mapas utilizados para el estudio fueron: Puerto Cruz 6747-IV-SE del año 1975, El Limón 6747-III-NE del año 1975, Petaquire 6747-II-NO del año 1982, Colonia Tovar 6747-III-SE del año 1982.

El ente encargado de suministrar información respecto a la actividad hidrológica y meteorológica en Venezuela es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). A partir del INAMEH se obtuvo información de series de datos pluviométricos medios mensuales durante algunos años de las estaciones más cercanas con información disponible, incluyendo las coordenadas geográficas de dichas estaciones.

Se obtuvo el informe realizado en el año 2000 por C.G.R. Ingeniería titulado “Estudio de Rendimientos Diarios de los Principales Ríos del Litoral Central y Análisis de Intensidad Duración Frecuencia de Lluvias”, en el cual evaluaron diferentes parámetros hidrológicos de

las cuencas y en función de la información disponible, estimaron caudales medios mensuales en un tiempo determinado del río en estudio y sus afluentes.

La información presentada del Río Limón por C.G.R. Ingeniería incluye la estimación de caudales medios mensuales desde el año 1964 hasta el año 1995, empleando información pluviométrica de las estaciones en Puerto Cruz y La Guitarrita, con un área de influencia de 91 km².

El ente encargado de coordinar el Sistema Estadístico Nacional (SEN) y generar estadísticas oficiales en Venezuela es el Instituto Nacional de Estadística (INE). A partir del INE se obtuvo, con base al último censo realizado en el país, datos de densidad poblacional y proyecciones de la población en la parroquia Carayaca hasta el año 2050. Así como también información respecto a la proporción de hogares con disponibilidad de tecnologías y equipamiento en el estado Vargas según los censos realizados en el año 2001 y el año 2011.

A partir de una visita de campo se evaluaron las condiciones topográficas y de accesibilidad de los posibles puntos de aprovechamientos, y por medio de entrevistas realizadas a los líderes de las diferentes organizaciones ciudadanas, se obtuvo información respecto a la cantidad de habitantes y familias de Puerto Cruz, condiciones del servicio eléctrico y las necesidades eléctricas de la población.

3.3. Delimitación de la cuenca hidrográfica

La delimitación de la cuenca define el área cuyas precipitaciones drenan hacia el mismo punto de desembocadura y se realizó mediante el trazado de una línea divisoria por los puntos de mayor nivel topográfico, haciendo uso de los mapas aerofotogramétricos obtenidos del IGVS. Los mapas se encuentran en formato .tif y fueron procesados a través del programa AutoCAD, donde se elaboró un plano en el que se delimitó la cuenca de estudio, y para complementar la información de los mapas, se utilizó una imagen satelital de la zona obtenida de Google Earth.

3.4. Selección de los puntos de aprovechamiento hidroeléctrico

Para seleccionar los puntos de aprovechamiento fue necesario considerar la topografía, el salto bruto disponible, la confluencia del río El Limón con otros ríos o quebradas, la cercanía a la población y vías de acceso disponibles.

Se ubicaron los puntos de aprovechamiento en los mapas del IGVSB y se delimitaron las subcuencas correspondientes a dichos puntos, siguiendo el procedimiento explicado en el Apartado 3.3.

En la visita de campo realizada se verificó la selección de los puntos de aprovechamiento hidroeléctrico considerando las siguientes características: la pendiente del río, la forma del perfil transversal, la topografía y los espacios disponibles para la implementación de la casa de máquinas y las obras de toma; así como la cercanía a la población y las vías de acceso disponibles.

En el presente estudio se analizaron 5 puntos de aprovechamiento en la cuenca del río El Limón, para los cuales se evaluaron las ubicaciones más apropiadas de las instalaciones, aprovechando diferentes caudales correspondientes al río El Limón y a sus afluentes más importantes.

3.4.1. Salto bruto

El salto bruto es el desnivel existente entre las curvas de nivel donde se ubica el punto de toma y la casa de máquinas. Se realizaron perfiles longitudinales, mediante el uso de los planos aerofotogramétricos, de acuerdo con los puntos de aprovechamiento ubicados en el río El Limón, la quebrada Tamaira y la quebrada Caguita. Dichos perfiles proporcionaron valores aproximados del salto bruto de cada uno de los puntos de aprovechamiento.

3.5. Determinación de caudales medios mensuales

Los caudales medios mensuales usados para este estudio fueron los obtenidos de C.G.R. Ingeniería conformado por una estimación de caudales con 31 años de registros. A diferencia de la información obtenida por el INAMEH, la cual posee mediciones con intervalos de tiempo inconstantes, de tan solo 9 años de registros pluviométricos de estaciones ubicadas en cuencas aledañas a la cuenca en estudio.

A partir de la información del C.G.R Ingeniería, se determinaron los caudales medios mensuales correspondientes a cada una de las subcuencas de cada punto de toma definido, mediante el uso de un factor de correlación. Posteriormente, se realizó la curva de duración de caudales medios mensuales en cada punto de toma evaluando diferentes porcentajes de garantía, que para este estudio fueron 95%, 90%, 85% y 80%; con la finalidad de evaluar la

variación del potencial hidroeléctrico del Río El Limón, en comparación con el riesgo de falla que representa cada uno de ellos.

3.5.1. **Correlación de cuencas**

El procedimiento de correlación de cuencas realizado consiste en una comparación entre la morfología de las cuencas, para establecer un factor de correlación. La guía de diseño de Delgadillo y Moreno (s.f.) proponen las siguientes ecuaciones:

$$\text{Factor de forma:} \quad Ff = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

$$\text{Factor de compacidad:} \quad Fc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

$$\text{Extensión superficial media:} \quad b = \frac{A}{2L} \quad (3)$$

$$\text{Pendiente media de la cuenca:} \quad Sc = \frac{\sum Li * eq}{A} * 100 \quad (4)$$

$$\text{Factor de correlación:} \quad CT = \frac{A1 * PMP1}{A2 * PMP2} \quad (5)$$

Donde:

Ff = factor de forma

Fc = factor de compacidad

b = extensión superficial media (km)

Sc = pendiente media de la cuenca (%)

A = área de la cuenca (m^2)

$\sum Li$ = sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel (km)

eq = equidistancia entre curvas (km)

P = perímetro (m)

CT = factor de correlación

$A1$ = área de drenaje en el sitio de toma (m^2)

$A2$ = área de drenaje en el sitio de la estación (m^2)

$PMP1$ = precipitación media ponderada de la cuenca del sitio de toma (mm)

$PMP2$ = precipitación media ponderada de la cuenca del sitio de la estación (mm)

La ecuación del factor de correlación puede simplificarse a una relación entre sus áreas cuando no se posee información meteorológica y cuando la distancia entre el punto de toma y la estación que proporciona los datos no sea considerable, ya que se asume una precipitación media ponderada igual para ambas cuencas.

El factor de correlación obtenido se multiplicó con los caudales medios mensuales de la estación para obtener los caudales medios mensuales del punto de toma.

3.5.2. *Curva de duración de caudales*

El procedimiento realizado para la elaboración de la curva de duración de caudales consistió en ordenar todos los caudales registrados de forma descendente y asignarles un número de orden. Posteriormente, se calculó la probabilidad por medio de la ecuación de Weibull, para cada caudal medio mensual:

$$p = \frac{m}{N} * 100 \quad (6)$$

Donde:

p = probabilidad de ocurrencia de un caudal determinado

m = número de orden

N = valor correspondiente al total de datos registrados

Los resultados se presentaron en un gráfico de caudal contra probabilidad de ocurrencia, con el cual se determinó el caudal garantizado de acuerdo con un riesgo de falla.

3.6. **Caudal ecológico**

Se debe considerar que no todo el caudal que circula por el río es aprovechable para la generación hidroeléctrica, ya que el río debe mantener un caudal ecológico. Los métodos más adaptados según la disponibilidad de información y la profundidad del estudio son los métodos hidrológicos, ya que permiten realizar estimaciones sencillas fundamentadas en registros históricos.

En este estudio se determinó el caudal ecológico según el método de Montana, que se ha popularizado en varios países tales como Canadá, Ecuador, México y Perú, aplicable

donde existan ríos de montaña sin intervención humana para los cuales se desconozca los requerimientos de las especies acuáticas.

El método seleccionado presenta tres porcentajes base para comprender y determinar el caudal ecológico, los cuales son 10%, 30% y 60%. El primer porcentaje asegura la sobrevivencia de las especies acuáticas a corto plazo; el segundo, es recomendado para mantener condiciones aceptables de la vida acuática y la recreación; y el tercero, corresponde al caudal óptimo para la vida acuática y garantiza la mayoría de las actividades de recreación.

Como explica Kucharsky (2018), es recomendable utilizar porcentajes variables para el caudal ecológico de acuerdo con las épocas de lluvia y sequía, para garantizar la sobrevivencia a largo plazo de las especies acuáticas. En este sentido, y considerando los caudales del Río El Limón, se utilizaron los porcentajes mínimos recomendados de 30% en la época de lluvia y 10% en la época de sequía.

Una vez definidos los caudales ecológicos mensuales, se determinaron los caudales aprovechables como la diferencia entre el caudal medio y el caudal ecológico correspondiente a cada mes para cada porcentaje de garantía estudiado.

3.7. Cálculo hidráulico de la tubería forzada

Para realizar el cálculo hidráulico de la tubería forzada se determinó el caudal que circula por la tubería y las pérdidas de energía en la tubería. El caudal que circula por la tubería se define como el caudal a turbinar y depende del caudal máximo turbinable en conjunto con el caudal aprovechable.

3.7.1. Caudal máximo turbinable

El caudal máximo turbinable es el caudal que genera la mayor potencia para un diámetro dado. El mismo se obtuvo calculando la potencia generada por diferentes caudales para un mismo diámetro de tubería. Los resultados se graficaron y se obtuvo una curva ajustada a una curva polinómica de tercer grado, en el eje de las abscisas se representaron los caudales y en el eje de las ordenadas las potencias. El punto de inflexión de esta curva corresponde al caudal máximo turbinable.

3.7.2. Caudal a turbinar

El caudal a turbinar se determinó considerando el caudal aprovechable del río y el caudal máximo turbinable. Si el caudal aprovechable es mayor al caudal máximo turbinable, el caudal a turbinar será el caudal máximo turbinable obtenido anteriormente.

3.7.3. Pérdidas de energía

Las pérdidas de energía dependen de características de la tubería forzada como el material de la tubería, el diámetro a utilizar y el rango de velocidades del fluido. Las pérdidas totales de energía se determinaron como la suma de las pérdidas por fricción y las pérdidas localizadas.

Las pérdidas por fricción se determinaron de acuerdo con la ecuación de Darcy-Weisbach y el coeficiente de fricción asociado, mediante la ecuación de Swamee. Esta ecuación de pérdidas por fricción del fluido en la tubería forzada es válida tanto para flujos laminares como turbulentos.

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{k}{3,7 D} + \frac{5,74}{R^{0,8}} \right) \right]^2} \quad (8)$$

Donde:

h_f = pérdidas de fricción de Darcy – Weisbach

f = factor de fricción de Swamee

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro de la tubería (m)

V = velocidad media en la tubería (m/s)

g = constante gravitacional (9,81 m/s²)

k = rugosidad equivalente (m)

R = número de Reynolds

Por ser un estudio enfocado en la determinación del potencial hidroeléctrico, no se realizó un análisis a detalle de la hidráulica de conducciones, por lo que se estimaron las pérdidas localizadas como una fracción de las pérdidas por fricción adicional a las mismas.

3.8. Determinación del potencial hidroeléctrico

La determinación del potencial hidroeléctrico se conforma por la suma de la potencia generada en la totalidad de los puntos de aprovechamiento del estudio. La potencia generada se determinó con el caudal a turbinar y el salto neto, a partir de las siguientes ecuaciones.

$$P = Q * H_n * \gamma * e_g \quad (9)$$

$$H_n = H_b - h_f \quad (10)$$

Donde:

P = potencia (Kw)

Q = caudal (m^3/s)

H_n = salto neto (m)

γ = peso específico del agua ($9,81 \text{ KN}/m^3$)

e_g = eficiencia global (en minicentrales hidroeléctricas varía entre 70% y 85%)

H_b = salto bruto (m)

La eficiencia global está conformada por la eficiencia de la turbina y del generador, sin embargo, es común utilizar una eficiencia que englobe todo el conjunto de equipos electromecánicos.

La potencia generada está conformada por una potencia continua y sus excedentes. La potencia continua es la máxima potencia que puede ser garantizada de forma constante en el año y corresponde al mes de menor generación de potencia. Los excedentes de la potencia continua corresponden a las potencias que no pueden ser garantizadas en todos los meses.

3.9. Determinación de la energía generada

La determinación de la energía generada depende del intervalo de tiempo definido, y en consecuencia, para un mismo valor de potencia se pueden obtener diferentes energías. La energía generada se clasifica en energía firme y energía secundaria. La energía firme puede ser generada de forma continua a lo largo del año, mientras que la energía secundaria solo se genera de acuerdo con los excedentes de la energía firme.

3.10. Selección del tipo de turbina

Se realizó la selección de la turbina mediante la Figura 4, la cual representa una primera aproximación que define el tipo de turbina a emplear de acuerdo con los rangos de salto bruto y caudal a turbinar de cada una.

3.11. Estimación de la demanda eléctrica

La estimación de la demanda eléctrica se realizó mediante un levantamiento de información realizado en Puerto Cruz. En la visita se definió la regularidad del servicio eléctrico de la población, el consumo eléctrico residencial de acuerdo con los electrodomésticos y equipos electrónicos de mayor uso, las necesidades de consumo eléctrico de acuerdo con sus prácticas comerciales, el alumbrado existente en las zonas públicas, los servicios existentes para el desarrollo de la población, espacios públicos de recreación y esparcimiento, entre otros.

3.11.1. *Demanda eléctrica para uso residencial*

La demanda eléctrica para uso residencial de Puerto Cruz se determinó a partir de la información proporcionada por los líderes de la comunidad respecto al número de habitantes y familias de Puerto Cruz, así como los equipos de mayor uso en la población, permitiendo realizar una estimación de la energía requerida por una vivienda promedio.

Se aplicaron diferentes metodologías para la determinación de la demanda eléctrica para uso residencial. Una primera metodología emplea la información mostrada en la Tabla 6 de las bases teóricas del presente estudio.

A partir de la información obtenida sobre los electrodomésticos, se aplicó una segunda metodología donde se definieron las potencias promedio de los equipos con sus respectivos tiempos de uso, y luego se calcularon los consumos mensuales de los electrodomésticos por vivienda.

Por otro lado, se empleó una última metodología explicada en el Código Eléctrico Nacional (2004), el cual considera un factor de simultaneidad de uso en los electrodomésticos. Dicha metodología estableció que los primeros 8 kVA de la carga emplean un porcentaje de carga del 100% y la carga restante, utiliza un 40%.

3.11.2. Demanda eléctrica para alumbrado público

La determinación de la demanda eléctrica para el alumbrado público se realizó de acuerdo con la metodología de Espinosa et al. (2021) explicado en el Apartado 2.10.2. El número de casas se estimó por medio de un conteo de techos en Google Earth.

3.11.3. Demanda eléctrica para conservación y congelación de productos alimenticios

Se consideró la metodología aplicada en *Cálculo de Instalaciones Frigoríficas* (2013) para determinar la demanda eléctrica de la refrigeración y congelación de productos alimenticios. El método aplicado es similar entre los diferentes tipos de productos alimenticios y consiste en definir cada una de las ganancias de calor en la cava cuarto según la temperatura y el producto a almacenar.

De acuerdo con la metodología mencionada se determinaron todas las ganancias de calor involucradas, siendo estas las siguientes:

Ganancia de calor a través de paredes: se determinó a partir de las dimensiones de la cava, la diferencia de temperatura entre el exterior y la temperatura dentro de la cava cuarto, y un coeficiente de transmisión de calor que se define a partir del material aislante de la cava y su espesor.

Ganancia de calor por motores eléctricos: incluye el calor producido por los motores y evaporadoras, y se determinó empleando el equivalente mecánico del calor a partir de un caballo de vapor.

Ganancia de calor de servicio: se define por el uso de la cava cuarto para lo cual se establece en la práctica un porcentaje de calor por apertura de puertas, alumbrado, calor del personal, entre otros. Dicho porcentaje se determinó sobre la cantidad de ganancias por calor a través de las paredes.

Ganancia de calor por carga de género: se determinó a partir de los kilogramos diarios de producto que ingresan del género en la cava, la diferencia de temperatura entre la entrada del género y la temperatura dentro de la cava cuarto, y el calor específico del producto a enviar.

Ganancia de calor por reacción en frutas y verduras: existe un proceso de respiración de las frutas y verduras donde el oxígeno se combina con el carbono de los tejidos del fruto y

produce calor. Dicha ganancia de calor se determinó a partir de los kilogramos de producto y de un coeficiente de respiración, definido a partir del género del producto a refrigerar.

Ganancia de calor por renovación de aire: para evitar la formación de gases debido al proceso de respiración de las frutas y verduras, se debe considerar una renovación de aire de la cava cuarto. Esta ganancia de calor se determinó en función del volumen de la cava y la ganancia de calor por el número de renovaciones por día.

La ganancia de calor total se determinó como la sumatoria de las ganancias de calor que correspondan de acuerdo con el producto alimenticio. Posteriormente se incluyó un coeficiente de seguridad con la finalidad de cubrir posibles imprevistos. A partir de dicha ganancia de calor de diseño se determinó el consumo eléctrico requerido para la conservación y congelación del producto.

El consumo eléctrico de la iluminación de las cavas cuarto se determinó a partir de la metodología según Pérez et al. (2014) y se define por la iluminación deseada, el área y factor de uso y mantenimiento.

Finalmente, se determinó el consumo eléctrico de la cava cuarto definida por el consumo eléctrico requerido para la conservación y congelación del producto y el consumo eléctrico de la iluminación dentro de la cava.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Cuenca del Río El Limón

Se encuentra ubicada al oeste del estado La Guaira, aledaña al estado Aragua con una temperatura media anual en Carayaca entre 18 y 24 °C, con escasas amplitudes térmicas diarias y anuales (INE, 2013). Por otro lado, la cuenca correspondiente al río El Limón tiene una extensión superficial de 116,77 km², con un perímetro de 49,74 km, y longitud del cauce del río de 24,65 km con un desnivel de 1,9 km.

Es una zona montañosa con una fuerte pendiente y un clima que propicia la agricultura. Las vías de acceso a la población son dos (2), una desde Chichiriviche de la Costa y la de mayor importancia, la vía desde la Colonia Tovar.

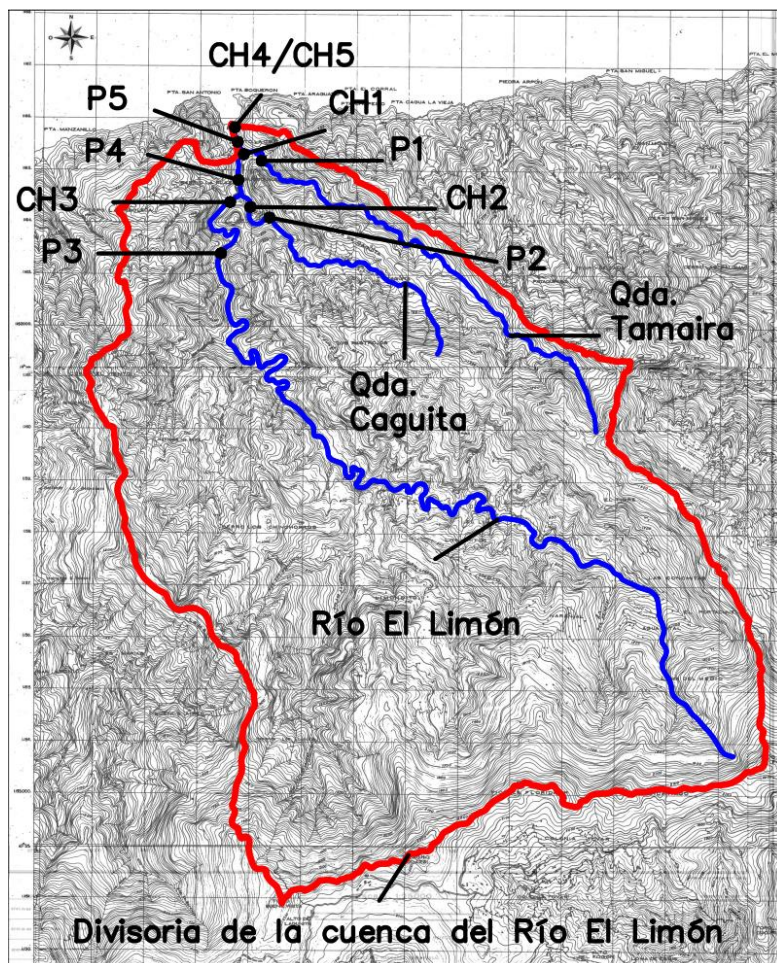


Figura 5. Cuenca del Río El Limón, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira

Nota. Escala: S/E. Elaboración propia (2023).

4.2. Puntos de aprovechamiento

A continuación se presenta la descripción de cada punto de aprovechamiento seleccionado en cuanto a ubicación, características de la cuenca y vías de acceso.

Punto 1: se encuentra ubicado en la quebrada Tamaira cercano a la población de Puerto Cruz, y posee una de las áreas de la cuenca y longitudes del cauce más pequeñas respecto a los otros puntos estudiados. El punto de toma no tiene vía de acceso, sin embargo, la casa de máquinas se encuentra aledaña a la vía principal dentro de Puerto Cruz, y la distancia entre ellos es una de las más cortas en comparación con los otros puntos estudiados. El punto de aprovechamiento posee un salto bruto significativo que aprovecha gran parte del caudal circulante de esta quebrada.



Figura 6. Imagen en sitio de la ubicación de la casa de máquinas 1

Punto 2: este punto de aprovechamiento se ubica en la quebrada Caguaita, y se encuentra cercano a una de las entradas de Puerto Cruz, específicamente la entrada sur con dirección hacia la Colonia Tovar. El área de la cuenca y la longitud del cauce son las más pequeñas de todos los puntos estudiados, con una de las longitudes entre el punto de toma y la casa de máquinas más largas; sin embargo, presenta el salto bruto más alto de todo el estudio. El punto de toma se encuentra limitado por vías de acceso no pavimentadas, caso contrario a la vía de acceso hasta la casa de máquinas, la cual se encuentra en buenas condiciones.

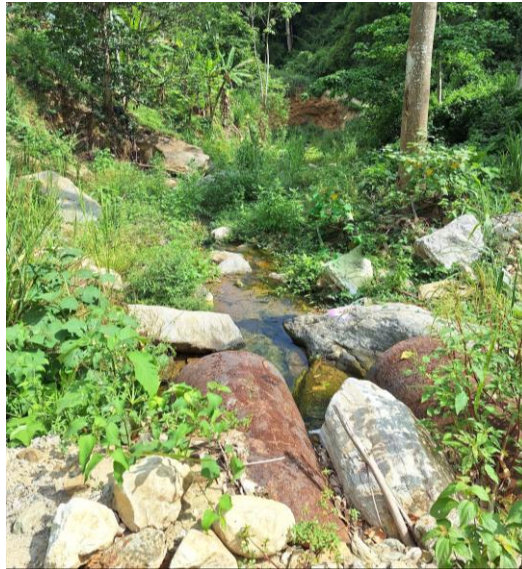


Figura 7. Imagen en sitio de la ubicación de punto toma 2

Punto 3: se ubica en el río El Limón en una zona alejada a la población antes de la confluencia con la quebrada Caguaita; cuenta con la longitud más larga entre el punto de toma y la casa de máquinas. La ruta disponible en el punto de toma se encuentra sin pavimentar, sin embargo, la casa de máquinas, por su cercanía a la población, tiene fácil acceso con vías en buenas condiciones. Cabe destacar que, este punto de toma se ubica cercano al punto de medición de caudales considerado en el estudio de C.G.R. Ingeniería.



Figura 8. Imagen en sitio de la ubicación de la casa de máquinas 3

Punto 4: se encuentra ubicado en el río El Limón posterior a la confluencia con la quebrada Caguita, con el objetivo de evaluar la influencia del caudal de esta quebrada en el río. Tanto la vía de acceso del punto de toma como de la casa de máquinas se encuentran en buenas condiciones y dentro de la población.



Figura 9. Imagen en sitio de la ubicación del punto de aprovechamiento 4

Punto 5: se ubica en el río El Limón posterior a la confluencia con la quebrada Tamaira y cercano a la desembocadura al mar, que al igual que en el punto anterior, busca evaluar la influencia del caudal de esta quebrada. El área de la cuenca y longitud del cauce principal son las mayores en comparación de todos los puntos estudiados; además, comparte la ubicación de la casa de máquinas con el punto 4. Posee buenas vías de acceso, y un salto bruto y longitud, entre el punto de toma y la casa de máquinas, de los más bajos en todo el estudio.



Figura 10. Imagen en sitio de la ubicación de punto de toma 5

Con la visita de campo realizada se evaluaron los puntos de toma y casas de máquinas seleccionados. Se observó que las ubicaciones seleccionadas son adecuadas para la implementación de estos componentes del aprovechamiento. Sin embargo, no se lograron visualizar los puntos de toma 1 y 3 y la casa de máquinas del punto 2, debido a la difícil accesibilidad al sitio.

La ubicación de los puntos de aprovechamiento y su respectiva delimitación de la cuenca se pueden visualizar en el Anexo E. Así como también, los perfiles longitudinales de cada uno de los cauces en estudio, los cuales se pueden observar en el Anexo F.

En la Tabla 7 se muestran las cotas de los puntos de toma seleccionados, así como también de las casas de máquinas. Se observan los saltos brutos obtenidos entre el punto de toma y la casa de máquinas, donde el mayor salto corresponde al punto 2 con 81,9 m y el menor salto corresponde al punto 5 con 7,6 m.

Tabla 7

Tabla resumen de las características planialtimétricas de los puntos de aprovechamiento

Punto	Cota del punto de toma (m s. n. m.)	Cota de la casa de máquinas (m s. n. m.)	Salto bruto (m)	Longitud entre punto y casa de máquinas (m)
Punto 1	54,26	30,35	23,9	396,8
Punto 2	136,01	54,14	81,9	725,1
Punto 3	79,07	58,88	20,2	1.851,9
Punto 4	48,36	1,99	46,4	1.030,8
Punto 5	9,63	1,99	7,6	281,9

Nota. Elaboración propia (2023).

4.3. Caudales medios mensuales

La estimación de caudales medios mensuales de C.G.R Ingeniería corresponde a una cuenca base con extensión superficial de 91 km² y longitud de cauce principal de 18,8 km. Cabe destacar que los caudales de la cuenca base obtenidos de C.G.R. Ingeniería son caudales estimados a partir de 2 estaciones hidrometeorológicas ubicadas dentro de la cuenca de estudio, lo que podría generar cierto porcentaje de error.

A partir de esta información se realizó la correlación de cuencas para estimar los caudales correspondientes a las subcuencas de cada uno de los puntos de toma seleccionados. En la Tabla 8 se muestran las características morfológicas de las subcuencas en estudio, en conjunto con los factores de correlación obtenidos en cada caso. Se clasificaron los valores obtenidos de factor de forma, factor de compacidad y pendiente media de la cuenca de acuerdo con Delgadillo y Moreno (s.f.) y Londoño (2001).

El factor de forma de todas las cuencas indica que estas corresponden a cuencas alargadas. Todos los factores de compacidad clasifican las cuencas como ovals redondas, a excepción del punto 1 en la quebrada Tamaira, cuyo factor de compacidad la clasifica como oval oblonga.

La pendiente media de la cuenca base es de 34,4%, por lo que se clasifica como una pendiente escarpada. Dicha clasificación de pendiente media es igual en los puntos de estudio ubicados en el cauce del río El Limón; mientras que en los puntos 1 y 2, en la quebrada Tamaira y Caguita respectivamente, la pendiente media es muy escarpada.

El análisis morfológico define características similares entre la cuenca base y las subcuencas, por lo que este método es adecuado para relacionarlas entre sí en la estimación de caudales de cada punto de toma.

Tabla 8*Características morfológicas de cada punto de toma*

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Cuenca base
Ubicación	Quebrada Tamaira	Quebrada Caguita	Río El Limón	Río El Limón	Río El Limón	Río El Limón
Área (km ²)	9,4	6,2	94,8	106,4	116,7	91,0
Perímetro (km)	20,7	11,4	43,7	48,2	49,3	43,4
Longitud del cauce principal (km)	9,8	5,3	21,1	23,5	24,3	18,8
Ancho (m)	0,96	1,16	4,49	4,52	4,80	4,84
Desnivel altitudinal (m)	1.345,7	1.044,0	1.820,9	1.851,6	1.890,4	1.735,6
Pendiente media del cauce (%)	13,8	19,7	8,6	7,9	7,8	9,2
Factor de forma	0,10	0,22	0,21	0,19	0,20	0,25
Factor de compacidad	Alargada	Alargada	Alargada	Alargada	Alargada	Alargada
	1,89	1,28	1,26	1,31	1,28	1,27
	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval	Oval
	Oblonga	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda	Redonda
Extensión superficial (km ²)	9,4	6,2	94,8	106,4	116,7	91,0
Extensión superficial media (km)	0,48	0,58	2,24	2,26	2,40	2,42
Pendiente media de la cuenca (%)	134,8	87,0	40,5	39,4	38,8	34,4
	Muy Escarpada	Muy Escarpada	Escarpada	Escarpada	Escarpada	Escarpada
Factor de correlación	0,10	0,07	1,04	1,17	1,28	1,00

Nota. Elaboración propia (2023).

A partir de los caudales medios de la serie de datos para la cuenca base obtenidos del estudio de C.G.R Ingeniería y las factores de correlación de cuencas, se determinaron los caudales medios mensuales para cada punto de toma, los cuales se pueden visualizar en el Anexo G.

Las curvas de duración de caudales se realizaron a partir de los caudales medios mensuales determinados anteriormente, donde se observan las variaciones de caudal en los diferentes meses del año. En las Figuras 11, 12 y 13 se muestran las curvas de duración de caudales medios mensuales del punto de toma 4, y las curvas de los otros puntos en estudio se pueden encontrar en el Anexo H.

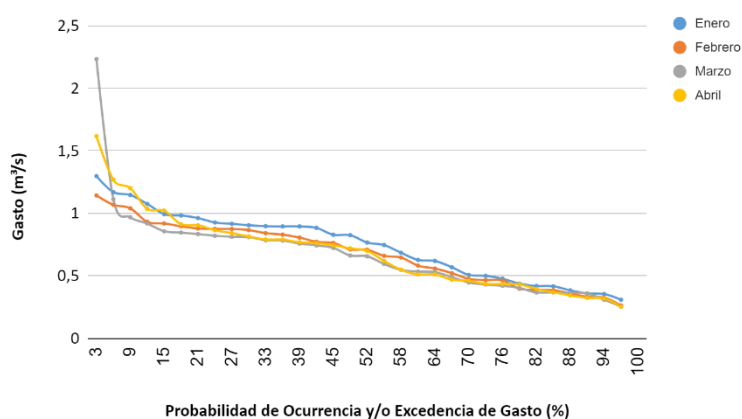


Figura 11. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4

Nota. Elaboración propia (2023).

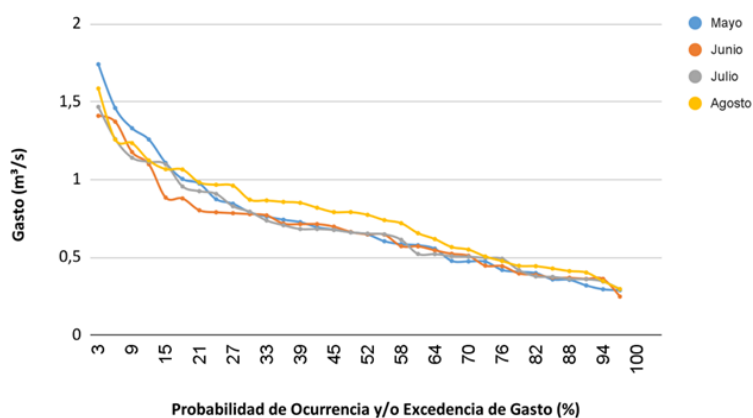


Figura 12. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4

Nota. Elaboración propia (2023).

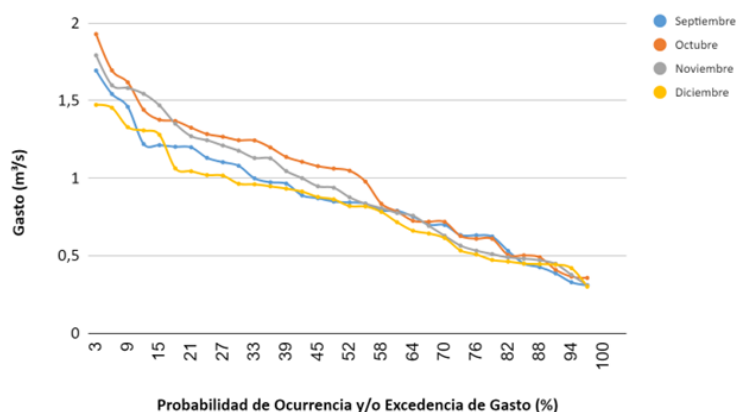


Figura 13. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4

Nota. Elaboración propia (2023).

Con las curvas de duración de caudales obtenidas se determinaron los caudales medios mensuales por porcentaje de garantía, considerando los porcentajes de 95%, 90%, 85%, 80%. En la Tabla 9 se presentan los caudales medios mensuales para los porcentajes de garantía mencionados del punto de toma 4.

Tabla 9

Caudales medios mensuales del Punto de toma 4 en el río El Limón para diferentes porcentajes de garantía seleccionados

Meses	Caudal	Caudal	Caudal	Caudal
	Garantizado 95%	Garantizado 90%	Garantizado 85%	Garantizado 80%
	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
Enero	0,31	0,36	0,38	0,42
Febrero	0,26	0,33	0,36	0,39
Marzo	0,25	0,36	0,36	0,37
Abril	0,25	0,32	0,34	0,40
Mayo	0,29	0,32	0,36	0,40
Junio	0,25	0,36	0,37	0,39
Julio	0,30	0,36	0,36	0,38
Agosto	0,30	0,40	0,41	0,44

Nota. Elaboración propia (2023).

Tabla 9 (continuación)

Caudales medios mensuales del Punto de toma 4 en el río El Limón para diferentes porcentajes de garantía seleccionados

Meses	Caudal	Caudal	Caudal	Caudal
	Garantizado 95%	Garantizado 90%	Garantizado 85%	Garantizado 80%
	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
Septiembre	0,31	0,39	0,43	0,53
Octubre	0,36	0,41	0,49	0,50
Noviembre	0,31	0,45	0,47	0,49
Diciembre	0,30	0,44	0,45	0,46

Nota. Elaboración propia (2023).

4.4. Caudal aprovechable

El caudal aprovechable depende de los caudales ecológicos mensuales, los cuales se determinaron considerando las características de la cuenca.

El caudal ecológico se determinó según el método de Montana, el cual debe mantener un caudal ecológico variable de acuerdo con la época del año. Se consideró 30% del caudal medio mensual para la temporada de lluvia, correspondiente a los meses de agosto a enero, y 10% del caudal medio mensual en la época de sequía, correspondiente a los meses de febrero a julio.

Una vez definidos los caudales ecológicos mensuales, se determinaron los caudales aprovechables como la diferencia entre el caudal medio y el caudal ecológico correspondiente a cada mes para cada porcentaje de garantía estudiado. Los resultados obtenidos de caudales aprovechables del punto 4 para el 90% de garantía se pueden observar en la Tabla 10.

Tabla 10

Caudales aprovechables del Punto 4 en el río El Limón para el 90% de garantía

Mes	Caudal medio (m³/s)	Caudal ecológico (m³/s)	Caudal aprovechable (m³/s)
Enero	0,359	0,107	0,251
Febrero	0,333	0,033	0,300
Marzo	0,359	0,035	0,323
Abril	0,324	0,032	0,292
Mayo	0,320	0,032	0,288
Junio	0,363	0,036	0,326
Julio	0,360	0,036	0,324
Agosto	0,404	0,121	0,282
Septiembre	0,386	0,115	0,270
Octubre	0,409	0,122	0,287
Noviembre	0,448	0,134	0,314
Diciembre	0,442	0,132	0,309

Nota. Elaboración propia (2023).

En la tabla anterior se observa que el mes con menor caudal medio es mayo con 0,32 m³/s, sin embargo, dado el método aplicado para la determinación del caudal ecológico, el menor caudal aprovechable se presenta en el mes de enero con 0,251 m³/s.

4.5. Diámetro de la tubería forzada

El diámetro a emplear en la tubería forzada se determinó a partir de la velocidad de diseño y el caudal de acuerdo con cada porcentaje de garantía. La velocidad de diseño se fijó considerando el rango de velocidades recomendadas para que no se sedimenten las partículas presentes en el cauce, ni obtener pérdidas significativas en la energía generada. La velocidad máxima recomendada es de 4 a 5 m/s (Adrada et al., 2013).

El material seleccionado para las tuberías forzadas fue acero al carbono, debido a que presentan un buen desempeño en la intemperie; ya que resisten incendios forestales e impactos, y son estructuralmente competentes para las solicitudes requeridas.

Para la selección de los diferentes diámetros de tubería se recurrió a VEMACERO y TUBOACERO, los cuales son distribuidores de tuberías de acero de línea en Venezuela, adecuadas para acueductos. De acuerdo con la cotización solicitada a ambos proveedores, se obtuvo un precio de 2,85 \$/kg por parte de TUBOACERO y 3 \$/kg por parte de VEMACERO. Se trabajó con el catálogo de TUBOACERO debido a que implican menores costos y poseen una mayor disponibilidad de diámetros.

La disponibilidad de TUBOACERO corresponde a tuberías de acero ASTM A53 grado A, SCH 40 cuyas presiones soportadas superan los 500 mca. La norma cumple con la presión máxima obtenida en este estudio, cuyo valor corresponde a aproximadamente 82 mca y se encuentra ubicado en el punto 2. Las presiones soportadas por las tuberías seleccionadas son mucho mayores a las máximas del estudio, sin embargo, su selección se limitó a la disponibilidad de tuberías, ya que otros espesores de tuberías son más costosos por ser bajo pedido.

De acuerdo con los diámetros del catálogo de TUBOACERO, se evaluaron aquellos que cumplen con las velocidades máximas recomendadas. En la Tabla 11 se muestran los diámetros de las tuberías forzadas seleccionados por punto de aprovechamiento.

Tabla 11

Diámetros seleccionados de las tuberías forzadas de los puntos de aprovechamiento

Punto	Diámetro nominal (mm)	Espesor (mm)	SCH	Precio de la tubería (\$/mL)
1	150	7,11	40	80,6
2	100	6,02	40	45,8
3	500	15,09	40	522,8
4	400	12,70	40	351,4
5	400	12,70	40	351,4

Nota. Elaboración propia (2023).

4.6. Caudal máximo turbinable

Para determinar el caudal máximo turbinable para cada uno de los puntos de aprovechamiento por cada porcentaje de garantía, se graficaron valores de caudales con su respectiva potencia generada a partir de la Ecuación 9, obteniendo una curva polinómica de tercer grado cuyo punto de inflexión corresponde al caudal máximo turbinable.

En la Figura 14 se observa la curva de caudal máximo turbinable para el 90% de garantía del punto 4, donde el punto de inflexión obtenido es de 0,321 m³/s el cual corresponde al caudal que genera la mayor potencia. Las curvas de caudales máximos turbinables para todos los puntos de aprovechamiento por diámetro definido se pueden observar en el Anexo I.

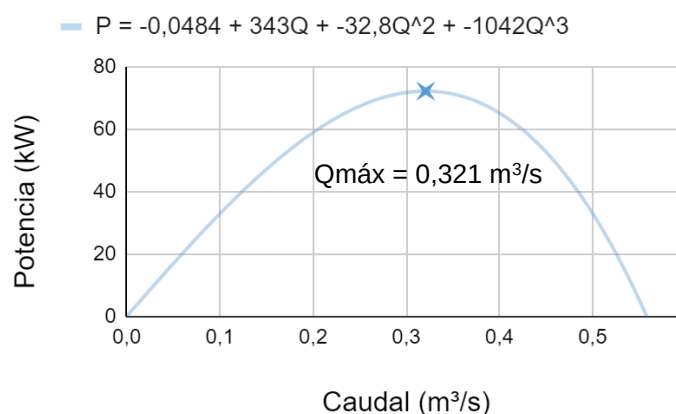


Figura 14. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 4 con diámetro 400 mm

Nota. Elaboración propia (2023).

4.7. Caudal a turbinar

El caudal a turbinar corresponde al valor obtenido del caudal máximo turbinable o al caudal aprovechable del cauce según sea el caso.

Como se mostró anteriormente en la Figura 14, el caudal máximo turbinable es de 0,321 m³/s en el caso del punto 4 para el 90% de garantía. Se observa en la Tabla 12, que en algunos meses el caudal máximo turbinable limita el caudal a turbinar, como es el caso del mes de junio que tiene un caudal aprovechable de 0,326 m³/s. En los meses que el caudal aprovechable es inferior al caudal máximo turbinable, el caudal a turbinar corresponde al caudal aprovechable.

Tabla 12

Caudales mensuales a turbinar del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal aprovechable (m³/s)	Caudal a turbinar (m³/s)
Enero	0,251	0,251
Febrero	0,300	0,300
Marzo	0,323	0,321
Abril	0,292	0,292
Mayo	0,288	0,288
Junio	0,326	0,321
Julio	0,324	0,321
Agosto	0,282	0,282
Septiembre	0,270	0,270
Octubre	0,287	0,287
Noviembre	0,314	0,314
Diciembre	0,309	0,309

Nota. Elaboración propia (2023).

4.8. Salto neto

El salto que puede aprovecharse en cada punto de aprovechamiento para la generación de energía corresponde al salto neto, el cual se define como la disminución del salto bruto por las pérdidas de energía generadas en la tubería forzada.

Las pérdidas de energía se determinaron para todos los caudales medios mensuales. En el caso de las pérdidas por fricción se aplicaron las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Swamee, empleando una longitud de tubería aproximada a la longitud del cauce entre el punto de toma y la casa de máquinas. Las pérdidas localizadas se estimaron como un porcentaje de las pérdidas por fricción y para este estudio se asumió un porcentaje del 5% (Flores y Miranda, 2005).

En la Tabla 13 se observa el cálculo hidráulico del Punto 4 para los caudales mensuales a turbinar. Este cálculo incluye la determinación de la velocidad, pérdidas totales y

salto neto, donde se observa que la velocidad cumple con los valores máximos permisibles de 4 y 5 m/s, pero no disminuyen significativamente, evitando pérdidas excesivas y sedimentación en las tuberías. El cálculo hidráulico de todos los puntos de aprovechamiento se puede visualizar en el Anexo J.

Tabla 13

Cálculo hidráulico del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas totales (m)	Salto neto (m)
Enero	0,251	2,20	9,39E+05	0,0140	9,9	36,5
Febrero	0,300	2,63	1,12E+06	0,0138	13,9	32,5
Marzo	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6
Abril	0,292	2,56	1,09E+06	0,0139	13,1	33,2
Mayo	0,288	2,53	1,08E+06	0,0139	12,9	33,5
Junio	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6
Julio	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6
Agosto	0,282	2,48	1,05E+06	0,0139	12,3	34,0
Septiembre	0,270	2,37	1,01E+06	0,0139	11,3	35,0
Octubre	0,287	2,51	1,07E+06	0,0139	12,7	33,7
Noviembre	0,314	2,75	1,17E+06	0,0138	15,1	31,3
Diciembre	0,309	2,71	1,16E+06	0,0138	14,7	31,6

Nota. La longitud de la tubería es de 1.030,8 m. Elaboración propia (2023).

4.9. Potencia generada

La potencia generada mensualmente se determinó a partir de la Ecuación 9 de acuerdo con los valores de salto neto y caudal a turbinar obtenidos anteriormente. Como primera aproximación se utilizó una eficiencia global de 75% para todos los equipos turbogeneradores, recomendada según Espinosa et al. (2021). Los resultados obtenidos de la potencia generada del Punto 4 para el 90% de garantía se pueden observar en la Tabla 14

Tabla 14

Potencia generada del punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal a turbinar (m³/s)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Potencia continua (kW)
Enero	0,251	36,5	67,5	67,5
Febrero	0,300	32,5	71,7	67,5
Marzo	0,321	30,6	72,2	67,5
Abril	0,292	33,2	71,3	67,5
Mayo	0,288	33,5	71,1	67,5
Junio	0,321	30,6	72,2	67,5
Julio	0,321	30,6	72,2	67,5
Agosto	0,282	34,0	70,7	67,5
Septiembre	0,270	35,0	69,6	67,5
Octubre	0,287	33,7	71,0	67,5
Noviembre	0,314	31,3	72,1	67,5
Diciembre	0,309	31,6	72,0	67,5

Nota. Elaboración propia (2023).

La máxima potencia que puede generarse de forma continua corresponde a la del mes de enero con 67,5 kW y los excedentes de la potencia continua, corresponden a las potencias que no pueden ser garantizadas en todos los meses, donde la potencia máxima generada es de 72,2 kW. Las potencias generadas de todos los puntos de aprovechamiento se pueden visualizar en el Anexo J.

Los valores obtenidos en la tabla anterior se pueden observar gráficamente en la Figura 15. Los gráficos de la potencia generada y potencia continua de los puntos de aprovechamiento se muestran en el Anexo K.

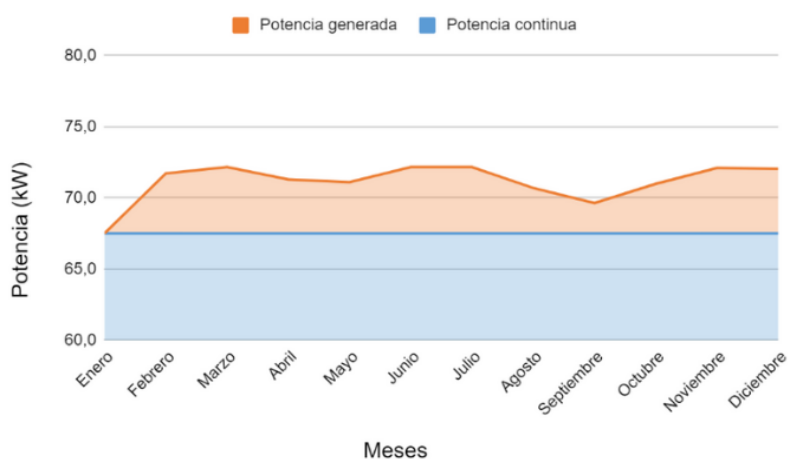


Figura 15. Potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Nota. Elaboración propia (2023).

Con base en los resultados obtenidos de caudales a turbinar correspondientes a las potencias continuas y los saltos brutos definidos anteriormente, se presenta en la Tabla 15 las turbinas adecuadas para cada punto de aprovechamiento.

Tabla 15

Tipo de turbinas adecuadas para cada uno de los puntos del estudio

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Tipo de turbinas	Michell - Banki	Michell - Banki Turgo	Michell - Banki	Michell - Banki Pelton Francis	Michell - Banki
Salto (m)	23,91	81,87	20,18	46,36	7,64
Caudal (m ³ /s)	0,026	0,016	0,267	0,300	0,275

Nota. Elaboración propia (2023).

En la tabla anterior se observa que todos los puntos admiten el uso de las turbinas Michell-Banki como consecuencia de las características en cada punto de aprovechamiento.

Los puntos 2 y 4 admiten la implementación de otros tipos de turbinas. El punto 2 presenta el caudal más bajo y el salto más alto con respecto a los demás puntos del estudio, por lo que permite implementar una turbina Turgo. Mientras que, el punto 4 tiene un salto y caudal considerable, que permite la implementación de las turbinas Pelton y Francis.

4.10. Análisis de costos de la tubería forzada

De acuerdo con la cotización de TUBOACERO y la potencia continua definidas anteriormente, se determinó el costo total de la tubería forzada en relación con la potencia continua del punto de aprovechamiento como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16

Costos de las tuberías forzadas de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Precio (\$ x ml)	Longitud de tubería (m)	Costo tubería forzada (\$)	Potencia continua (kW)	Precio por potencia (\$/kW)
Punto 1	150	80,6	396,8	31.967	3,3	9.599
Punto 2	100	45,8	725,1	33.219	6,4	5.223
Punto 3	500	522,8	1.851,9	968.126	25,7	37.604
Punto 4	400	351,4	1.030,8	362.249	67,5	5.366
Punto 5	400	351,4	281,9	99.062	9,1	10.829

Nota. Elaboración propia (2023).

Los resultados mostrados en la tabla anterior indican que la tubería más económica corresponde al punto 2 con 5.223 \$/kW seguido por el punto 4 con 5.366 \$/kW; sin embargo, la potencia continua generada en el punto 4 es mucho mayor en relación con la potencia continua generada del punto 2. Por lo tanto, se consideró el punto 4 como el más rentable de todos los puntos de aprovechamiento evaluados.

Se realizó una verificación del diámetro seleccionado por punto de aprovechamiento, con la finalidad de comprobar que los diámetros mostrados en la Tabla 11 del Apartado 4.5 son los más rentables. Dicha verificación consta de una comparación de los precios de las tuberías forzadas con respecto a la potencia continua correspondiente. En la comparación de precios se estudiaron 3 diámetros consecutivos en cada punto de aprovechamiento.

En la Tabla 17 se observa la comparación de precios de diámetros de la tubería forzada por potencia continua, de todos los puntos de aprovechamiento. En el caso del punto 4, el diámetro de 400 mm es el más económico entre los diámetros estudiados, con 5.366 \$/kW para el 90% de garantía. El mismo análisis se realizó con todos los puntos de aprovechamiento, y se determinó que los diámetros fueron correctamente seleccionados.

El punto de aprovechamiento más costoso es el punto 3 con 37.604 \$/kW para el 90% de garantía, debido a que emplea el diámetro de mayor dimensión del estudio y posee la mayor distancia entre el punto de toma y la casa de máquinas. La potencia continua obtenida en este punto de aprovechamiento es insuficiente para contrarrestar el elevado costo de la tubería forzada.

Para diámetros inferiores al seleccionado, se obtiene un precio por potencia mayor, ya que la reducción del diámetro para un mismo caudal origina un aumento de las velocidades dentro de la tubería forzada, y por consiguiente se presentan mayores pérdidas que afectan directamente a la potencia continua. Para diámetros mayores al seleccionado se obtienen mayores potencias continuas debido a que las velocidades disminuyen, sin embargo, los precios de las tuberías dejan de ser rentables.

En el Anexo M se observa la comparación de precios de los diámetros evaluados para todos los porcentajes de garantía.

Tabla 17

Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Precio (\$ x ml)	Longitud de tubería (m)	Costo tubería forzada (\$)	Potencia continua (kW)	Precio por potencia (\$/kW)
Punto 1	100	45,8	396,8	18.182	1,4	13.372
	150	80,6	396,8	31.967	3,3	9.599
	200	121,3	396,8	48.124	3,8	12.822

Nota. Se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Tabla 17 (continuación)

Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Precio (\$ x ml)	Longitud de tubería (m)	Costo tubería forzada (\$)	Potencia continua (kW)	Precio por potencia (\$/kW)
Punto 2	80	32,2	725,1	23.337	3,2	7.398
	100	45,8	725,1	33.219	6,4	5.223
	150	80,6	725,1	58.406	8,5	6.908
Punto 3	400	351,4	1.851,9	650.795	15,0	43.359
	500	522,8	1.851,9	968.126	25,7	37.604
	600	727,5	1.851,9	1.347.182	30,3	44.528
Punto 4	400	351,4	1.030,8	362.249	67,5	5.366
	500	522,8	1.030,8	538.883	79,9	6.744
	600	727,5	1.030,8	749.875	83,4	8.990
Punto 5	300	227,2	281,9	64.035	5,0	12.750
	400	351,4	281,9	99.062	9,1	10.829
	500	522,8	281,9	147.365	13,4	10.996

Nota. Se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

A pesar de que el diámetro más económico en los puntos de aprovechamiento 3, 4 y 5 varía según el porcentaje de garantía, se seleccionaron los diámetros que sean más económicos para la mayoría de los porcentajes de garantía. Por lo que los diámetros seleccionados fueron 150 mm, 100 mm, 500 mm, 400 mm y 400 mm para los puntos de aprovechamiento 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Es importante acotar que las velocidades obtenidas en las tuberías para los diámetros seleccionados en todos los porcentajes de garantía cumplen con las velocidades máximas permisibles.

4.11. Energía generada

Se determinaron las energías generadas de acuerdo con las potencias generadas mensualmente para todos los puntos de aprovechamiento. La energía generada varía en función de la cantidad de días que presente cada mes, por lo que, para un mismo valor de potencia se pueden obtener diferentes energías.

De manera similar al caso de la potencia, se obtiene una energía que puede producirse de forma continua a lo largo del año, mientras que la energía secundaria solo se genera de acuerdo con los excedentes de la energía firme.

En la Tabla 18 se observa que la menor energía firme en el punto 4 con diámetro de 400 mm para el 90% de garantía es de 45,4 MWh correspondiente al mes de febrero, por ser el mes con menor cantidad de días. Sin embargo, el mes de enero no produce energía secundaria por ser el mes que define la potencia continua, obteniendo una energía firme de 50,2 MWh. Así mismo, la energía máxima generada es de 53,7 MWh. En general, para este punto de aprovechamiento se tienen energías secundarias que varían entre 2 MWh y 4 MWh en la mayoría de los meses. Las energías generadas en los demás puntos del estudio se muestran en el Anexo J.

Tabla 18

Energías generadas en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Mes	Días	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	31	67,5	50,2	50,2	0,0
Febrero	28	71,7	48,2	45,4	2,8
Marzo	31	72,2	53,7	50,2	3,5
Abril	30	71,3	51,3	48,6	2,7
Mayo	31	71,1	52,9	50,2	2,7
Junio	30	72,2	52,0	48,6	3,4
Julio	31	72,2	53,7	50,2	3,5

Nota. Elaboración propia (2023).

Tabla 18 (continuación)

Energías generadas en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Mes	Días	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Agosto	31	70,7	52,6	50,2	2,4
Septiembre	30	69,6	50,1	48,6	1,5
Octubre	31	71,0	52,8	50,2	2,6
Noviembre	30	72,1	51,9	48,6	3,3
Diciembre	31	72,0	53,6	50,2	3,4

Nota. Elaboración propia (2023).

Los valores obtenidos en la tabla anterior se pueden observar gráficamente en la Figura 16. Los gráficos de la energía generada, energía firme y energía secundaria de los puntos de aprovechamiento se muestran en el Anexo L.

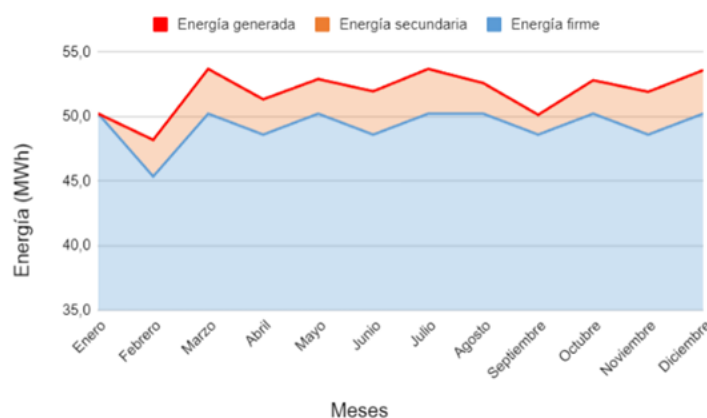


Figura 16. Energía generada mensualmente del Punto 4 para el 90% de garantía

Nota. Elaboración propia (2023).

En la Tabla 19 se observan las energías generadas en cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía. El punto 1 produce energías inferiores a 3 MWh, definiéndose como el punto con menor capacidad de producción de energía a comparación de los demás puntos de aprovechamiento del estudio. Mientras que el punto 4 posee las mayores energías de todo el estudio, produciendo hasta 54 MWh.

Tabla 19

Resumen de energías generadas de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía

Mes	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Enero	2,5	4,7	19,2	50,2	6,8
Febrero	2,5	4,3	18,2	48,2	6,1
Marzo	2,9	4,8	20,2	53,7	6,8
Abril	2,6	4,7	19,5	51,3	6,6
Mayo	2,7	4,8	20,1	52,9	6,8
Junio	2,8	4,7	19,6	52,0	6,6
Julio	2,9	4,8	20,2	53,7	6,8
Agosto	2,7	4,8	20,0	52,6	6,8
Septiembre	2,5	4,6	19,1	50,1	6,6
Octubre	2,7	4,8	20,0	52,8	6,8
Noviembre	2,7	4,7	19,6	51,9	6,6
Diciembre	2,8	4,8	20,2	53,6	6,8

Nota. Energías dadas en MWh. Elaboración propia (2023).

4.12. Análisis de costos de inversión

Se hizo un análisis de costos de toda la inversión requerida para un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico, con los diámetros seleccionados por punto de aprovechamiento. Este análisis considera el costo total de la tubería forzada y la energía firme obtenidos anteriormente.

El análisis de costos considera que el costo total de la tubería forzada representa un 25,4% del costo total de inversión del pequeño aprovechamiento hidroeléctrico según Espinosa et al. (2021). Este costo total de la inversión incluye obras de captación, conducción, desarenador y tanque de presión, casa de máquinas, equipo electromecánico, compuertas y tubería de presión. Sin embargo, el costo de las líneas de transmisión y el costo por mantenimiento no fueron considerados en el presente estudio.

Se determinó el precio de la energía generada, el cual corresponde al costo total de la inversión del aprovechamiento por kilovatios/hora producidos en un año. Como se observa en

la Tabla 20, el punto 4 posee el menor costo por energía generada, siendo este de 2,29 \$/kWh para el 90% de garantía y el punto 3 posee el mayor costo por energía generada, con 16,16 \$/kWh.

Tabla 20

Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Costo tubería forzada (\$)	Costo total del aprovechamiento (\$)	Energía generada (kWh)	Precio por energía (\$/kWh)
Punto 1	150	31.967	125.853	32.168	3,91
Punto 2	100	33.219	130.785	56.601	2,31
Punto 3	500	968.126	3.811.521	235.897	16,16
Punto 4	400	362.249	1.426.177	623.064	2,29
Punto 5	400	99.062	390.008	80.138	4,87

Nota. Elaboración propia (2023).

En el Anexo N se observan los costos de la inversión por punto de aprovechamiento para todos los porcentajes de garantía.

4.13. Demanda eléctrica

La demanda eléctrica para uso residencial se determinó a partir del consumo mensual de los electrodomésticos, de acuerdo con su tiempo de uso y a la metodología según el Código Eléctrico Nacional. Adicionalmente se determinó la demanda eléctrica residencial de acuerdo con los valores recomendados de demanda por vivienda según la ONU y CADAFE.

Las metodologías de la ONU y CADAFE definen un valor de demanda eléctrica por vivienda de 0,5 y 1 kW/vivienda respectivamente. La metodología empleada para la determinación de la demanda de los electrodomésticos se realizó a partir de la información obtenida de los líderes de la comunidad, los cuales precisaron los equipos de mayor uso, y el número familias y habitantes en la población. Se determinó el consumo mensual de dichos equipos empleando tablas de consumo por cada equipo para un tiempo de uso definido.

En la Tabla 21 se observa el consumo mensual de energía de todos los electrodomésticos considerados en el estudio, definido por la potencia promedio del equipo y el tiempo de uso mensual para cada electrodoméstico.

Tabla 21

Consumo mensual de energía de los electrodomésticos considerados en el estudio

Electrodomésticos	Potencia (W)	Nº unidades	Tiempo de consumo (h/mes)	Consumo mensual (kWh)
Televisor	80 ⁽¹⁾	2	180	28,8
Nevera	480 ⁽¹⁾	1	300	144
Freezer	650 ⁽²⁾	1	300	195
Ventilador	65 ⁽²⁾	2	240	31,2
Lavadora automática	2.000 ⁽¹⁾	1	32	64
Aire acondicionado	2.000 ⁽¹⁾	1	240	480
Iluminación	360 ⁽³⁾	1	-	43,0
Total	5.780	-	-	986

Nota. ⁽¹⁾ CORPOELEC (2011), ⁽²⁾ CIME (2014), ⁽³⁾ Sosa y Siem (2004). Todos los tiempos de consumo fueron definidos a partir del CIME (2014). Elaboración propia (2023).

De acuerdo con los valores obtenidos en la tabla anterior, la potencia total de los electrodomésticos, según el número de unidades estimadas por vivienda, es de 5,78 kW; mientras que el consumo mensual de energía de todos los electrodomésticos es de 986 kWh, el cual corresponde a una potencia de 1,37 kW por vivienda, considerando 30 días promedio por mes y 24 horas por día.

Para considerar el factor de simultaneidad de uso de los equipos, se empleó la metodología del Código Eléctrico Nacional (2004), en el cual se estableció que los primeros 8 kVA son usados en su totalidad y la carga restante, utiliza solo un 40%. Debido a que el valor obtenido de potencia fue inferior a lo establecido en la norma, en la determinación de la demanda eléctrica se emplea la totalidad de la potencia obtenida de 5,78 kW.

La determinación de las viviendas en la población de Puerto Cruz se realizó mediante la información obtenida por los líderes de la comunidad. El número de familias es de 360 y se estimaron 2 familias por vivienda (M. Mayora, comunicación personal, 6 de mayo de 2023).

En la Tabla 22 se observan las demandas mensuales de acuerdo con las diferentes metodologías aplicadas. Las menores demandas obtenidas corresponden a la metodología de la ONU, obteniendo demandas inferiores a 67 MWh. Mientras que las mayores demandas obtenidas corresponden a la metodología aplicada del Código Eléctrico Nacional, obteniendo demandas por encima de 699,1 MWh.

Tabla 22

Demanda mensual de uso residencial de acuerdo con las metodologías aplicadas

	ONU	CADAFE	Electrodomésticos	Código Eléctrico Nacional
Mes	Demanda mensual (MWh)	Demanda mensual (MWh)	Demanda mensual (MWh)	Demanda mensual (MWh)
Enero	67,0	133,9	183,4	774,1
Febrero	60,5	121,0	165,6	699,1
Marzo	67,0	133,9	183,4	774,1
Abril	64,8	129,6	177,5	749,1
Mayo	67,0	133,9	183,4	774,1
Junio	64,8	129,6	177,5	749,1
Julio	67,0	133,9	183,4	774,1
Agosto	67,0	133,9	183,4	774,1
Septiembre	64,8	129,6	177,5	749,1
Octubre	67,0	133,9	183,4	774,1
Noviembre	64,8	129,6	177,5	749,1
Diciembre	67,0	133,9	183,4	774,1

Nota. Elaboración propia (2023).

La metodología más adecuada para el estudio es la realizada por CADAFE por ser una empresa nacional de energía, que recomienda un valor de demanda de potencia apropiada para poblaciones rurales.

En la Figura 17 se graficaron los valores obtenidos en una curva de carga mensual, con la finalidad de comparar la demanda eléctrica de uso residencial de la población con la energía generada en cada uno de los puntos de aprovechamiento.

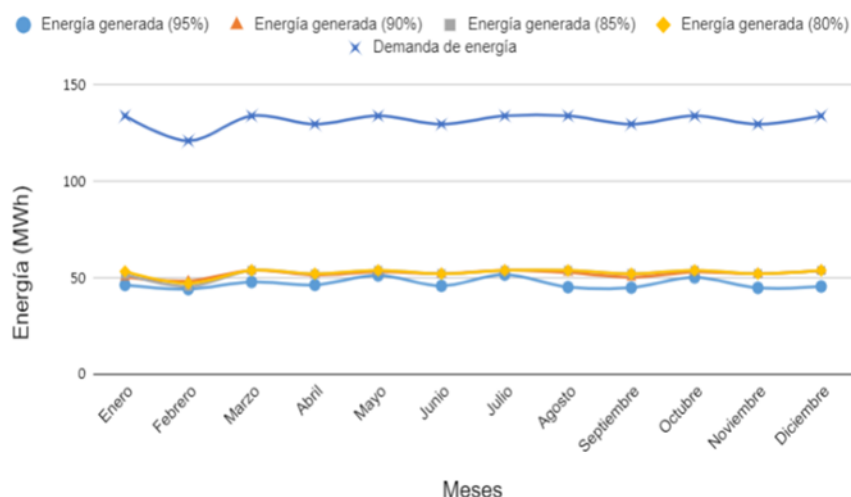


Figura 17. Curva de carga mensual del Punto 4 con todos los porcentajes de garantía

Nota. Elaboración propia (2023).

De acuerdo con los resultados de energía generada mostrados en la Tabla 19 en el Apartado 4.11, se determinó que el número de viviendas que se pueden abastecer por porcentaje de garantía en el punto 4 son, 85 viviendas al 95% de garantía, 102 viviendas al 90% de garantía, 105 viviendas al 85% de garantía y 107 viviendas al 80% de garantía.

La demanda eléctrica para alumbrado público se determinó a partir de las estimaciones de CADAFE y OLADE según el número de casas y el número de habitantes, correspondientemente.

Se estimó el número de casas por medio de un conteo de techos en Google Earth, obteniendo como resultado 197 techos. La información requerida sobre el número de habitantes se obtuvo a partir de la información obtenida por los líderes de la comunidad, los cuales indicaron que Puerto Cruz cuenta con 937 habitantes (M. Mayora, comunicación personal, 6 de mayo de 2023).

Mediante la metodología de CADAFE se determinó una demanda eléctrica de 14,78 kW, que en 12 horas de consumo representa una demanda eléctrica máxima mensual de 5,5 MWh. La metodología de OLADE determinó una demanda eléctrica de 9,37 kW, que en 12 horas de consumo representa una demanda eléctrica máxima mensual de 3,49 MWh.

La metodología más adecuada para la determinación de la demanda para alumbrado público es la de CADAFE por ser una empresa nacional de energía, que además considera el número de techos. Emplear el conteo de techos para la determinación de esta demanda es adecuado ya que considera también otros establecimientos dedicados al desarrollo de la población, como las posadas, restaurantes, escuelas, ambulatorios y capillas.

Se comparan los resultados mostrados en la Tabla 19 en el Apartado 4.11 de las energías generadas mensualmente, con la demanda eléctrica máxima mensual obtenida para alumbrado público, la cual es de 5,5 MWh. Al realizar la comparación, se observa que logra satisfacerse sólo en los puntos de aprovechamiento ubicados en el río El Limón para todos los porcentajes de garantía.

Por otro lado, en Puerto Cruz existe un proyecto de cavas cuarto en ejecución para la conservación y congelación de pescado que contempla la implementación de al menos dos cavas cuarto. Las cavas cuarto para la conservación y congelación del pescado tendrán una capacidad de 20 toneladas y 40 toneladas respectivamente. (Mayora, P., comunicación personal, 6 de mayo de 2023). De acuerdo con la información recopilada en la visita a Puerto Cruz, se observó que cuentan con grandes cosechas de plátano.

Considerando lo anterior, se determinó el consumo eléctrico de tres cavas cuarto destinadas a la conservación y congelación del pescado, y a la conservación de las cosechas de plátano.

La ganancia de calor a través de las paredes se determinó por medio del material aislante térmico de las cavas cuartos. El material empleado fue el poliuretano debido a que tiene buena conductividad térmica, posee larga vida útil, tiene buena resistencia en el tiempo y es de los más usados (Velásquez, 2015). Su espesor se determinó considerando el uso y las temperaturas de la cava como explica Jordán (2018). Las temperaturas de conservación y congelación de los productos alimenticios se determinaron a partir de los valores recomendados en *Cálculo de instalaciones frigoríficas* (2013).

La ganancia de calor de servicio se estimó como un porcentaje sobre la ganancia de calor a través de las paredes. El porcentaje empleado fue de 25%, considerando un tiempo intermedio de apertura de puertas y personal operando dentro de la cava.

La ganancia de calor por motores eléctricos depende de la definición de los equipos, como una primera estimación se consideró el catálogo de Cámara y Equipos Frigoríficos de IMPAFRI (2023), con el que se definió la potencia de los motores de acuerdo con las dimensiones de la cava, obteniendo 8, 12 y 0,5 CV para conservación del pescado, congelación del pescado y conservación del plátano respectivamente.

La ganancia de calor por carga de género depende de la cantidad de producto almacenado. Estos valores deben considerar que el tamaño de la cava no se puede aprovechar al 100%, ya que debe permitir la circulación del aire frío. Se consideró un volumen útil de 70% y se definió una capacidad de 400 kg/m^3 para la estimación de la cantidad de producto que se puede almacenar en las cavas (Pérez et al., 2014).

La ganancia de calor por reacción en frutas y verduras se estimó a partir de un coeficiente de respiración obtenido en *Cálculo de instalaciones frigoríficas* (2013).

Una vez determinadas todas las ganancias por calor en frigorías/hora, se obtuvo el consumo eléctrico requerido en el que se consideraron 16 horas de trabajo de los equipos de las conservadoras y 20 horas de trabajo de los equipos de la congeladora.

Para determinar el consumo eléctrico total de la cava se consideró la potencia requerida para la iluminación de las cámaras de almacenamiento. Se define 200 lux para determinar el flujo luminoso, cuyo factor de uso y de mantenimiento es de 0,7 y 0,68 respectivamente (Pérez et al., 2014). A partir del resultado obtenido se consideró aproximadamente 4000 lúmenes por 50 W, obteniendo 0,16 kWh, 0,32 kWh y 0,02 kWh de consumo eléctrico destinado a la iluminación de las cámaras de conservación del pescado, congelación del pescado y conservación del plátano respectivamente.

Los valores obtenidos para los tres casos fueron 9,22 kWh, 13,11 kWh y 0,62 kWh para la cava cuarto de la conservadora y congeladora de pescado, y la conservadora de plátano. Todos los resultados asociados a la demanda para la conservación y congelación de pescado y plátano se pueden observar en la Tabla 23.

Tabla 23*Demanda mensual para la conservación y congelación de productos alimenticios*

Descripción	Conservación del pescado	Congelación del pescado	Conservación del plátano
Temperatura ambiente promedio (°C)	28	28	28
Temperatura recomendada de congelación/conservación (°C)	1	-15	12
Alto externo de la cava (m)	2,5	2,5	1,2
Largo externo de la cava (m)	6	7,5	1,5
Ancho externo de la cava (m)	5	8	2
Espesor de paredes y techo (mm)	100	150	75
Material de las paredes	Poliuretano	Poliuretano	Poliuretano
Coeficiente de transmisión de calor (frigoría/h/m ² /°C)	0,2	0,1	0,27
Superficie externa de la cava (m ²)	115	197,5	14,4
Calor específico de congelación/conservación (frigoría/día/kg)	0,82	0,41	0,81
Ganancia de calor a través de paredes (frigoría/h)	932	1.019	93
Potencia del motor eléctrico (CV)	8	12	0,5
Ganancia de calor por motores eléctricos (frigoría/h)	5.056	7.584	316
Porcentaje requerido por calor de servicio (%)	25	25	25
Ganancia de calor de servicio (frigoría/h)	232,88	254,78	23,33

Nota. Elaboración propia (2023).

Tabla 23 (continuación)*Demanda mensual para la conservación y congelación de productos alimenticios*

Descripción	Conservación del pescado	Congelación del pescado	Conservación del plátano
Volumen bruto externo de la cava (m3)	75	150	3,6
Volumen útil de la cámara (m3)	52,5	105	2,52
Capacidad por m3 de cava (kg/ m3)	400	400	400
Capacidad de almacenamiento total (kg)	21.000	42.000	1.008
Temperatura de entrada del producto (°C)	25	25	25
Ganancia de calor por carga de género (frigoría/h)	861,00	1.148,00	22,11
Coeficiente de respiración (frigoría/día/kg)	N/A	N/A	2,3
Ganancia de calor por reacción en frutas y verduras (frigoría/h)	N/A	N/A	4,83
Ganancia de calor por renovación de aire (frigoría/h)	N/A	N/A	13,11
<u>Ganancia de calor total (frigoría/h)</u>	<u>7.081,38</u>	<u>10.005,88</u>	<u>472,69</u>
Margen de seguridad (%)	10	10	10
<u>Consumo eléctrico requerida (kWh)</u>	<u>9,06</u>	<u>12,80</u>	<u>0,60</u>
Flujo de luminoso requerido (lumen)	12.605	25.210	1.261
Consumo eléctrico de la iluminación interna de la cava (kWh)	0,16	0,32	0,02
Consumo eléctrico total (kWh)	9,22	13,11	0,62

Nota. Elaboración propia (2023).

Es importante destacar que en el caso del pescado, se consideraron las condiciones del proyecto de cavas cuarto en Puerto Cruz con relación a las toneladas indicadas en las entrevistas realizadas. Sin embargo, no se obtuvo información sobre las toneladas de plátano producidas, por lo que, se estimó el consumo eléctrico para 1 tonelada aproximadamente.

La demanda eléctrica máxima mensual para la conservación y congelación del pescado, y la conservación del plátano fue de 6,86 MWh, 9,76 MWh y 0,46 MWh respectivamente.

De acuerdo con los resultados de energía generada mostrados en la Tabla 19 en el Apartado 4.11, se determinó que la demanda eléctrica de la conservación del plátano puede satisfacerse con la energía generada en cualquiera de los puntos de aprovechamiento seleccionados para todos los porcentajes de garantía. Sin embargo, la demanda eléctrica para la conservación y congelación del pescado puede satisfacerse únicamente con la energía generada en el punto de aprovechamiento 3 y 4, para todos los porcentajes de garantía.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se evaluó el potencial hidroeléctrico de la cuenca del río El Limón, ubicado en Puerto Cruz, Edo. La Guaira, para 5 puntos de aprovechamiento y 4 porcentajes de garantía: 95%, 90%, 85% y 80%.
- El método de correlación de cuencas aplicado para la estimación de caudales en los puntos de estudio es adecuado ya que las características morfológicas de las cuencas son similares entre sí.
- La estimación del caudal ecológico se realizó de acuerdo con la metodología de Montana, la cual considera una variación de caudal ecológico entre los meses de lluvia y sequía, para garantizar la sobrevivencia de las especies acuáticas a largo plazo.
- El punto 1 ubicado en la quebrada Tamaira presenta un salto de 23,9 m, y produce las siguientes potencia continua y energías generadas: 2,9 kW y 27,3 MWh por año, para el 95%, 3,3 kW y 32,2 MWh por año para el 90%, 3,5 kW y 33,1 MWh por año para el 85% y 3,7 kW y 34,1 MWh por año para el 80%.
- El punto 2 ubicado en la quebrada Caguaita presenta un salto de 81,9 m, y produce las siguientes potencias continuas y energías generadas: 5,9 kW y 53,7 MWh por año para el 95%, 6,4 kW y 56,6 MWh por año para el 90%, 6,4 kW y 56,7 MWh por año para el 85% y 6,5 kW y 56,7 MWh por año para el 80%.
- El punto 3 ubicado en el Río Limón, previo a la confluencia con la quebrada Caguaita presenta un salto de 20,2 m, y produce las siguientes potencias continuas y energías generadas: 23,2 kW y 214,9 MWh por año para el 95%, 25,7 kW y 235,9 MWh por año para el 90%, 26,4 kW y 237,5 MWh por año para el 85% y 27,0 kW y 238,3 MWh por año para el 80%.
- El punto 4 ubicado en el Río El Limón, previo a la confluencia con la quebrada Tamaira presenta un salto de 46,4 m, y produce las siguientes potencias continuas y energías generadas: 60,5 kW y 562,1 MWh por año para el 95%, 67,5 kW y 623,1

MWh por año para el 90%, 67,5 kW y 626,9 MWh por año para el 85% y 69,9 kW y 630,0 MWh por año para el 80%.

- El punto 5 ubicado en Río Limón, cercano a la desembocadura al mar presenta un salto de 7,6 m, y produce las siguientes potencias continuas y energías generadas: 9,1 kW y 80,0 MWh por año para el 95%, 9,1 kW y 80,1 MWh por año para el 90%, 9,1 kW y 80,1 MWh por año para el 85% y 9,1 kW y 80,1 MWh por año para el 80%.
- Los puntos seleccionados permiten ser aprovechados simultáneamente debido a su conveniente ubicación, con excepción de los puntos 4 y 5, cuyas centrales hidroeléctricas se localizan en el mismo lugar. Por consiguiente, se puede descartar el punto de aprovechamiento 5, ya que presenta la menor potencia entre ambos; obteniendo como resultado, un potencial hidroeléctrico y una energía total generada en la cuenca de: 92,4 kW y 857,9 MWh para el 95%, 102,9 kW y 947,7 MWh para el 90%, 103,9 kW y 954,2 MWh para el 85%, y 107,0 kW y 959,1 MWh para el 80%.
- En el presente estudio se consideró una garantía de 90% para los caudales medios mensuales, debido a que es un pequeño aprovechamiento de una comunidad aislada en donde se considera adecuado el uso de dicho porcentaje de falla.
- Mediante el análisis de costo realizado, se determinó el precio estimado de la energía generada de cada punto estudiado para el 90% de garantía son los siguientes: punto 1 de 3,91 \$/kWh, punto 2 de 2,31 \$/kWh, punto 3 de 16,16 \$/kWh, punto 4 de 2,29 \$/kWh y punto 5 de 4,87 \$/kWh.
- La demanda eléctrica máxima para uso residencial de acuerdo con la metodología según CADAFE es de 133,9 MWh. De acuerdo con la energía generada por el aprovechamiento simultáneo de los puntos estudiados, exceptuando el punto 5, se puede abastecer la siguiente cantidad de viviendas: 85 viviendas para el 95% de garantía, 102 viviendas para el 90% de garantía, 105 viviendas para el 85% de garantía y 107 viviendas para el 80% de garantía.
- La demanda eléctrica máxima para alumbrado público de acuerdo con la metodología según CADAFE es de 5,5 MWh, la cual puede abastecerse a partir de la energía generada en los puntos de aprovechamiento 3, 4 y 5 de forma individual o de la energía generada en el aprovechamiento simultáneo de los puntos 1 y 2.

- La demanda eléctrica máxima para la conservación y congelación del pescado, y la conservación del plátano es de 17,07 MWh, la cual puede abastecerse a partir de la energía generada en el punto de aprovechamiento 4; o de la energía generada en el aprovechamiento simultáneo del punto de aprovechamiento 3 en conjunto con el punto de aprovechamiento 1, 2 o 5.
- En el punto 1 la potencia continua es de 3,3 kW lo cual clasifica el aprovechamiento como microcentral de acuerdo con la clasificación de ONUDI. Este punto tiene un salto de 23,9 m el cual se clasifica como un salto medio según la clasificación de OLADE.
- En el punto 2 la potencia continua es de 6,4 kW lo cual clasifica el aprovechamiento como microcentral de acuerdo con la clasificación de ONUDI. Este punto tiene un salto de 81,9 m el cual se clasifica como un salto alto según la clasificación de OLADE.
- En el punto 3 la potencia continua es de 25,7 kW lo cual clasifica el aprovechamiento como microcentral de acuerdo con la clasificación de ONUDI. Este punto tiene un salto de 20,2 m el cual se clasifica como un salto medio según la clasificación de OLADE.
- En el punto 4 la potencia continua es de 67,5 kW lo cual clasifica el aprovechamiento como microcentral de acuerdo con la clasificación de ONUDI. Este punto tiene un salto de 46,4 m el cual se clasifica como un salto medio según la clasificación de OLADE.
- En el punto 5 la potencia continua es de 9,1 kW lo cual clasifica el aprovechamiento como microcentral de acuerdo con la clasificación de ONUDI. Este punto tiene un salto de 7,6 m el cual se clasifica como un salto bajo según la clasificación de OLADE.

5.2. Recomendaciones

- Actualizar y ampliar la información hidrológica de la cuenca mediante aforos en el río en estudio y mediciones en las estaciones pluviométricas, con al menos 15 años de registros, para determinar el volumen real escurrido en la cuenca.
- Actualizar los mapas aerofotogramétricos y elaborar mapas topográficos en las escalas adecuadas que permita emplear una información más detallada para precisar la ubicación de las obras de infraestructura.
- Evaluar la ubicación de todos los componentes de las obras de los puntos de aprovechamiento, ya que en la visita de campo realizada, no se lograron visualizar algunos puntos de aprovechamiento debido a la difícil accesibilidad al sitio.
- Evaluar la ubicación de la casa de máquinas con la finalidad de definir si la misma se encuentra ubicada dentro de la planicie de inundación del cauce para evitar problemas en épocas de crecidas.
- Validar la metodología de correlación de cuencas usada en la determinación de los caudales medios mensuales de las subcuencas
- Estudiar las condiciones ambientales de la fauna, flora y demás aprovechamientos o usos recreativos de la cuenca y el cauce en estudio para obtener resultados más precisos del caudal ecológico.
- Realizar un estudio más detallado sobre las obras civiles, turbinas, generadores, líneas de transmisión y mano de obra considerando un período de retorno y mantenimiento del aprovechamiento para obtener una estimación más precisa de los costos del aprovechamiento en el análisis de costos.
- Efectuar un estudio del mercado de los equipos turbogeneradores acordes a las características propias de cada punto de aprovechamiento, con la finalidad de definir las eficiencias específicas de los equipos seleccionados.
- Efectuar mediciones del consumo eléctrico de la población con la finalidad de emplear una curva de demanda mensual acorde a las necesidades reales de sus habitantes.

- Elaborar un estudio de mercado de todos los equipos requeridos para la conservación y congelación de productos alimenticios, con la finalidad de definir la potencias frigoríficas y su consumo eléctrico específico de los equipos seleccionados.
- Estimar las toneladas cosechadas de todos los productos alimenticios a almacenar para obtener una resultado real del consumo eléctrico requerido.

BIBLIOGRAFÍA

- Adrada, T. et al. (2013). *Energía minihidráulica: Aplicación a su desarrollo en Latinoamérica y Caribe*. Academia.edu. Recuperado de https://www.academia.edu/7937308/ENERGÍA_MINIHIDRÁULICA_Aplicación_a_su_desarrollo_en_Latinoamérica_y_Caribe
- Agencia Internacional de Energía [AIE]. (2021). *Key world energy statistics*. Agencia Internacional de Energía. Recuperado de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/52f66a88-0b63-4ad2-94a5-29d36e864b82/KeyWorldEnergyStatistics2021.pdf>
- Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA]. (2022). *Estadísticas de energía renovable 2022*. Agencia Internacional de Energías Renovables. Recuperado de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2022.pdf?rev=8e3c22a36f964fa2ad8a50e0b4437870
- Biomass Users Network of Central America [BUN-CA]. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Hidráulica a pequeña escala*. Ministerio del Ambiente del Salvador. Recuperado de: <https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/manuales-sobre-energia-renovable-hidraulica-a-pequena-escala/>
- Bolinaga, J. (1999). *Proyectos de ingeniería hidráulica*. Volumen I y II. Fundación Empresas Polar. Recuperado de <https://vdocuments.mx/proyectos-de-ingenieria-hidraulica-bolinaga.html?page=1>
- Cálculo de instalaciones frigoríficas. (2013). Ingemecánica. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn82.html>
- Capristano, R. y Muñoz, J. (2022). *Diseño de una mini central hidroeléctrica para dotar de energía a centro poblado de Quitarcasa*. Universidad César Vallejo. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/100311/Capristano_MR_P-Muñoz_SJE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Carcelén, J. et al. (Octubre de 1985). *Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas. Vol. II: Evaluación del medio físico*. Biblioteca de la Organización Latinoamericana de Energía. Recuperado de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0123.pdf>
- Centro Industrial de Motores y Electricidad [CIME]. (2014). *Tablas de consumo eléctrico*. Centro Industrial de Motores y Electricidad. Recuperado de <http://www.cimepowersystems.com.mx/wp-content/uploads/2011/10/Tabla-de-consumos.pdf>
- Corporación Eléctrica Nacional [CORPOELEC]. (2011). *Consejos de ahorro de energía*. Corporación Eléctrica Nacional. Recuperado de <http://www.corpoelec.gob.ve/sites/default/files/AhorroE/Anexo%201%20Consejos%20de%20Uso%20Eficiente%20en%20el%20Hogar.pdf>
- Coz, F. et al. (1995). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas: Una guía para el desarrollo de proyectos*. Fundación Sergio Paiz Andrade. Recuperado de <http://funsepa.net/soluciones/pubs/Njc1.pdf>
- Delgadillo, A. y Moreno, A. (s.f.). *Morfometría de las cuencas*. Docplayer. Recuperado de: <https://docplayer.es/18160946-Morfometria-de-cuencas.html>
- Empresa Provincial de Energía de Córdoba [EPEC]. (16 de septiembre de 2018). *La tecnología hidroeléctrica*. Empresa Provincial de Energía de Córdoba. Recuperado de <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/hidroelectricidad.pdf>
- Espinosa, C. et al. (2021). *Guía metodológica para elaborar proyectos de minicentrales hidroeléctricas*. Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Recuperado de https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/Libro_GUIA_METODOLOGICA_PARA_ELABORAR_PROYECTOS_DE_MINICENTRALES_HIDROELECTRICAS_MCH_Espinosa_y_colaboradores.pdf
- European Small Hydropower Association [ESHA]. (2006). *Manual de pequeña hidráulica*. YUMPU. Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/read/13434331/guia-para-el-desarrollo-de-una-pequena-central-hidroelectrica-esh>

- Flores, C. y Miranda, A. (2005). *Sistema de automatización para el cálculo de pérdidas longitudinales en tuberías de agua potable*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio de Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/371>
- Fondo para la Normalización y Certificación de Calidad [FONDONORMA]. (2004). *Código eléctrico nacional (FONDONORMA 200:2004)*. Academia.edu. Recuperado de https://www.academia.edu/7625349/CÓDIGO_ELÉCTRICO_NACIONAL_FONDO_NORMA_200_2004_CONVENIO_DE_ELABORACIÓN_DE_NORMAS_FONDO_NORMA_CODELECTRA_FONDO_PARA_LA_NORMALIZACIÓN_Y_CERTIFICACIÓN_DE_LA_CALIDAD_COMITÉ_DE_ELECTRICIDAD_CODELECTRA
- Gómez, J. (2015). *El potencial hidroeléctrico nacional*. Grupo Orinoco. Recuperado de <https://grupoorinoco.org/2015/05/28/57/>
- Gómez, J. y Pérez, J. (2015). *Agua en Venezuela: Una riqueza escasa*. Capítulo 15: El agua y la generación de energía eléctrica. Fundación Empresas Polar. Recuperado de <https://bibliofep.fundacionempresaspolarg.org/publicaciones/libros/agua-en-venezuela-una-riqueza-escasa/>
- IMPAFRI. (2023). *Catálogo de cámaras y equipos frigoríficos*. INFRICO. Recuperado de <https://infricodocuments.com/impafri/catalogo-impafri.pdf>
- Indacochea, E. et al. (Julio de 1981). *Minicentrales hidroeléctricas (Manual para toma de decisiones)*. Biblioteca de la Organización Latinoamericana de Energía. Recuperado de: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0230.pdf>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía [IDAE]. (Octubre de 2006). *Manual de energías renovables. Minicentrales hidroeléctricas*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Recuperado de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf

- Jordán, E. (2018). *Diseño de tres cámaras frigoríficas de conservación y una de congelación para almacenamiento de productos avícolas situada en la población de Hellín (Albacete)*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/107004/JORDÁN%20-%20DISEÑO%20DE%20TRES%20CÁMARAS%20FRIGORÍFICAS%20DE%20CONSERVACIÓN%20Y%20UNA%20DE%20CONGELACIÓN%20PARA%20ALMACENAMI....pdf?seque>
- Kucharsky, T. (2018). *Guía para la elaboración de estudios de caudales ecológicos en proyectos de aprovechamiento de recursos hídricos*. Corporación Andina de Fomento. Recuperado de <https://scioteca.caf.com/handle//123456789/1694>
- Liu, D. et al. (2019). *Informe mundial sobre el desarrollo de la pequeña central hidroeléctrica 2019*. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. Recuperado de https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-05/Executive%20Summary%20-%20Spanish_1.pdf
- Londoño, C. (2001). *Cuencas hidrográficas: Bases conceptuales - caracterización - planificación - administración*. Academia.edu. Recuperado de https://www.academia.edu/29394172/CUENCAS_HIDROGRÁFICAS_BASES_CONCEPTUALES_CARACTERIZACIÓN_PLANIFICACIÓN_ADMINISTRACIÓN
- Martínez, G y Seijas, J. (2020). *Evaluación del potencial hidroeléctrico de la cuenca del río Cuyagua, municipio Ocumare de la Costa de Oro, Estado Aragua, Venezuela*. [Tesis de grado, Universidad Católica Andrés Bello]. Centro Cultural Padre Carlos Guillermo Plaza s.j.
- Méndez, M. (1995). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Fundación Empresas Polar. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/341391899/Tuberias-a-Presion-Manuel-Vicente-Mendez#>

- Merlo, A. y Gallardo, A. (2015). *Guía del usuario para el uso racional y eficiente de la energía en el sector residencial*. Silo tips. Recuperado de <https://silo.tips/download/guia-del-usuario-para-el-uso-racional-y-eficiente-de-la-energia-en-el-sector-res>
- Mora, D. y Hurtado, J. (2004). *Guía para estudios de prefactibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas como parte de sistemas híbridos*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7105/tesis15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morís, G. (5 de diciembre de 1995). *Ingenieros hidráulicos históricos molinos, batanes y perrerías*. Ingeniería del Agua, Volumen II. IWA Publishing. Recuperado el 20 de febrero de 2023 de <https://iwaponline.com/IA/article/2/4/25/68182/Ingenios-hidraulicos-historicos-molinos-batanes-y>
- Naciones Unidas. (s.f.). *Hechos rápidos sobre el aumento de la temperatura*. Organización de la Naciones Unidas. Recuperado el 22 de febrero de 2023 de https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/fastfacts_temperature_rise.pdf
- Naciones Unidas. (s.f.). *Llegar a las emisiones netas cero: el mundo se compromete a tomar medidas*. Organización de la Naciones Unidas. Recuperado el 19 de febrero de 2023 de <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition#:~:text=Para%20mantener%20el%20calentamiento%20global,el%20cero%20neto%20hacia%202050.>
- Novillo, M. y Krochin, S. (Octubre de 1985). *Guía de diseño de obras civiles de pequeñas centrales hidroeléctricas*. Biblioteca de la Organización Latinoamericana de Energía. Recuperado de <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0125.pdf>
- Nunez, C. (5 de septiembre de 2010). *¿Qué es la energía hidroeléctrica?*. National Geographic. Recuperado el 29 de enero de 2023 de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: Agua y cambio climático*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura Biblioteca Digital. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611.locale=es>
- Pérez, K. et al. (2014). *Cálculo de carga térmica de refrigeración y congelación de los alimentos*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Scribd. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/263981767/Calculo-de-carga-de-Refrigeracion-y-Congelacion-de-Alimentos>
- Prensa Corporación Eléctrica Nacional [CORPOELEC]. (15 de diciembre de 2014). *MPPEE, FUNDELEC y CORPOELEC realizaron visita a modelos hidráulicos en Macagua*. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Recuperado el 6 de marzo de 2023 de <http://www.corpoelec.gob.ve/noticias/mppee-corpoelec-y-fundelec-realizaron-visita-modelos-hidraulicos-en-macagua>
- Quintini, C. (2013). *El sistema energético venezolano: fundamentos sobre el suministro eléctrico*. Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Recuperado de https://acading.org.ve/wp-content/uploads/2023/02/EL_SISTEMA_ENERGETICO_VENEZOLANO.pdf
- Raybaudi, M. y Sans, M. (2022). *Evaluación del potencial hidroeléctrico de la cuenca del río Maya, municipio Tovar, Estado Aragua*. [Tesis de grado, Universidad Católica Andrés Bello]. Centro Cultural Padre Carlos Guillermo Plaza s.j. Recuperado de <https://sib.ucab.edu.ve/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=222064>
- Rivas, J. (2014). *Especialista en hidráulica*. [Tesis de postgrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Digital de la Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6935/Te_sina.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Sanz, J. (2008). *Energía hidroeléctrica*. Prensas Universitarias de Zaragoza. Recuperado el 20 de febrero de 2023 de https://books.google.co.ve/books?hl=es&lr=&id=okGwHH1TePoC&oi=fnd&pg=PA1&dq=historia+de+la+energía+hidroeléctrica&ots=THkrPbby3f&sig=Qhf-YGkxyYaupshcD1O9dMFN_9s&redir_esc=y#v=onepage&q=historia%20de%20la%20energía%20hidroeléctrica&f=false
- Secretaría General del Sistema de la Integración Centroamericana [SG-SICA]. (2014). *Guía de buenas prácticas: Minicentrales hidroeléctricas*. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjK_8T5-P79AhVbVTABHaGVBWkQFnoECAwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.sica.int%2Fdownload%2F%3F89649&usg=AOvVaw09mInds4oBvuTQ4OzTyacv
- Silva, G. (abril de 2000). *Historia resumida de la hidrología venezolana*. Research Gate. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Silva-4/publication/28089474_Historia_resumida_de_la_hidrologia_venezolana/links/575cb46b08ae9a9c95574090/Historia-resumida-de-la-hidrologia-venezolana.pdf
- Sosa, M. y Siem, G. (2004). *Guía del consumidor de energía eléctrica*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Recuperado de <https://www.fau.ucv.ve/idec/racionalidad/pdf/guia.pdf>
- Valery, N. et al. (29 de abril de 2022). *Pasado - presente y futuro del sector eléctrico venezolano*. Universidad Católica Andrés Bello. Recuperado el 6 de marzo de 2023 de <https://economia.ucab.edu.ve/pasado-presente-y-futuro-del-sector-electrico-venezolano/>
- Velásquez, M. (2015). *Materiales aislantes sostenibles*. Repositorio Institucional Universidad de Extremadura. [Tesis de grado, Universidad de Extremadura]. Repositorio Institucional de la Universidad de Extremadura. Recuperado de https://dehesa.unex.es/flexpaper/template.html?path=https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/4159/1/TFGUEx_2015_Velazquez_Rodriguez.pdf#page=1

ANEXOS

Anexo A. Antecedentes de la hidroelectricidad

La transformación de energía comenzó con la rueda hidráulica, que comenzó como elevador de aguas sin movimiento para producir energía. Tiempo después en la Edad Media, su uso se extendió a diversas labores facilitando y acelerando actividades, teniendo mayor repercusión en Gran Bretaña, alcanzando hasta 5.000 ruedas en el año 1086 (Sanz, 2008).

Posteriormente, fueron desplazadas por el uso de las máquinas a vapor, las cuales tuvieron un gran impacto en la Revolución Industrial, debido a que se adaptaban a diferentes ubicaciones, a diferencia de las ruedas hidráulicas las cuales sólo podían ubicarse en cursos de agua (Morís, 1995).

Tiempo después, el desarrollo de turbinas hidráulicas dio paso a la construcción de la primera central hidroeléctrica en Northumberland, Gran Bretaña en 1880 (Sanz, 2008). Seguido por la presa hidroeléctrica ubicada en el río Fox en Appleton, Wisconsin, Estados Unidos el 30 de septiembre de 1882 (Nunez, 2010).

Actualmente, los tres aprovechamientos a gran escala con mayor producción de energía son: la central Tres Gargantas en el río Yangtsé de China, siendo esta la central hidroeléctrica más grande del mundo la cual genera 22.500 MW; seguida por Itaipú ubicada entre Brasil y Paraguay que genera 14.000 MW; y la central Simón Bolívar en el río Caroní de Venezuela que genera 10.200 MW.

Anexo B. Algunas normativas sobre energías renovables

El Acuerdo de París entró en vigor en 2016, es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 y su objetivo es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero manteniendo las temperaturas menores a 1,5 °C; revisando los compromisos de los países cada 5 años; con financiación a los países en desarrollo para sobrellevar y mitigar el cambio climático. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2020)

Aunado a lo anterior, la campaña global de “Race to Zero” o el escenario de cero emisiones netas para 2050, busca reducir las emisiones de gases con efecto invernadero hasta alcanzar emisiones lo más cercanas a cero, para mantener el calentamiento global por debajo de lo establecido en el Acuerdo de París (Naciones Unidas, s.f).

Anexo C. Componentes de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas

De acuerdo con la Guía Metodológica para Elaborar Proyecto de Minicentrales Hidroeléctricas publicada por la ANIH del 2021, se tienen los siguientes componentes:

Presa o dique derivador: la presa es una obra que cierra una garganta para conformar el vaso de almacenamiento, en el caso de desarrollos con regulación; de lo contrario se emplea un dique derivador, el cual es una estructura hidráulica de baja altura que permite elevar la energía potencial del agua en épocas de estiaje.

Obra de toma: es un elemento hidráulico que capta las aguas del embalse o río, y se encuentra conformado por sistemas de protección de control y regulación de flujo.

Canal de conducción: es un cauce artificial abierto o cerrado que conduce las aguas desde la obra de toma a la cámara de carga.

Desarenador: es una estructura que retiene partículas sólidas que se puedan encontrar suspendidas en las aguas con la finalidad de proteger a las turbinas de grandes daños.

Cámara de carga: es una estructura hidráulica de transición entre el canal de conducción y la tubería forzada que mantiene el nivel de agua constante sobre la tubería forzada.

Tubería forzada: es un conducto a presión que conduce las aguas desde la cámara de carga hasta las turbinas.

Casa de máquinas: es la instalación donde se encuentran todos los equipos electromecánicos que transforman la energía.

Canal de restitución: es un cauce artificial que retorna el agua empleada para la transformación de energía al cauce original.

Línea de transmisión: son cables eléctricos soportados por torres o postes que transportan la energía eléctrica producida en la casa de máquinas hasta el centro de consumo.

Red de distribución: son un conjunto de cables eléctricos que conducen la energía eléctrica a las viviendas o unidades de consumo.

Anexo D. Características físicas del método de correlación de cuencas

Como explica Carcelén et al. (1985) las características físicas de una cuenca son:

Factor de forma: es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de su cauce principal. Este factor es de importancia sobre todo en el análisis de crecidas, ya que la forma de una cuenca influye en el modo de escurrimiento.

Factor de compacidad: es un índice comparativo con relación a la forma de la cuenca de drenaje. La forma de la cuenca será más próxima a ser circular, mientras más cercano a la unidad sea el valor obtenido de este coeficiente.

Extensión superficial de la cuenca: es el área circunscrita por la divisoria de la cuenca, lo cual influye directamente en los resultados de cualquier fenómeno hidrológico que ocurra dentro de ella.

Extensión superficial media: se define como la relación entre el área total de la cuenca y la doble longitud del cauce mayor.

Elevación media de la cuenca: se refiere a la altura medida sobre el nivel del mar, la cual modifica las características hidrológicas de la región.

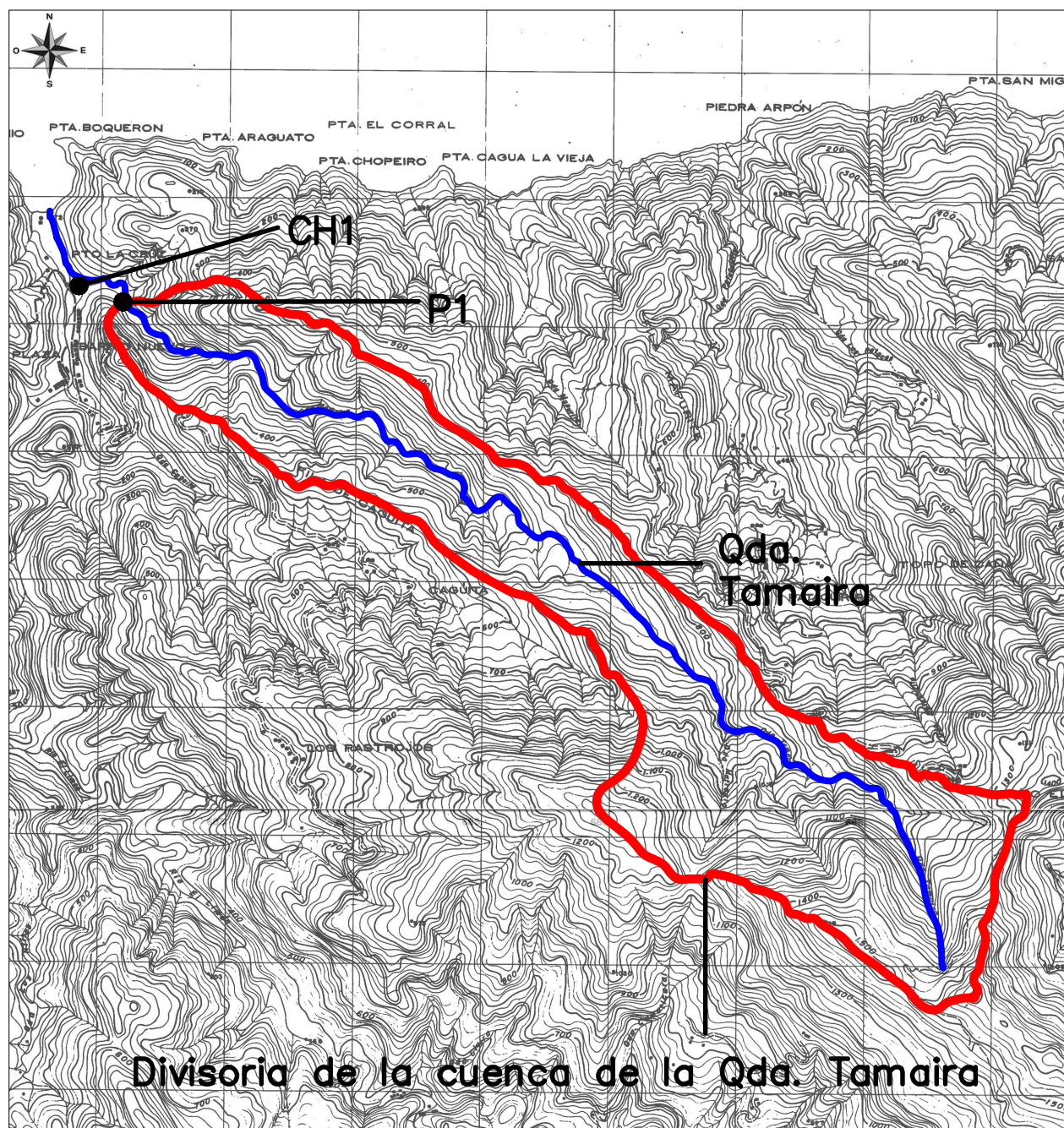
Pendiente media de la cuenca: se refiere al aspecto cinético del escurrimiento, y se encuentra estrechamente ligado a la elevación.

Densidad de la red hidrográfica: está directamente relacionada a la clasificación y al número de ramificaciones de la cuenca hidrográfica, determinados por su número de orden y el número de cauces por unidad de superficie.

Cobertura vegetal y estructura geológica: la vegetación influye en el escurrimiento y las condiciones climatológicas que originan las precipitaciones; y por ello, es recomendable determinar el índice de cobertura mediante la relación de superficies cubiertas por este tipo de vegetación y la superficie total de la cuenca. Por otro lado, la estructura geológica está relacionada con la capacidad de retención e infiltración del escurrimiento de la cuenca.

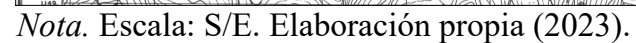
Anexo E. Delimitación de las subcuencas

Anexo E1. Delimitación de la subcuenca del Punto 1 en la quebrada Tamaira, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira

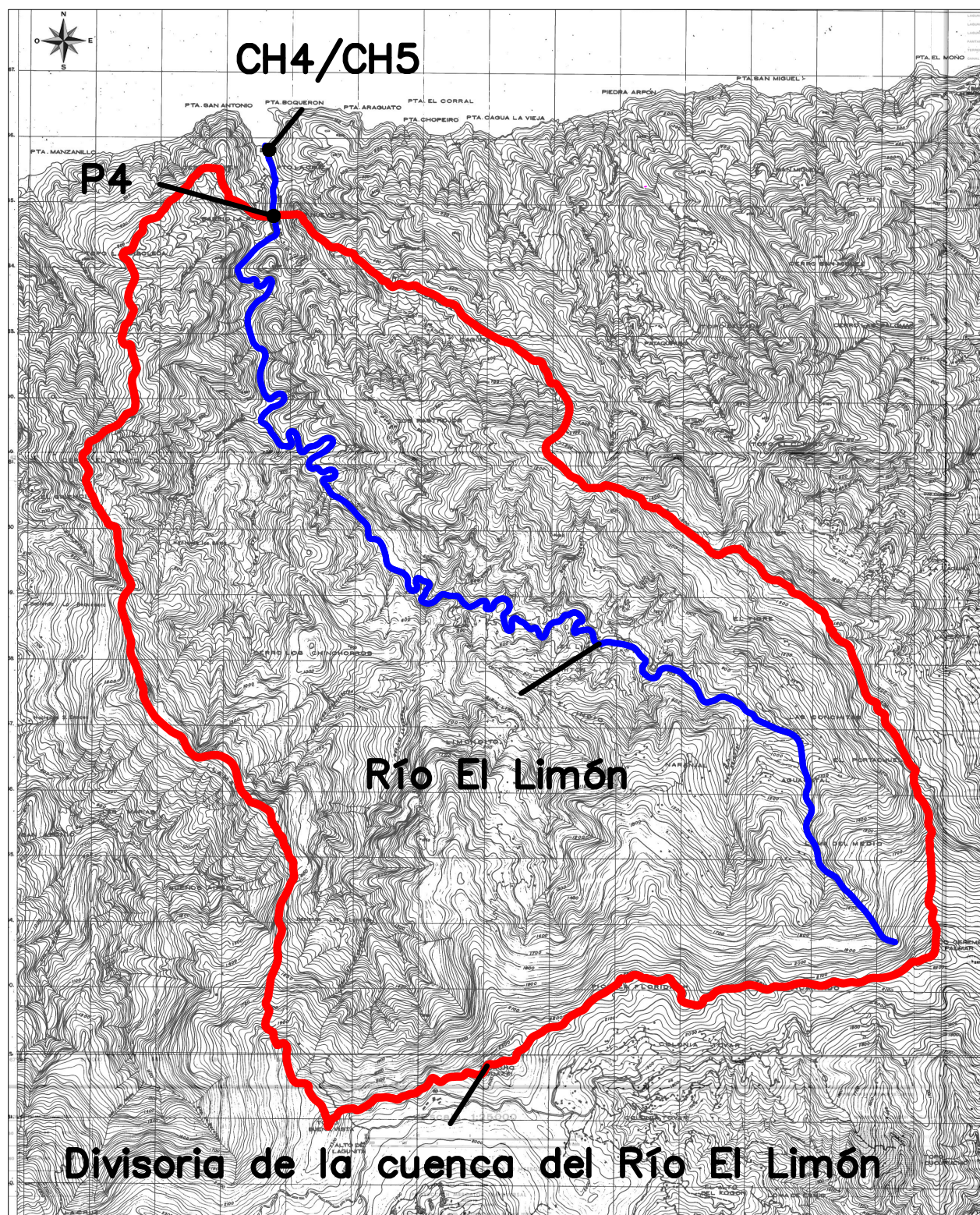


Nota. Escala: S/E. Elaboración propia (2023).



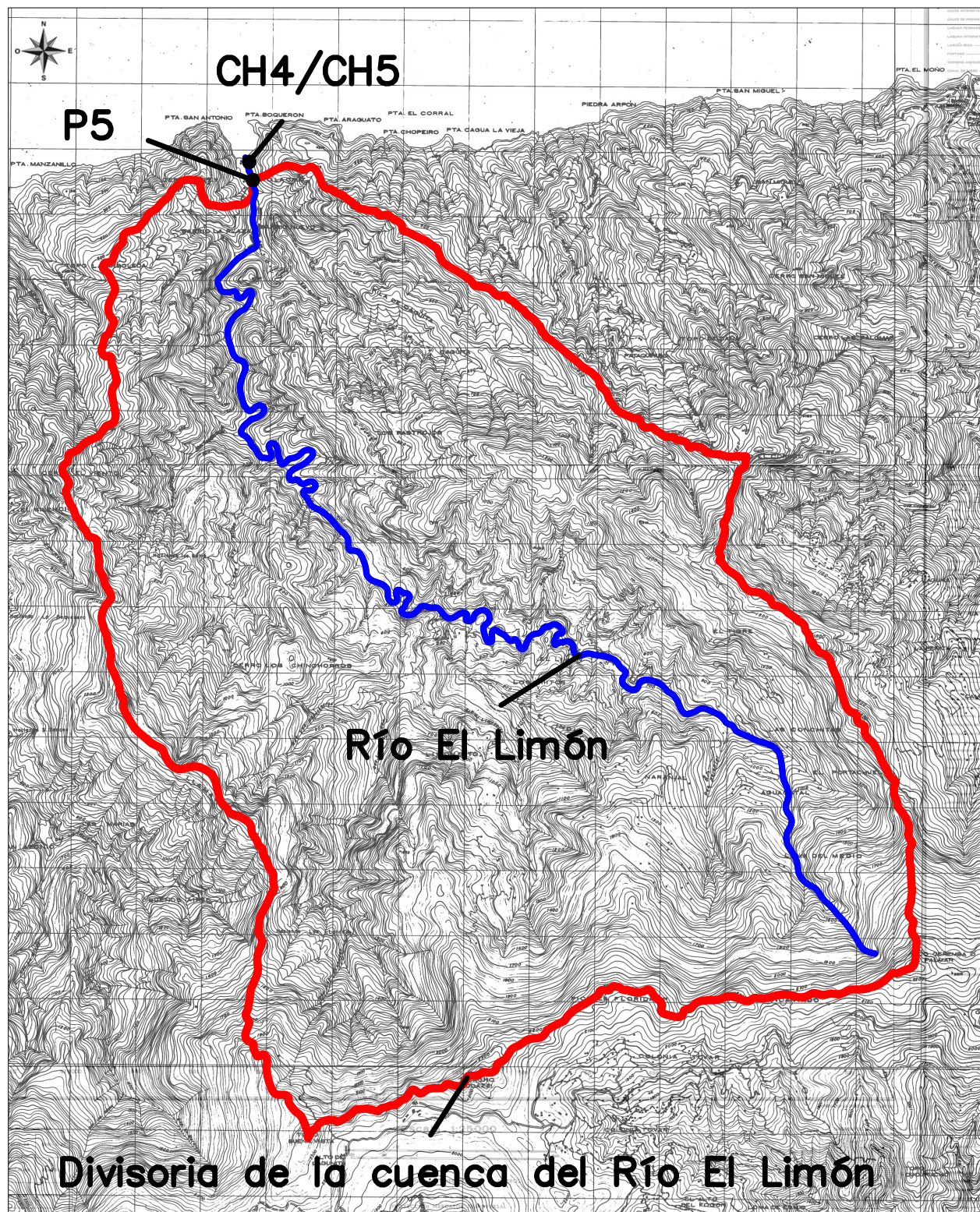


Anexo E4. Delimitación de la subcuenca del Punto 4 en el Río El Limón, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira



Nota. Escala: S/E. Elaboración propia (2023).

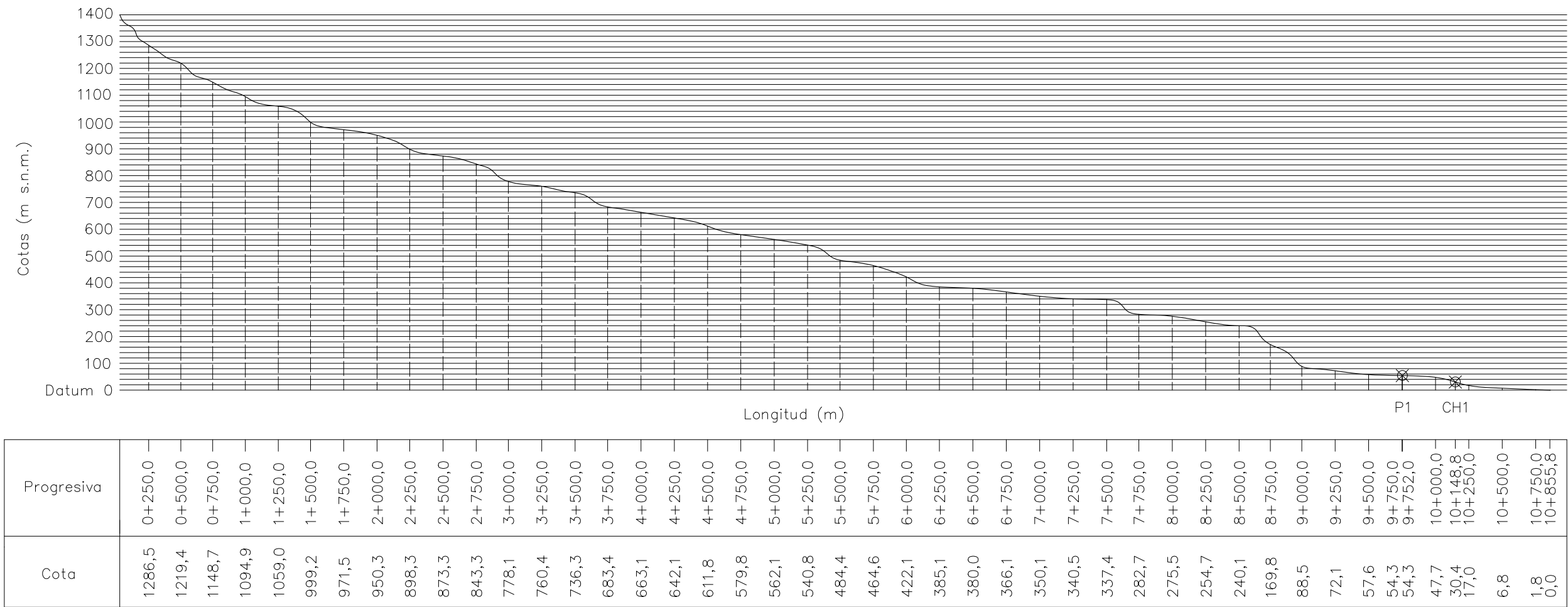
Anexo E5. *Delimitación de la subcuenca del Punto 5 en el Río El Limón, en Puerto Cruz, Edo. La Guaira*



Nota. Escala: S/E. Elaboración propia (2023).

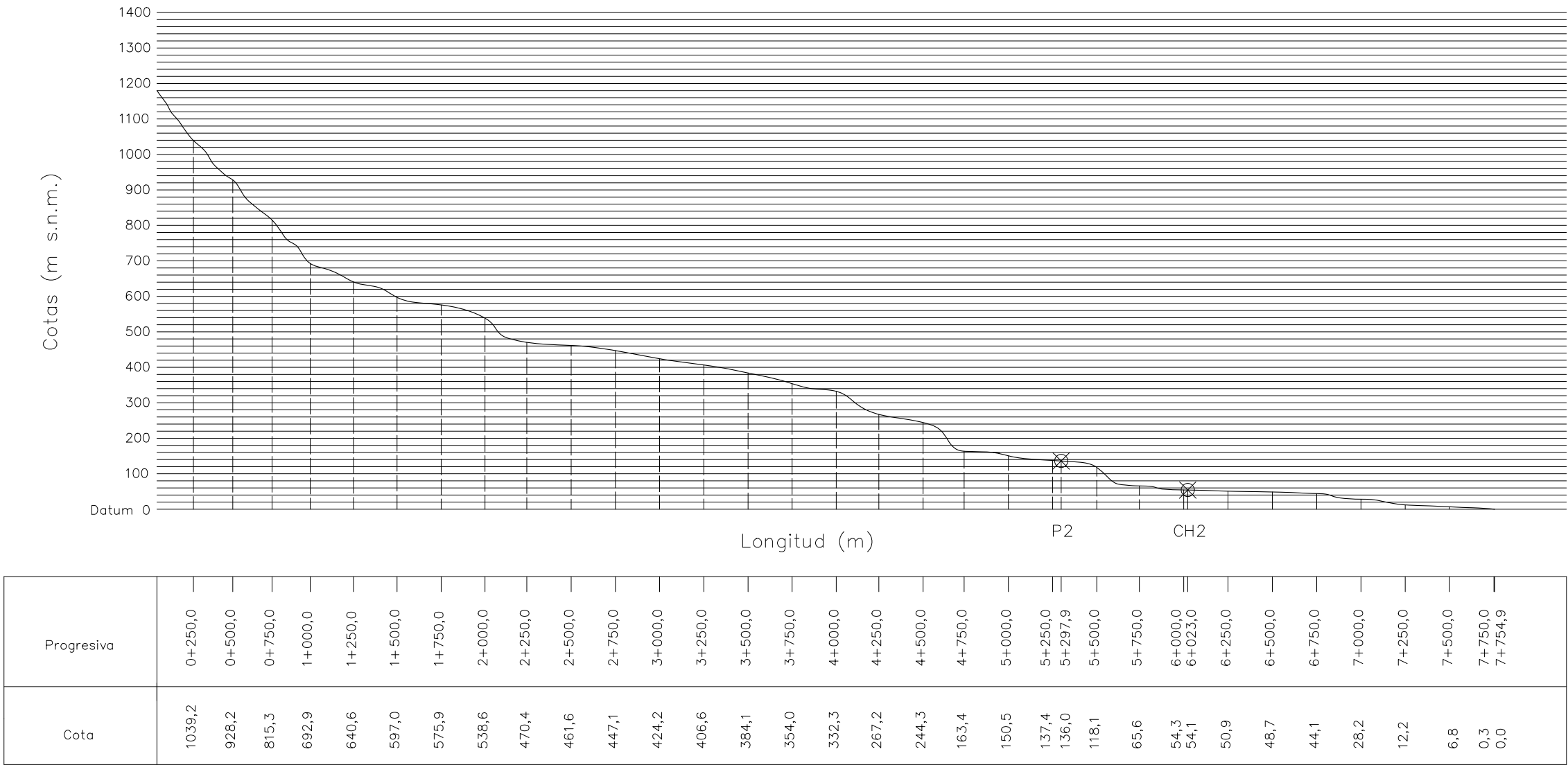
Anexo F. Perfiles longitudinales

Anexo F1. Perfil longitudinal del cauce principal del Punto 1 en la quebrada Tamaira



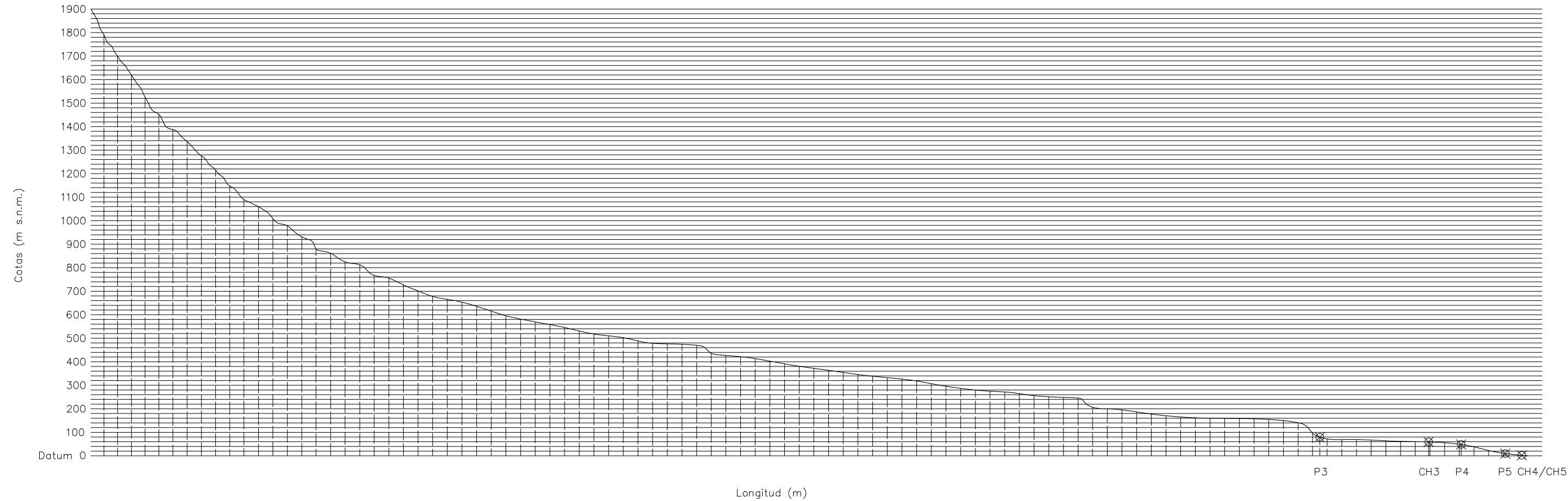
Nota. Medidas dadas en metros. Escala: S/E. Elaboración propia (2023).

Anexo F2. Perfil longitudinal del cauce principal del Punto 2 en la quebrada Caguita



Nota. Medidas dadas en metros. Escala: S/E. Elaboración propia (2023).

Anexo F3. Perfil longitudinal del cauce principal de los Puntos 3, 4 y 5 en el Río El Limón



Progresiva	Cota
0+250,0	1789,5
0+500,0	1700,4
0+750,0	1619,0
1+000,0	1526,2
1+250,0	1452,1
1+500,0	1388,1
1+750,0	1336,7
2+000,0	1275,6
2+250,0	1215,5
2+500,0	1147,6
2+750,0	1089,8
3+000,0	1059,3
3+250,0	1009,3
3+500,0	978,3
3+750,0	931,3
4+000,0	879,5
4+250,0	861,8
4+500,0	824,6
4+750,0	812,6
5+000,0	767,2
5+250,0	755,8
5+500,0	726,7
5+750,0	701,3
6+000,0	677,8
6+250,0	665,4
6+500,0	653,5
6+750,0	635,9
7+000,0	615,3
7+250,0	595,4
7+500,0	581,5
8+000,0	569,6
8+250,0	558,0
8+500,0	545,7
8+750,0	531,0
9+000,0	517,9
9+250,0	510,3
9+500,0	502,4
9+750,0	488,7
10+000,0	478,1
10+250,0	476,0
10+500,0	474,4
10+750,0	470,2
11+000,0	436,4
11+250,0	426,8
11+500,0	421,7
11+750,0	413,6
12+000,0	402,7
12+250,0	391,3
12+500,0	380,8
12+750,0	371,8
13+000,0	363,6
13+250,0	354,8
13+500,0	345,8
13+750,0	338,2
14+000,0	332,5
14+250,0	326,7
14+500,0	318,4
14+750,0	307,1
15+000,0	295,8
15+250,0	286,8
15+500,0	279,7
15+750,0	274,6
16+000,0	271,7
16+250,0	264,6
16+500,0	255,8
16+750,0	251,0
17+000,0	248,3
17+250,0	245,8
17+500,0	206,6
17+750,0	200,1
18+000,0	195,6
18+250,0	186,8
18+500,0	177,5
18+750,0	170,3
19+000,0	165,2
19+250,0	161,7
19+500,0	159,8
19+750,0	159,0
20+000,0	158,5
20+250,0	157,5
20+500,0	155,0
20+750,0	150,1
21+000,0	140,6
21+25,3	96,4
21+250,0	78,1
21+500,0	78,4
21+750,0	75,4
22+000,0	72,4
22+250,0	69,4
22+500,0	66,5
22+750,0	63,5
23+000,0	60,5
23+000,0	58,7
23+250,0	55,9
23+500,0	48,4
23+750,0	38,2
24+000,0	22,7
24+250,0	10,9
24+500,0	9,6
24+652,0	7,0

Nota. Medidas dadas en metros. Escala: S/E. Elaboración propia (2023).

Anexo G. Caudales medios mensuales

Anexo G1. Caudales medios mensuales de la cuenca base del río El Limón

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1964	980	564	453	401	405	489	709	822	923	1.064	749	701	689
1965	1.109	719	671	637	594	568	566	677	832	1.449	1.320	869	835
1966	792	766	692	739	1.138	1.206	1.078	1.356	943	908	855	1.094	966
1967	840	785	732	873	723	687	792	728	715	921	1.035	738	797
1968	705	652	635	1.027	1.076	1.174	818	827	967	972	810	751	868
1969	849	796	701	676	622	611	579	741	825	1.024	1.155	872	787
1970	767	740	1.909	885	834	940	1.255	1.076	1.043	1.098	1.352	1.118	1.088
1971	919	889	828	780	859	752	940	1.056	1.448	1.170	1.532	1.136	1.026
1972	999	913	951	1.382	1.489	1.007	953	911	854	836	802	781	990
1973	765	689	648	615	566	676	584	701	1.037	1.177	1.086	810	779
1974	765	977	785	719	748	659	631	633	721	896	663	612	732
1975	585	553	508	468	517	448	432	529	1.025	945	964	1.259	687
1976	822	748	723	675	653	666	679	616	676	1.083	1.064	824	769
1977	708	660	618	598	554	671	555	913	643	1.133	894	699	721
1978	655	608	566	656	581	555	525	485	454	431	418	378	525
1979	358	333	344	315	305	340	310	367	675	714	690	669	452
1980	529	477	456	437	406	383	435	408	598	614	455	434	469
1981	408	398	359	1.084	947	611	605	677	726	615	648	565	637
1982	536	497	468	437	409	380	358	353	364	536	402	395	427
1983	374	339	314	369	349	316	296	298	281	305	264	257	313
1984	264	225	217	217	248	213	253	254	265	419	436	359	281
1985	307	285	264	277	476	310	321	662	760	671	714	1.243	526
1986	638	606	561	529	501	490	446	433	533	620	483	456	524
1987	427	396	368	338	359	317	308	380	541	521	411	384	396
1988	356	329	314	294	274	553	447	961	1.248	1.383	966	909	670
1989	783	748	713	696	635	597	559	733	1.028	1.063	1.256	797	800
1990	773	751	694	651	1.249	757	777	745	744	1.232	1.006	821	851
1991	755	709	669	773	676	614	584	561	597	521	592	550	633
1992	486	446	419	394	495	437	421	471	540	429	537	525	467
1993	434	407	382	372	342	332	324	382	330	350	383	404	370
1994	328	307	307	372	307	310	425	345	384	312	322	381	342
1995	303	279	311	273	253	467	976	840	1.319	1.649	1.367	893	747

Nota. Caudales dados en lps. Elaboración propia (2023).

Anexo G2. Caudales medios mensuales del Punto 1 en la quebrada Tamaira

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1964	101,1	58,2	46,7	41,3	41,8	50,4	73,1	84,8	95,2	109,7	77,2	72,3	71,0
1965	114,4	74,1	69,2	65,7	61,3	58,6	58,4	69,8	85,8	149,4	136,1	89,6	86,0
1966	81,7	79,0	71,4	76,2	117,3	124,4	111,2	139,8	97,2	93,6	88,2	112,8	99,4
1967	86,6	80,9	75,5	90,0	74,6	70,8	81,7	75,1	73,7	95,0	106,7	76,1	82,2
1968	72,7	67,2	65,5	105,9	111,0	121,1	84,3	85,3	99,7	100,2	83,5	77,4	89,5
1969	87,5	82,1	72,3	69,7	64,1	63,0	59,7	76,4	85,1	105,6	119,1	89,9	81,2
1970	79,1	76,3	196,8	91,3	86,0	96,9	129,4	111,0	107,6	113,2	139,4	115,3	111,9
1971	94,8	91,7	85,4	80,4	88,6	77,5	96,9	108,9	149,3	120,6	158,0	117,1	105,8
1972	103,0	94,1	98,1	142,5	153,5	103,8	98,3	93,9	88,1	86,2	82,7	80,5	102,1
1973	78,9	71,0	66,8	63,4	58,4	69,7	60,2	72,3	106,9	121,4	112,0	83,5	80,4
1974	78,9	100,7	80,9	74,1	77,1	68,0	65,1	65,3	74,3	92,4	68,4	63,1	75,7
1975	60,3	57,0	52,4	48,3	53,3	46,2	44,5	54,5	105,7	97,4	99,4	129,8	70,7
1976	84,8	77,1	74,6	69,6	67,3	68,7	70,0	63,5	69,7	111,7	109,7	85,0	79,3
1977	73,0	68,1	63,7	61,7	57,1	69,2	57,2	94,1	66,3	116,8	92,2	72,1	74,3
1978	67,5	62,7	58,4	67,6	59,9	57,2	54,1	50,0	46,8	44,4	43,1	39,0	54,2
1979	36,9	34,3	35,5	32,5	31,5	35,1	32,0	37,8	69,6	73,6	71,2	69,0	46,6
1980	54,5	49,2	47,0	45,1	41,9	39,5	44,9	42,1	61,7	63,3	46,9	44,8	48,4
1981	42,1	41,0	37,0	111,8	97,7	63,0	62,4	69,8	74,9	63,4	66,8	58,3	65,7
1982	55,3	51,2	48,3	45,1	42,2	39,2	36,9	36,4	37,5	55,3	41,5	40,7	44,1
1983	38,6	35,0	32,4	38,0	36,0	32,6	30,5	30,7	29,0	31,5	27,2	26,5	32,3
1984	27,2	23,2	22,4	22,4	25,6	22,0	26,1	26,2	27,3	43,2	45,0	37,0	29,0
1985	31,7	29,4	27,2	28,6	49,1	32,0	33,1	68,3	78,4	69,2	73,6	128,2	54,1
1986	65,8	62,5	57,8	54,5	51,7	50,5	46,0	44,6	55,0	63,9	49,8	47,0	54,1
1987	44,0	40,8	37,9	34,9	37,0	32,7	31,8	39,2	55,8	53,7	42,4	39,6	40,8
1988	36,7	33,9	32,4	30,3	28,3	57,0	46,1	99,1	128,7	142,6	99,6	93,7	69,0
1989	80,7	77,1	73,5	71,8	65,5	61,6	57,6	75,6	106,0	109,6	129,5	82,2	82,6
1990	79,7	77,4	71,6	67,1	128,8	78,1	80,1	76,8	76,7	127,0	103,7	84,7	87,6
1991	77,9	73,1	69,0	79,7	69,7	63,3	60,2	57,8	61,6	53,7	61,0	56,7	65,3
1992	50,1	46,0	43,2	40,6	51,0	45,1	43,4	48,6	55,7	44,2	55,4	54,1	48,1
1993	44,8	42,0	39,4	38,4	35,3	34,2	33,4	39,4	34,0	36,1	39,5	41,7	38,2
1994	33,8	31,7	31,7	38,4	31,7	32,0	43,8	35,6	39,6	32,2	33,2	39,3	35,2
1995	31,2	28,8	32,1	28,2	26,1	48,2	100,6	86,6	136,0	170,0	141,0	92,1	76,7

Nota. Caudales dados en lps. Elaboración propia (2023).

Anexo G3. Caudales medios mensuales del Punto 2 en la quebrada Caguaita

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1964	66,4	38,2	30,7	27,2	27,4	33,1	48,0	55,7	62,5	72,0	50,7	47,5	46,6
1965	75,1	48,7	45,4	43,1	40,2	38,5	38,3	45,8	56,3	98,1	89,4	58,8	56,5
1966	53,6	51,9	46,9	50,0	77,1	81,7	73,0	91,8	63,8	61,5	57,9	74,1	65,3
1967	56,9	53,2	49,6	59,1	49,0	46,5	53,6	49,3	48,4	62,4	70,1	50,0	54,0
1968	47,7	44,1	43,0	69,5	72,9	79,5	55,4	56,0	65,5	65,8	54,8	50,8	58,8
1969	57,5	53,9	47,5	45,8	42,1	41,4	39,2	50,2	55,9	69,3	78,2	59,0	53,3
1970	51,9	50,1	129,3	59,9	56,5	63,6	85,0	72,9	70,6	74,3	91,5	75,7	73,4
1971	62,2	60,2	56,1	52,8	58,2	50,9	63,6	71,5	98,0	79,2	103,7	76,9	69,5
1972	67,6	61,8	64,4	93,6	100,8	68,2	64,5	61,7	57,8	56,6	54,3	52,9	67,0
1973	51,8	46,7	43,9	41,6	38,3	45,8	39,5	47,5	70,2	79,7	73,5	54,8	52,8
1974	51,8	66,2	53,2	48,7	50,6	44,6	42,7	42,9	48,8	60,7	44,9	41,4	49,7
1975	39,6	37,4	34,4	31,7	35,0	30,3	29,2	35,8	69,4	64,0	65,3	85,2	46,5
1976	55,7	50,6	49,0	45,7	44,2	45,1	46,0	41,7	45,8	73,3	72,0	55,8	52,1
1977	47,9	44,7	41,8	40,5	37,5	45,4	37,6	61,8	43,5	76,7	60,5	47,3	48,8
1978	44,3	41,2	38,3	44,4	39,3	37,6	35,5	32,8	30,7	29,2	28,3	25,6	35,6
1979	24,2	22,5	23,3	21,3	20,7	23,0	21,0	24,8	45,7	48,3	46,7	45,3	30,6
1980	35,8	32,3	30,9	29,6	27,5	25,9	29,5	27,6	40,5	41,6	30,8	29,4	31,8
1981	27,6	26,9	24,3	73,4	64,1	41,4	41,0	45,8	49,2	41,6	43,9	38,3	43,1
1982	36,3	33,7	31,7	29,6	27,7	25,7	24,2	23,9	24,6	36,3	27,2	26,7	29,0
1983	25,3	23,0	21,3	25,0	23,6	21,4	20,0	20,2	19,0	20,7	17,9	17,4	21,2
1984	17,9	15,2	14,7	14,7	16,8	14,4	17,1	17,2	17,9	28,4	29,5	24,3	19,0
1985	20,8	19,3	17,9	18,8	32,2	21,0	21,7	44,8	51,5	45,4	48,3	84,2	35,5
1986	43,2	41,0	38,0	35,8	33,9	33,2	30,2	29,3	36,1	42,0	32,7	30,9	35,5
1987	28,9	26,8	24,9	22,9	24,3	21,5	20,9	25,7	36,6	35,3	27,8	26,0	26,8
1988	24,1	22,3	21,3	19,9	18,6	37,4	30,3	65,1	84,5	93,6	65,4	61,5	45,3
1989	53,0	50,6	48,3	47,1	43,0	40,4	37,8	49,6	69,6	72,0	85,0	54,0	54,2
1990	52,3	50,8	47,0	44,1	84,6	51,3	52,6	50,4	50,4	83,4	68,1	55,6	57,6
1991	51,1	48,0	45,3	52,3	45,8	41,6	39,5	38,0	40,4	35,3	40,1	37,2	42,9
1992	32,9	30,2	28,4	26,7	33,5	29,6	28,5	31,9	36,6	29,0	36,4	35,5	31,6
1993	29,4	27,6	25,9	25,2	23,2	22,5	21,9	25,9	22,3	23,7	25,9	27,4	25,1
1994	22,2	20,8	20,8	25,2	20,8	21,0	28,8	23,4	26,0	21,1	21,8	25,8	23,1
1995	20,5	18,9	21,1	18,5	17,1	31,6	66,1	56,9	89,3	111,6	92,6	60,5	50,4

Nota. Caudales dados en lps. Elaboración propia (2023).

Anexo G4. Caudales medios mensuales del Punto 3 en el río El Limón

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1964	1.021,1	587,7	472,0	417,8	422,0	509,5	738,7	856,5	961,7	1.108,6	780,4	730,4	717,2
1965	1.155,5	749,2	699,1	663,7	618,9	591,8	589,7	705,4	866,9	1.509,8	1.375,4	905,5	869,2
1966	825,2	798,1	721,0	770,0	1.185,7	1.256,6	1.123,2	1.412,9	982,6	946,1	890,9	1.139,9	1.004,4
1967	875,2	817,9	762,7	909,6	753,3	715,8	825,2	758,5	745,0	959,6	1.078,4	769,0	830,9
1968	734,6	679,4	661,6	1.070,1	1.121,1	1.223,3	852,3	861,7	1.007,6	1.012,8	844,0	782,5	904,2
1969	884,6	829,4	730,4	704,4	648,1	636,6	603,3	772,1	859,6	1.067,0	1.203,5	908,6	820,6
1970	799,2	771,0	1.989,1	922,1	869,0	979,4	1.307,6	1.121,1	1.086,8	1.144,1	1.408,7	1.164,9	1.130,3
1971	957,6	926,3	862,7	812,7	895,0	783,5	979,4	1.100,3	1.508,7	1.219,1	1.596,3	1.183,7	1.068,8
1972	1.040,9	951,3	990,9	1.440,0	1.551,5	1.049,2	993,0	949,2	889,8	871,1	835,6	813,8	1.031,4
1973	797,1	717,9	675,2	640,8	589,7	704,4	608,5	730,4	1.080,5	1.226,4	1.131,6	844,0	812,2
1974	797,1	1.018,0	817,9	749,2	779,4	686,6	657,5	659,6	751,2	933,6	690,8	637,7	764,9
1975	609,5	576,2	529,3	487,6	538,7	466,8	450,1	551,2	1.068,0	984,6	1.004,4	1.311,8	714,9
1976	856,5	779,4	753,3	703,3	680,4	693,9	707,5	641,8	704,4	1.128,4	1.108,6	858,6	801,3
1977	737,7	687,7	643,9	623,1	577,2	699,1	578,3	951,3	670,0	1.180,5	931,5	728,3	750,7
1978	682,5	633,5	589,7	683,5	605,4	578,3	547,0	505,3	473,0	449,1	435,5	393,9	548,1
1979	373,0	347,0	358,4	328,2	317,8	354,3	323,0	382,4	703,3	744,0	718,9	697,1	470,6
1980	551,2	497,0	475,1	455,3	423,0	399,1	453,2	425,1	623,1	639,8	474,1	452,2	489,0
1981	425,1	414,7	374,1	1.129,5	986,7	636,6	630,4	705,4	756,5	640,8	675,2	588,7	663,6
1982	558,5	517,8	487,6	455,3	426,2	395,9	373,0	367,8	379,3	558,5	418,9	411,6	445,9
1983	389,7	353,2	327,2	384,5	363,6	329,3	308,4	310,5	292,8	317,8	275,1	267,8	326,7
1984	275,1	234,4	226,1	226,1	258,4	221,9	263,6	264,7	276,1	436,6	454,3	374,1	292,6
1985	319,9	297,0	275,1	288,6	496,0	323,0	334,5	689,8	791,9	699,1	744,0	1.295,1	546,2
1986	664,8	631,4	584,5	551,2	522,0	510,6	464,7	451,2	555,4	646,0	503,3	475,1	546,7
1987	444,9	412,6	383,4	352,2	374,1	330,3	320,9	395,9	563,7	542,9	428,2	400,1	412,4
1988	370,9	342,8	327,2	306,3	285,5	576,2	465,8	1.001,3	1.300,4	1.441,0	1.006,5	947,1	697,6
1989	815,8	779,4	742,9	725,2	661,6	622,0	582,5	763,8	1.071,1	1.107,6	1.308,7	830,4	834,3
1990	805,4	782,5	723,1	678,3	1.301,4	788,8	809,6	776,3	775,2	1.283,7	1.048,2	855,4	885,7
1991	786,7	738,7	697,1	805,4	704,4	639,8	608,5	584,5	622,0	542,9	616,8	573,1	660,0
1992	506,4	464,7	436,6	410,5	515,8	455,3	438,7	490,8	562,7	447,0	559,5	547,0	486,2
1993	452,2	424,1	398,0	387,6	356,3	345,9	337,6	398,0	343,8	364,7	399,1	420,9	385,7
1994	341,8	319,9	319,9	387,6	319,9	323,0	442,8	359,5	400,1	325,1	335,5	397,0	356,0
1995	315,7	290,7	324,0	284,5	263,6	486,6	1.016,9	875,2	1.374,3	1.718,2	1.424,3	930,5	775,4

Nota. Caudales dados en lps. Elaboración propia (2023).

Anexo G5. Caudales medios mensuales del Punto 4 en el río El Limón

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1964	1.146,3	659,7	529,9	469,0	473,7	572,0	829,3	961,5	1.079,6	1.244,5	876,1	819,9	805,1
1965	1.297,2	841,0	784,8	745,1	694,8	664,4	662,0	791,9	973,2	1.694,8	1.544,0	1.016,4	975,8
1966	926,4	896,0	809,4	864,4	1.331,1	1.410,6	1.260,9	1.586,1	1.103,0	1.062,1	1.000,1	1.279,6	1.127,5
1967	982,5	918,2	856,2	1.021,1	845,7	803,6	926,4	851,5	836,3	1.077,3	1.210,6	863,2	932,7
1968	824,6	762,6	742,7	1.201,2	1.258,6	1.373,2	956,8	967,3	1.131,1	1.136,9	947,4	878,4	1.015,1
1969	993,0	931,0	819,9	790,7	727,5	714,7	677,2	866,7	965,0	1.197,7	1.351,0	1.019,9	921,2
1970	897,1	865,5	2.232,9	1.035,1	975,5	1.099,5	1.467,9	1.258,6	1.220,0	1.284,3	1.581,4	1.307,7	1.268,8
1971	1.074,9	1.039,8	968,5	912,3	1.004,7	879,6	1.099,5	1.235,2	1.693,7	1.368,5	1.791,9	1.328,7	1.199,8
1972	1.168,5	1.067,9	1.112,3	1.616,5	1.741,6	1.177,8	1.114,7	1.065,6	998,9	977,8	938,1	913,5	1.157,8
1973	894,8	805,9	757,9	719,3	662,0	790,7	683,1	819,9	1.212,9	1.376,7	1.270,3	947,4	911,7
1974	894,8	1.142,8	918,2	841,0	874,9	770,8	738,1	740,4	843,3	1.048,0	775,5	715,8	858,6
1975	684,3	646,8	594,2	547,4	604,7	524,0	505,3	618,7	1.198,9	1.105,3	1.127,6	1.472,6	802,5
1976	961,5	874,9	845,7	789,5	763,8	779,0	794,2	720,5	790,7	1.266,7	1.244,5	963,8	899,6
1977	828,1	772,0	722,8	699,5	648,0	784,8	649,2	1.067,9	752,1	1.325,2	1.045,7	817,6	842,7
1978	766,1	711,2	662,0	767,3	679,6	649,2	614,1	567,3	531,0	504,1	488,9	442,1	615,2
1979	418,7	389,5	402,4	368,4	356,7	397,7	362,6	429,3	789,5	835,1	807,1	782,5	528,3
1980	618,7	557,9	533,4	511,1	474,9	448,0	508,8	477,2	699,5	718,2	532,2	507,6	549,0
1981	477,2	465,5	419,9	1.267,9	1.107,7	714,7	707,6	791,9	849,2	719,3	757,9	660,9	745,0
1982	626,9	581,3	547,4	511,1	478,4	444,5	418,7	412,9	425,8	626,9	470,2	462,0	500,5
1983	437,5	396,5	367,3	431,6	408,2	369,6	346,2	348,6	328,7	356,7	308,8	300,6	366,7
1984	308,8	263,2	253,8	253,8	290,1	249,1	295,9	297,1	310,0	490,1	510,0	419,9	328,5
1985	359,1	333,4	308,8	324,0	556,8	362,6	375,5	774,3	888,9	784,8	835,1	1.453,9	613,1
1986	746,2	708,8	656,2	618,7	586,0	573,1	521,7	506,5	623,4	725,2	564,9	533,4	613,7
1987	499,4	463,2	430,4	395,3	419,9	370,8	360,3	444,5	632,8	609,4	480,7	449,1	463,0
1988	416,4	384,8	367,3	343,9	320,5	646,8	522,8	1.124,0	1.459,7	1.617,6	1.129,9	1.063,2	783,1
1989	915,8	874,9	834,0	814,1	742,7	698,3	653,8	857,4	1.202,4	1.243,3	1.469,1	932,2	936,5
1990	904,1	878,4	811,7	761,4	1.460,9	885,4	908,8	871,4	870,2	1.441,0	1.176,7	960,3	994,2
1991	883,1	829,3	782,5	904,1	790,7	718,2	683,1	656,2	698,3	609,4	692,4	643,3	740,9
1992	568,5	521,7	490,1	460,8	579,0	511,1	492,4	550,9	631,6	501,8	628,1	614,1	545,8
1993	507,6	476,1	446,8	435,1	400,0	388,3	379,0	446,8	386,0	409,4	448,0	472,5	433,0
1994	383,6	359,1	359,1	435,1	359,1	362,6	497,1	403,5	449,1	364,9	376,6	445,6	399,6
1995	354,4	326,3	363,8	319,3	295,9	546,2	1.141,6	982,5	1.542,8	1.928,8	1.598,9	1.044,5	870,4

Nota. Caudales dados en lps. Elaboración propia (2023).

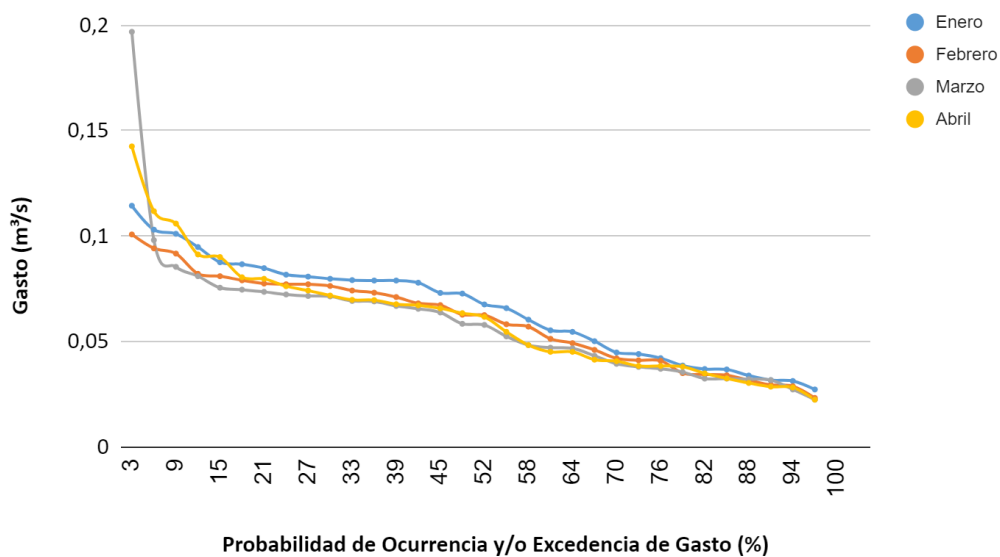
Anexo G6. Caudales medios mensuales del Punto 5 en el río El Limón

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1964	1.256,2	723,0	580,7	514,0	519,2	626,8	908,9	1.053,7	1.183,2	1.363,9	960,1	898,6	882,4
1965	1.421,6	921,7	860,1	816,6	761,4	728,1	725,5	867,8	1.066,5	1.857,5	1.692,1	1.114,0	1.069,4
1966	1.015,3	981,9	887,1	947,3	1.458,8	1.546,0	1.381,9	1.738,2	1.208,8	1.164,0	1.096,0	1.402,4	1.235,6
1967	1.076,8	1.006,3	938,3	1.119,1	926,8	880,7	1.015,3	933,2	916,5	1.180,6	1.326,8	946,0	1.022,2
1968	903,7	835,8	814,0	1.316,5	1.379,3	1.504,9	1.048,6	1.060,1	1.239,6	1.246,0	1.038,3	962,7	1.112,5
1969	1.088,3	1.020,4	898,6	866,6	797,3	783,2	742,2	949,9	1.057,6	1.312,6	1.480,6	1.117,8	1.009,6
1970	983,2	948,6	2.447,1	1.134,5	1.069,1	1.205,0	1.608,8	1.379,3	1.337,0	1.407,5	1.733,1	1.433,1	1.390,5
1971	1.178,1	1.139,6	1.061,4	999,9	1.101,1	964,0	1.205,0	1.353,7	1.856,2	1.499,8	1.963,8	1.456,2	1.314,9
1972	1.280,6	1.170,4	1.219,1	1.771,6	1.908,7	1.290,9	1.221,6	1.167,8	1.094,7	1.071,7	1.028,1	1.001,2	1.268,9
1973	980,6	883,2	830,7	788,4	725,5	866,6	748,6	898,6	1.329,3	1.508,8	1.392,1	1.038,3	999,2
1974	980,6	1.252,4	1.006,3	921,7	958,8	844,8	808,9	811,4	924,2	1.148,6	849,9	784,5	941,0
1975	749,9	708,9	651,2	599,9	662,7	574,3	553,8	678,1	1.313,9	1.211,4	1.235,7	1.613,9	879,5
1976	1.053,7	958,8	926,8	865,3	837,1	853,7	870,4	789,6	866,6	1.388,3	1.363,9	1.056,3	985,9
1977	907,6	846,0	792,2	766,6	710,2	860,1	711,4	1.170,4	824,3	1.452,4	1.146,0	896,0	923,6
1978	839,6	779,4	725,5	840,9	744,8	711,4	673,0	621,7	582,0	552,5	535,8	484,6	674,3
1979	458,9	426,9	441,0	403,8	391,0	435,8	397,4	470,5	865,3	915,3	884,5	857,6	579,0
1980	678,1	611,5	584,5	560,2	520,4	491,0	557,6	523,0	766,6	787,1	583,3	556,3	601,6
1981	523,0	510,2	460,2	1.389,6	1.213,9	783,2	775,5	867,8	930,6	788,4	830,7	724,3	816,5
1982	687,1	637,1	599,9	560,2	524,3	487,1	458,9	452,5	466,6	687,1	515,3	506,3	548,5
1983	479,4	434,6	402,5	473,0	447,4	405,1	379,4	382,0	360,2	391,0	338,4	329,4	401,9
1984	338,4	288,4	278,2	278,2	317,9	273,0	324,3	325,6	339,7	537,1	558,9	460,2	360,0
1985	393,5	365,3	338,4	355,1	610,2	397,4	411,5	848,6	974,2	860,1	915,3	1.593,4	671,9
1986	817,8	776,8	719,1	678,1	642,2	628,1	571,7	555,1	683,2	794,8	619,2	584,5	672,6
1987	547,4	507,6	471,7	433,3	460,2	406,4	394,8	487,1	693,5	667,9	526,9	492,2	507,4
1988	456,4	421,7	402,5	376,9	351,2	708,9	573,0	1.231,9	1.599,8	1.772,8	1.238,3	1.165,2	858,2
1989	1.003,7	958,8	914,0	892,2	814,0	765,3	716,6	939,6	1.317,8	1.362,6	1.610,0	1.021,7	1.026,4
1990	990,9	962,7	889,6	834,5	1.601,1	970,4	996,0	955,0	953,7	1.579,3	1.289,6	1.052,4	1.089,6
1991	967,8	908,9	857,6	990,9	866,6	787,1	748,6	719,1	765,3	667,9	758,9	705,0	812,0
1992	623,0	571,7	537,1	505,1	634,5	560,2	539,7	603,8	692,2	549,9	688,4	673,0	598,2
1993	556,3	521,7	489,7	476,9	438,4	425,6	415,3	489,7	423,0	448,7	491,0	517,9	474,5
1994	420,5	393,5	393,5	476,9	393,5	397,4	544,8	442,3	492,2	399,9	412,8	488,4	438,0
1995	388,4	357,6	398,7	350,0	324,3	598,6	1.251,1	1.076,8	1.690,8	2.113,8	1.752,3	1.144,7	953,9

Nota. Caudales dados en lps. Elaboración propia (2023).

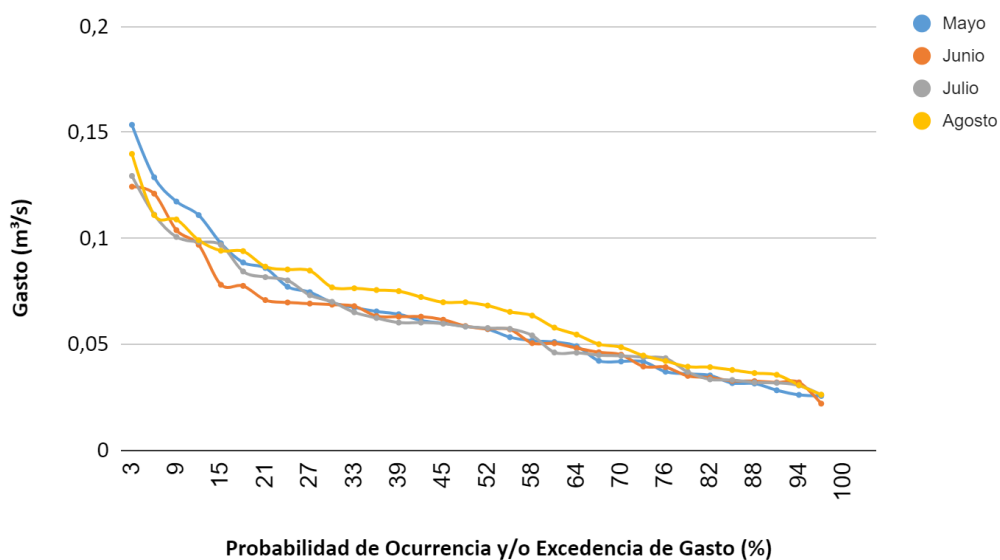
Anexo H. Curvas de duración de caudales

Anexo H1. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 1



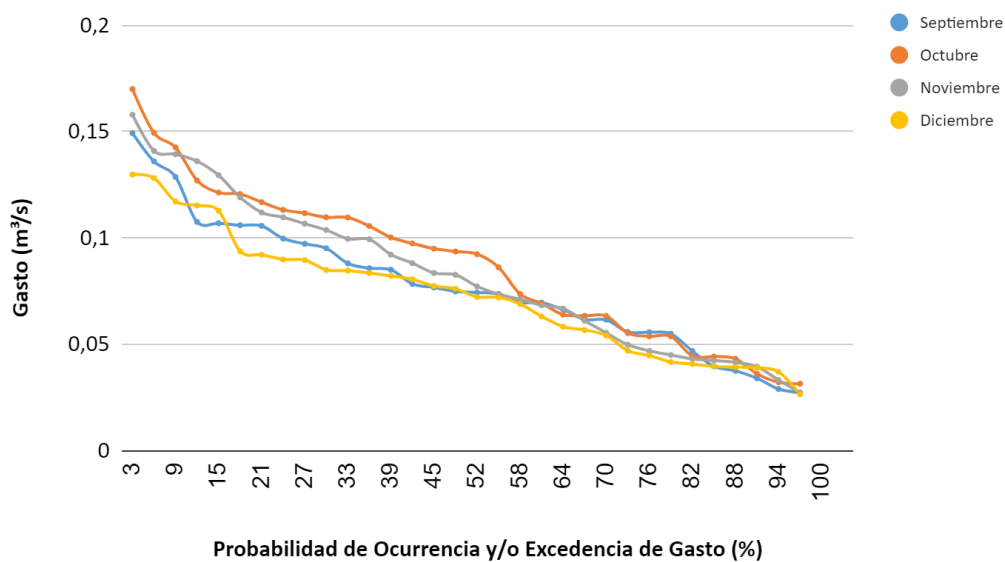
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H2. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 1



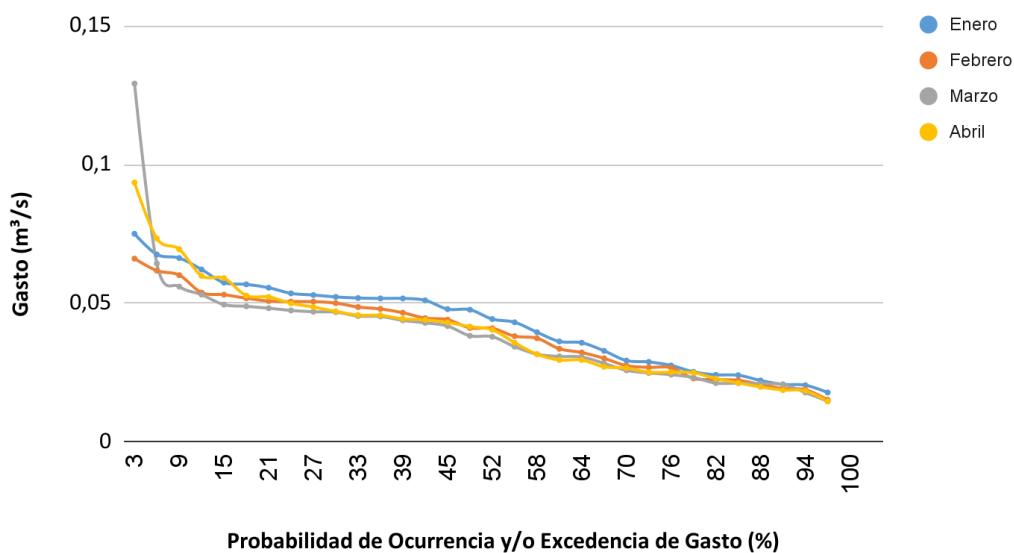
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H3. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 1



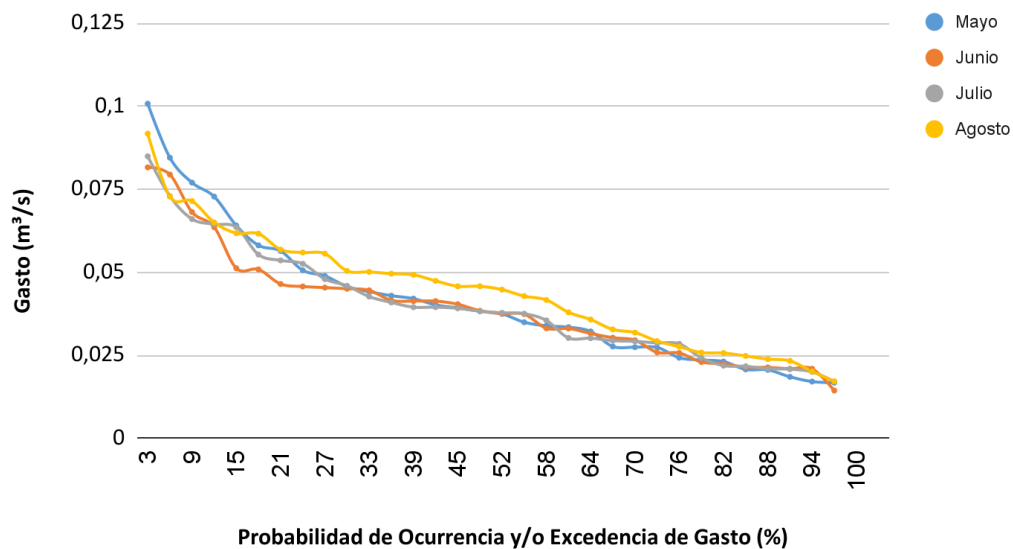
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H4. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 2



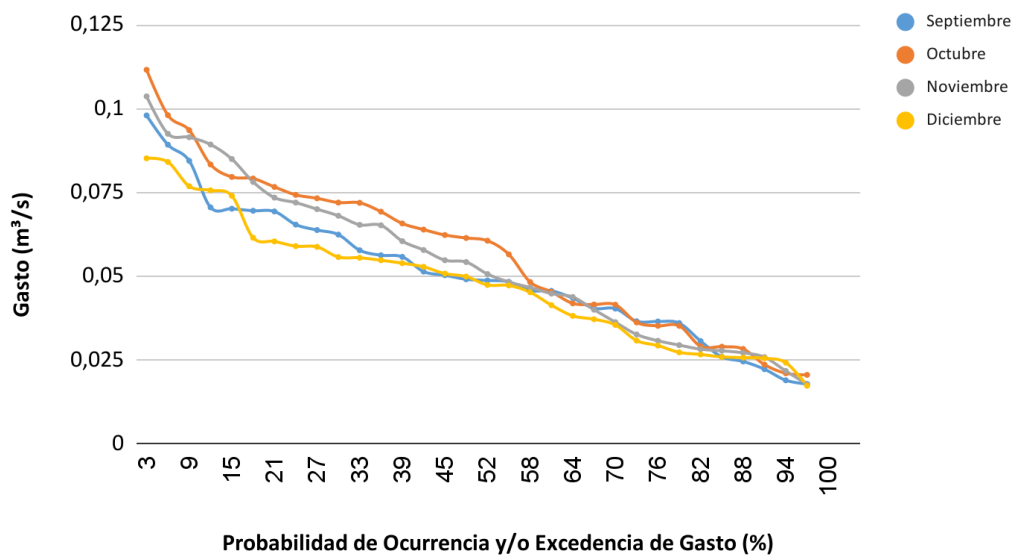
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H5. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 2



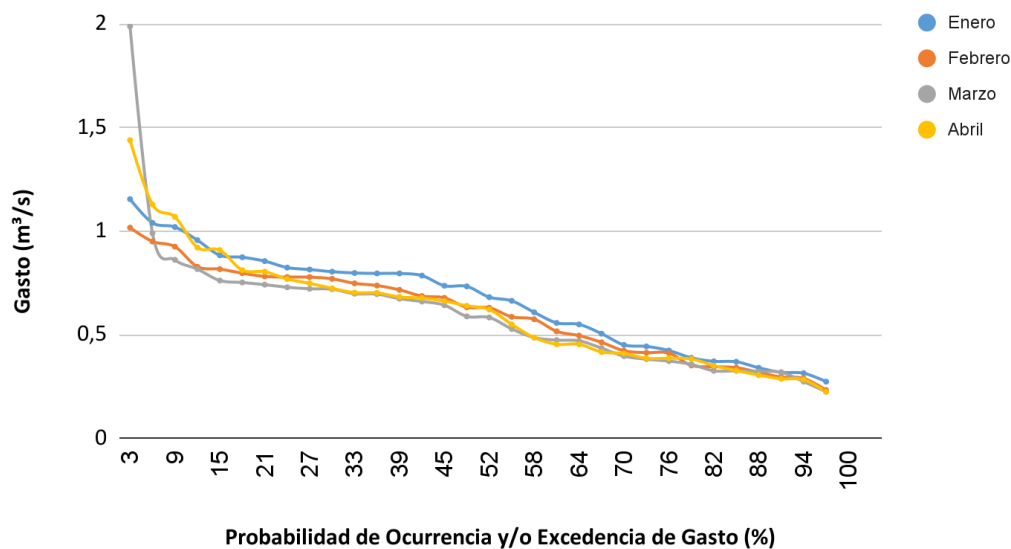
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H6. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 2



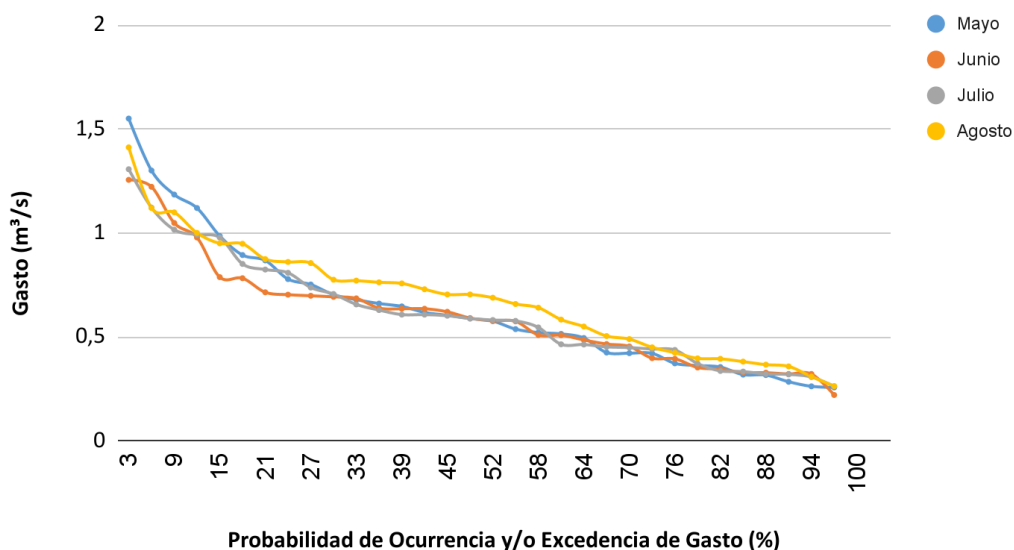
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H7. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 3



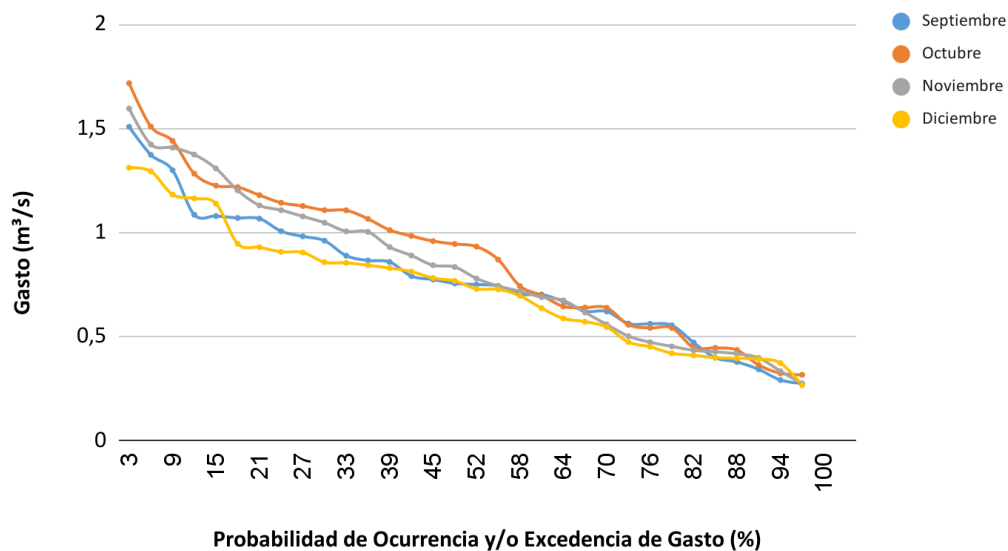
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H8. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 3



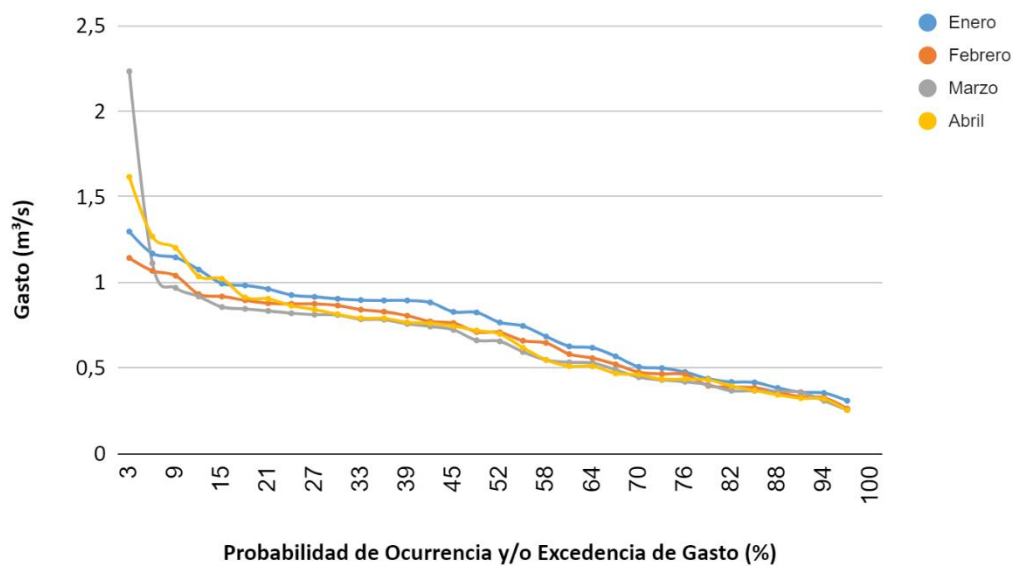
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H9. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 3



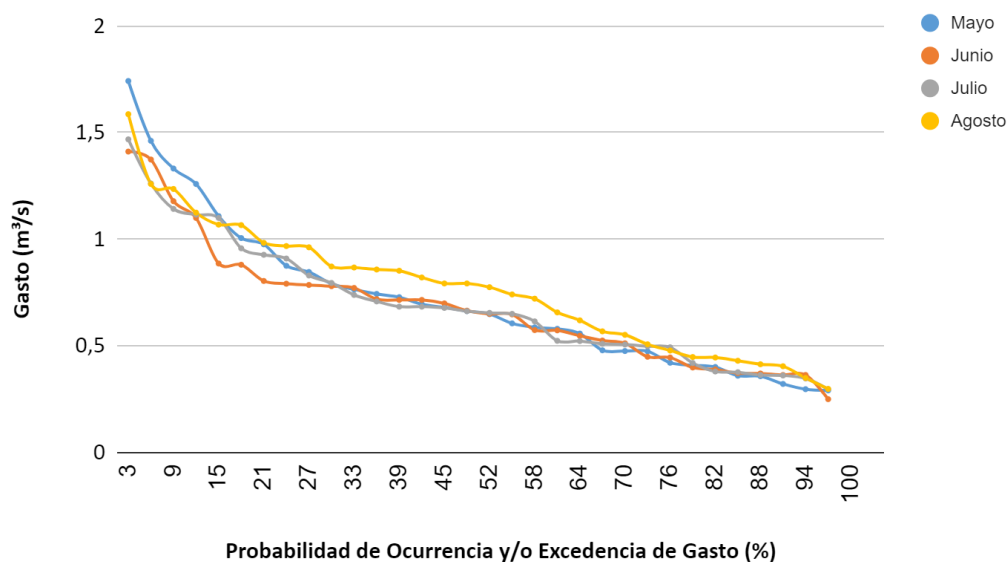
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H10. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4



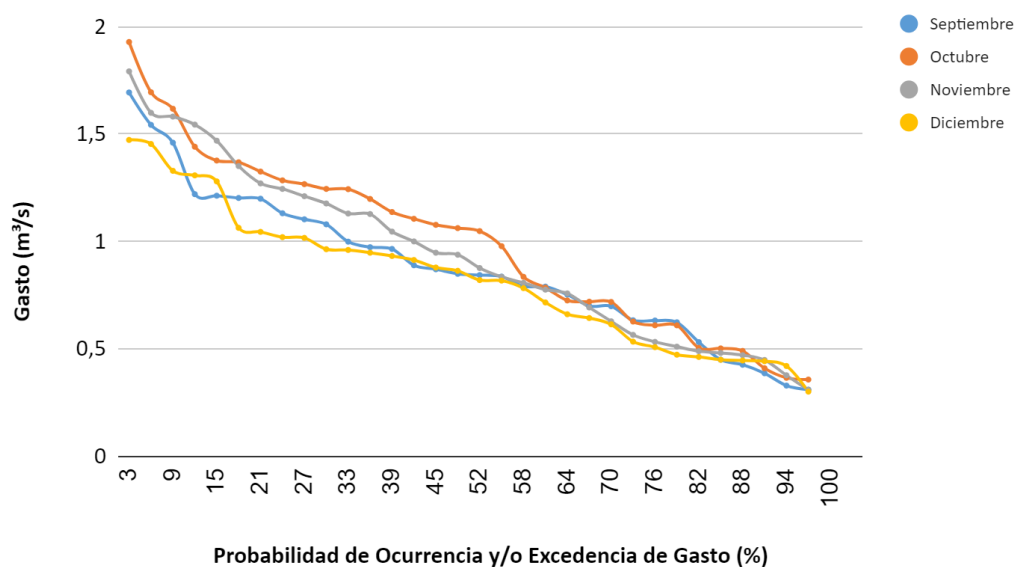
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H11. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4



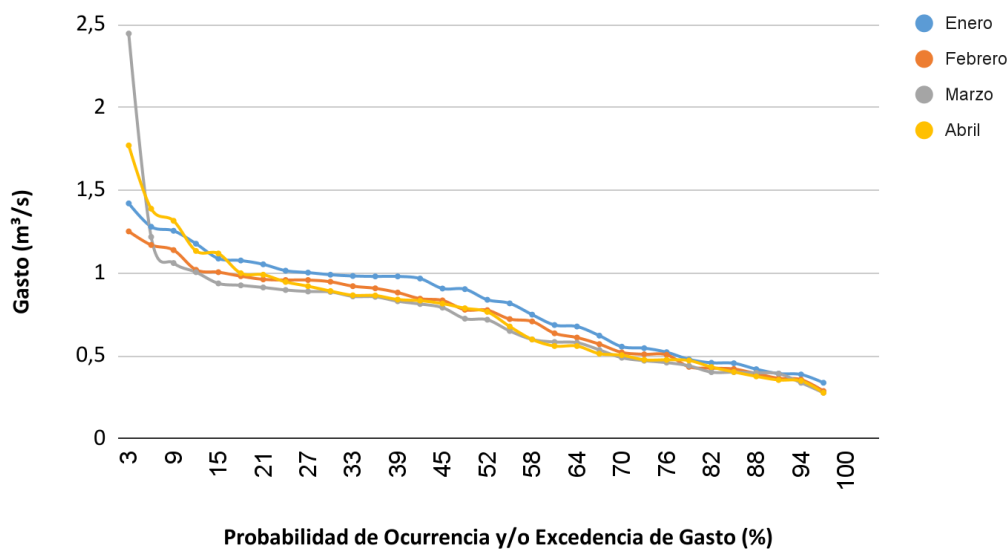
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H12. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 4



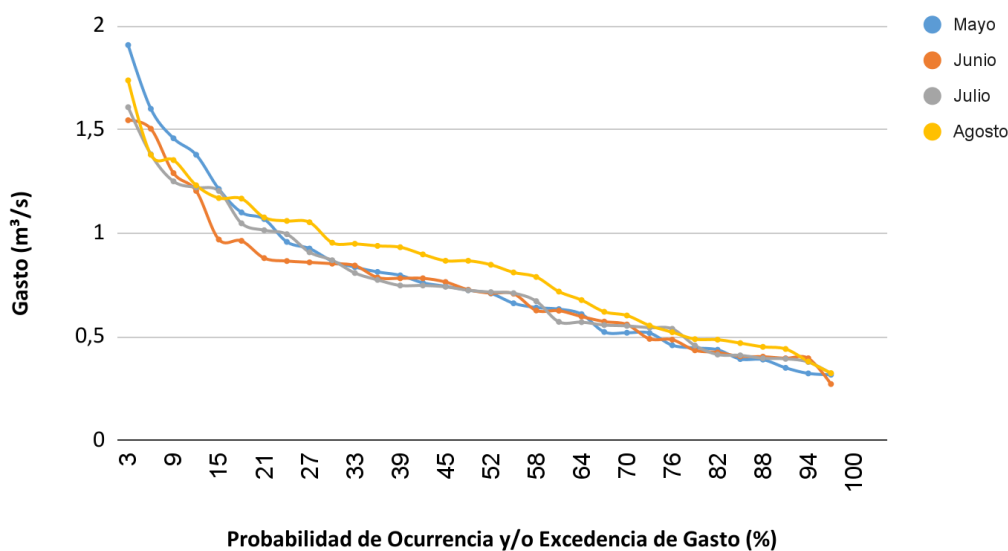
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H13. Curva de duración de caudales del primer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 5



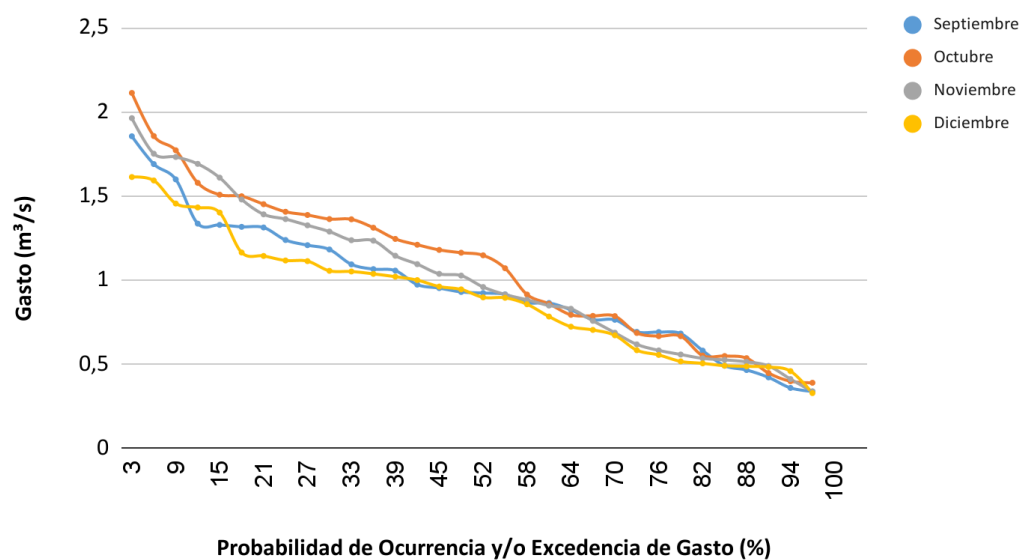
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo H14. Curva de duración de caudales del segundo cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 5



Nota. Elaboración propia (2023).

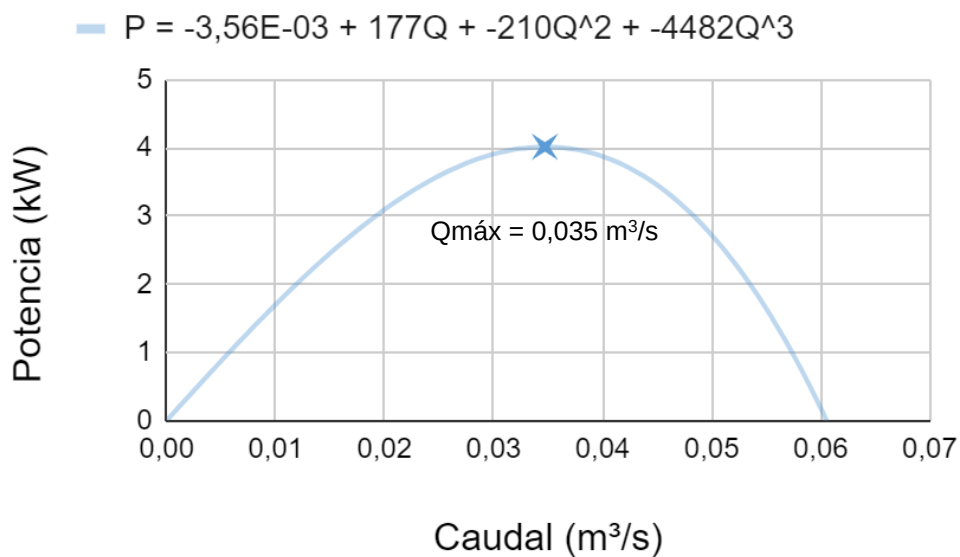
Anexo H15. Curva de duración de caudales del tercer cuatrimestre del río El Limón en Puerto Cruz del Punto 5



Nota. Elaboración propia (2023).

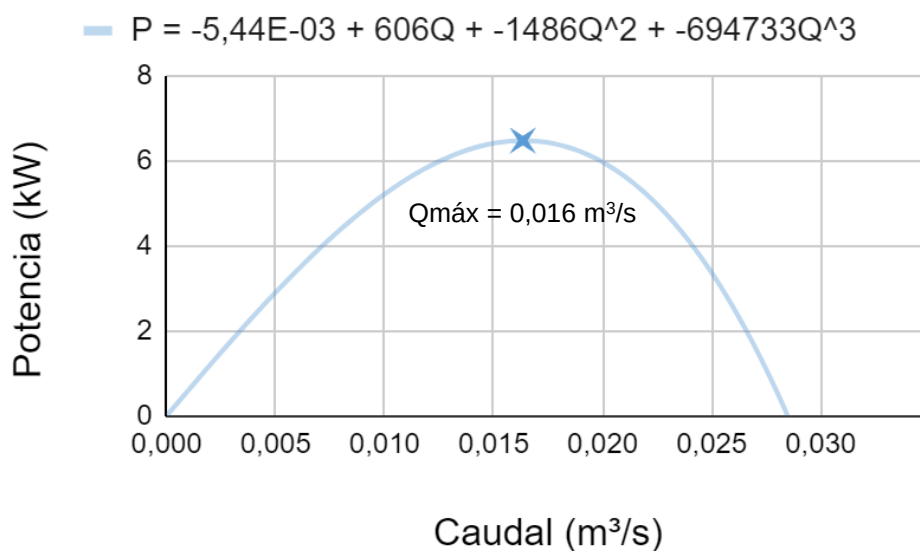
Anexo I. Curvas de caudales máximos turbinables

Anexo I1. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 1 con diámetro 150 mm

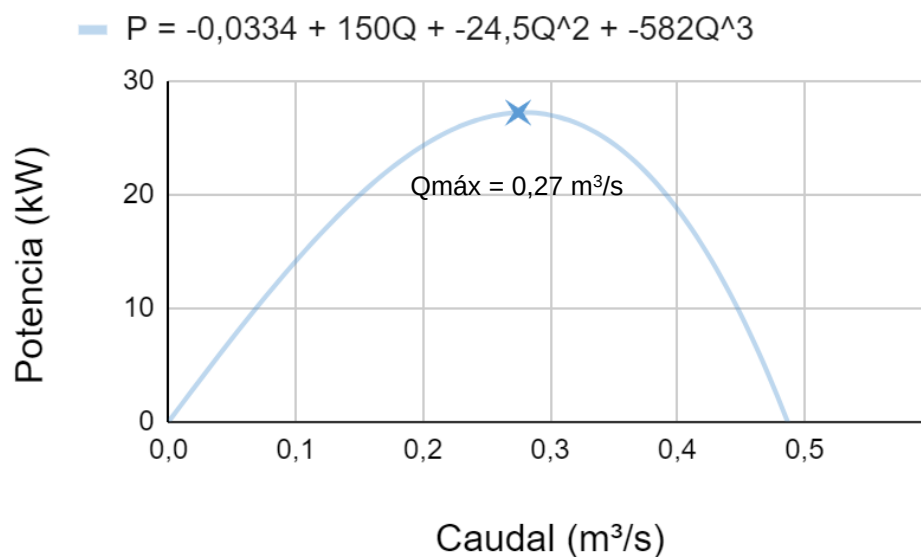


Nota. La longitud de la tubería es de 396,8 m. Elaboración propia (2023)

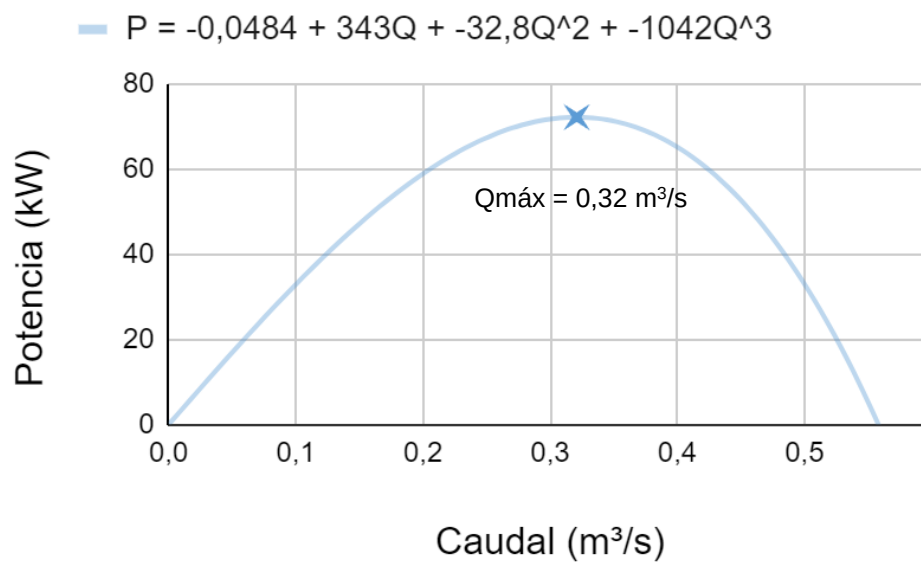
Anexo I2. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 2 con diámetro 100 mm



Nota. La longitud de la tubería es de 725,1 m. Elaboración propia (2023).

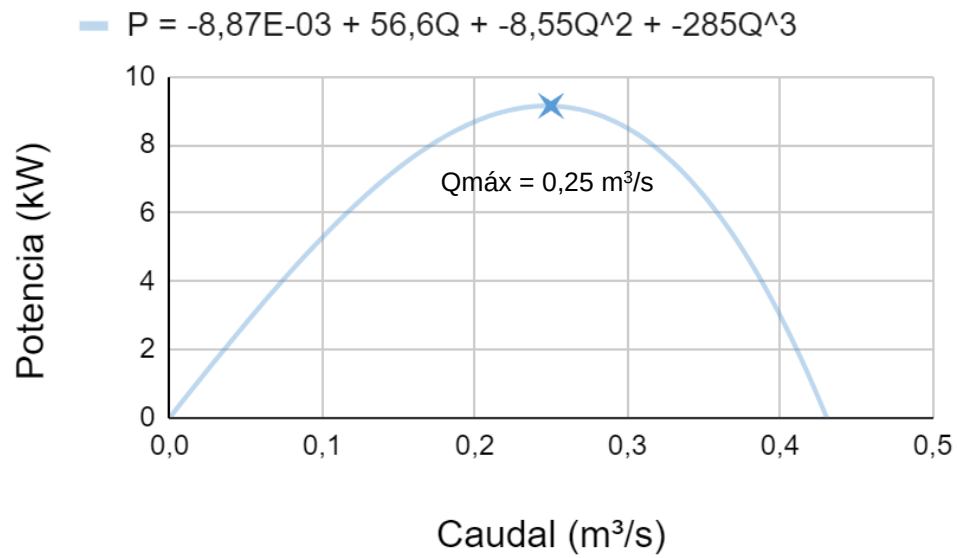
Anexo I3. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 3 con diámetro 500 mm

Nota. La longitud de la tubería es de 1.851,5 m. Elaboración propia (2023).

Anexo I4. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 4 con diámetro 400 mm

Nota. La longitud de la tubería es de 1.030,8 m. Elaboración propia (2023).

Anexo I5. Curva de caudal máximo turbinable del Punto 5 con diámetro 400 mm



Nota. La longitud de la tubería es de 281,9 m. Elaboración propia (2023).

Anexo J. Potencia y energía generada mensualmente

Anexo J1. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 95% de garantía

Mes	Caudal medio (m³/s)	Caudal ecológico (m³/s)	Caudal aprovechable (m³/s)	Caudal a turbinar (m³/s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,027	0,0082	0,019	0,019	1,02	1,76E+05	0,0182	2,6	21,3	3,0	2,2	2,9	2,2	0,1
Febrero	0,023	0,0023	0,021	0,021	1,12	1,93E+05	0,0180	3,1	20,8	3,2	2,1	2,9	1,9	0,2
Marzo	0,022	0,0022	0,020	0,020	1,08	1,86E+05	0,0181	2,9	21,0	3,1	2,3	2,9	2,2	0,2
Abril	0,022	0,0022	0,020	0,020	1,08	1,86E+05	0,0181	2,9	21,0	3,1	2,2	2,9	2,1	0,2
Mayo	0,026	0,0026	0,023	0,023	1,23	2,13E+05	0,0178	3,7	20,2	3,4	2,5	2,9	2,2	0,4
Junio	0,022	0,0022	0,020	0,020	1,06	1,83E+05	0,0181	2,8	21,1	3,1	2,2	2,9	2,1	0,1
Julio	0,026	0,0026	0,023	0,023	1,26	2,17E+05	0,0178	3,9	20,0	3,5	2,6	2,9	2,2	0,4
Agosto	0,026	0,0079	0,018	0,018	0,98	1,69E+05	0,0183	2,4	21,5	2,9	2,2	2,9	2,2	0,0
Septiembre	0,027	0,0082	0,019	0,019	1,03	1,77E+05	0,0182	2,6	21,3	3,0	2,2	2,9	2,1	0,1
Octubre	0,031	0,0094	0,022	0,022	1,18	2,03E+05	0,0179	3,4	20,5	3,3	2,5	2,9	2,2	0,3
Noviembre	0,027	0,0082	0,019	0,019	1,02	1,76E+05	0,0182	2,6	21,3	3,0	2,1	2,9	2,1	0,1
Diciembre	0,027	0,0080	0,019	0,019	0,99	1,71E+05	0,0183	2,5	21,4	2,9	2,2	2,9	2,2	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 396,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J2. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,032	0,0095	0,022	0,022	1,19	2,05E+05	0,0179	3,5	20,4	3,3	2,5	3,3	2,5	0,0
Febrero	0,029	0,0029	0,026	0,026	1,42	2,44E+05	0,0176	4,9	19,0	3,7	2,5	3,3	2,2	0,3
Marzo	0,032	0,0032	0,028	0,028	1,53	2,63E+05	0,0174	5,6	18,3	3,8	2,9	3,3	2,5	0,4
Abril	0,029	0,0029	0,026	0,026	1,38	2,37E+05	0,0176	4,6	19,3	3,6	2,6	3,3	2,4	0,2
Mayo	0,028	0,0028	0,025	0,025	1,36	2,35E+05	0,0176	4,5	19,4	3,6	2,7	3,3	2,5	0,2
Junio	0,032	0,0032	0,029	0,029	1,54	2,66E+05	0,0174	5,7	18,2	3,9	2,8	3,3	2,4	0,4
Julio	0,032	0,0032	0,029	0,029	1,53	2,64E+05	0,0174	5,6	18,3	3,8	2,9	3,3	2,5	0,4
Agosto	0,036	0,0107	0,025	0,025	1,34	2,30E+05	0,0177	4,3	19,6	3,6	2,7	3,3	2,5	0,2
Septiembre	0,034	0,0102	0,024	0,024	1,28	2,20E+05	0,0178	4,0	19,9	3,5	2,5	3,3	2,4	0,1
Octubre	0,036	0,0108	0,025	0,025	1,35	2,33E+05	0,0177	4,5	19,4	3,6	2,7	3,3	2,5	0,2
Noviembre	0,039	0,0118	0,028	0,028	1,48	2,55E+05	0,0175	5,3	18,6	3,8	2,7	3,3	2,4	0,3
Diciembre	0,039	0,0117	0,027	0,027	1,46	2,52E+05	0,0175	5,2	18,7	3,8	2,8	3,3	2,5	0,3

Nota. La longitud de la tubería es de 396,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J3. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 85% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,034	0,0101	0,024	0,024	1,27	2,19E+05	0,0178	3,9	20,0	3,5	2,6	3,5	2,6	0,0
Febrero	0,032	0,0032	0,028	0,028	1,53	2,63E+05	0,0174	5,6	18,3	3,8	2,6	3,5	2,3	0,2
Marzo	0,032	0,0032	0,029	0,029	1,55	2,66E+05	0,0174	5,8	18,2	3,9	2,9	3,5	2,6	0,3
Abril	0,030	0,0030	0,027	0,027	1,46	2,52E+05	0,0175	5,2	18,7	3,8	2,7	3,5	2,5	0,2
Mayo	0,031	0,0031	0,028	0,028	1,52	2,61E+05	0,0175	5,5	18,4	3,8	2,8	3,5	2,6	0,3
Junio	0,033	0,0033	0,029	0,029	1,57	2,71E+05	0,0174	5,9	18,0	3,9	2,8	3,5	2,5	0,3
Julio	0,032	0,0032	0,029	0,029	1,54	2,66E+05	0,0174	5,7	18,2	3,9	2,9	3,5	2,6	0,3
Agosto	0,036	0,0109	0,025	0,025	1,37	2,35E+05	0,0176	4,5	19,4	3,6	2,7	3,5	2,6	0,1
Septiembre	0,038	0,0113	0,026	0,026	1,41	2,43E+05	0,0176	4,8	19,1	3,7	2,7	3,5	2,5	0,2
Octubre	0,043	0,0130	0,030	0,030	1,62	2,79E+05	0,0173	6,3	17,6	3,9	2,9	3,5	2,6	0,3
Noviembre	0,041	0,0124	0,029	0,029	1,56	2,68E+05	0,0174	5,8	18,1	3,9	2,8	3,5	2,5	0,3
Diciembre	0,039	0,0118	0,028	0,028	1,47	2,54E+05	0,0175	5,2	18,7	3,8	2,8	3,5	2,6	0,2

Nota. La longitud de la tubería es de 396,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J4. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 80% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,037	0,0111	0,026	0,026	1,39	2,39E+05	0,0176	4,7	19,2	3,7	2,7	3,7	2,7	0,0
Febrero	0,034	0,0034	0,031	0,031	1,66	2,85E+05	0,0173	6,6	17,4	3,9	2,7	3,7	2,5	0,2
Marzo	0,032	0,0032	0,029	0,029	1,56	2,69E+05	0,0174	5,9	18,0	3,9	2,9	3,7	2,7	0,2
Abril	0,035	0,0035	0,031	0,031	1,68	2,90E+05	0,0173	6,7	17,2	4,0	2,9	3,7	2,6	0,2
Mayo	0,035	0,0035	0,032	0,032	1,70	2,93E+05	0,0173	6,9	17,0	4,0	3,0	3,7	2,7	0,2
Junio	0,034	0,0034	0,031	0,031	1,65	2,84E+05	0,0173	6,5	17,4	3,9	2,8	3,7	2,6	0,2
Julio	0,033	0,0033	0,030	0,030	1,61	2,78E+05	0,0174	6,2	17,7	3,9	2,9	3,7	2,7	0,2
Agosto	0,039	0,0118	0,027	0,027	1,47	2,53E+05	0,0175	5,2	18,7	3,8	2,8	3,7	2,7	0,1
Septiembre	0,047	0,0140	0,033	0,033	1,76	3,03E+05	0,0172	7,3	16,6	4,0	2,9	3,7	2,6	0,2
Octubre	0,044	0,0133	0,031	0,031	1,67	2,87E+05	0,0173	6,6	17,3	4,0	2,9	3,7	2,7	0,2
Noviembre	0,043	0,0129	0,030	0,030	1,62	2,79E+05	0,0173	6,3	17,6	3,9	2,8	3,7	2,6	0,2
Diciembre	0,041	0,0122	0,029	0,029	1,53	2,63E+05	0,0174	5,6	18,3	3,8	2,9	3,7	2,7	0,1

Nota. La longitud de la tubería es de 396,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J5. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 95% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,018	0,0054	0,013	0,013	1,52	1,74E+05	0,0191	16,8	65,0	6,0	4,5	5,9	4,4	0,1
Febrero	0,015	0,0015	0,014	0,014	1,67	1,91E+05	0,0190	20,0	61,8	6,2	4,2	5,9	3,9	0,2
Marzo	0,015	0,0015	0,013	0,013	1,61	1,84E+05	0,0190	18,7	63,2	6,1	4,6	5,9	4,4	0,2
Abril	0,015	0,0015	0,013	0,013	1,61	1,84E+05	0,0190	18,7	63,2	6,1	4,4	5,9	4,2	0,2
Mayo	0,017	0,0017	0,015	0,015	1,84	2,10E+05	0,0188	24,1	57,7	6,4	4,8	5,9	4,4	0,4
Junio	0,014	0,0014	0,013	0,013	1,58	1,81E+05	0,0191	18,1	63,8	6,1	4,4	5,9	4,2	0,2
Julio	0,017	0,0017	0,015	0,015	1,88	2,14E+05	0,0188	25,1	56,8	6,4	4,8	5,9	4,4	0,4
Agosto	0,017	0,0052	0,012	0,012	1,47	1,67E+05	0,0192	15,7	66,2	5,9	4,4	5,9	4,4	0,0
Septiembre	0,018	0,0054	0,013	0,013	1,53	1,75E+05	0,0191	17,0	64,9	6,0	4,3	5,9	4,2	0,1
Octubre	0,021	0,0062	0,014	0,014	1,76	2,01E+05	0,0189	22,2	59,7	6,3	4,7	5,9	4,4	0,4
Noviembre	0,018	0,0054	0,013	0,013	1,52	1,74E+05	0,0191	16,8	65,0	6,0	4,3	5,9	4,2	0,1
Diciembre	0,017	0,0052	0,012	0,012	1,48	1,69E+05	0,0192	16,0	65,9	5,9	4,4	5,9	4,4	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 725,1 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J6. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,021	0,0062	0,015	0,015	1,77	2,02E+05	0,0189	22,5	59,4	6,4	4,7	6,4	4,7	0,0
Febrero	0,019	0,0019	0,017	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,3	6,4	4,3	0,1
Marzo	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,7	0,1
Abril	0,019	0,0019	0,017	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,7	6,4	4,6	0,1
Mayo	0,019	0,0019	0,017	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,7	0,1
Junio	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,7	6,4	4,6	0,1
Julio	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,7	0,1
Agosto	0,023	0,0070	0,016	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,7	0,1
Septiembre	0,022	0,0067	0,016	0,016	1,90	2,18E+05	0,0187	25,8	56,1	6,5	4,6	6,4	4,6	0,1
Octubre	0,024	0,0071	0,017	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,7	0,1
Noviembre	0,026	0,0078	0,018	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,7	6,4	4,6	0,1
Diciembre	0,026	0,0077	0,018	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,7	0,1

Nota. La longitud de la tubería es de 725,1 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J7. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 85% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,022	0,0067	0,016	0,016	1,89	2,16E+05	0,0187	25,5	56,4	6,4	4,8	6,4	4,8	0,0
Febrero	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,3	6,4	4,3	0,0
Marzo	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,8	0,0
Abril	0,020	0,0020	0,018	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,7	6,4	4,6	0,0
Mayo	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,8	0,0
Junio	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,7	6,4	4,6	0,0
Julio	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,8	0,0
Agosto	0,024	0,0072	0,017	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,8	0,0
Septiembre	0,025	0,0074	0,017	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,7	6,4	4,6	0,0
Octubre	0,028	0,0085	0,020	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,8	0,0
Noviembre	0,027	0,0082	0,019	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,7	6,4	4,6	0,0
Diciembre	0,026	0,0077	0,018	0,016	1,99	2,27E+05	0,0187	28,0	53,8	6,5	4,8	6,4	4,8	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 725,1 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J8. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 80% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,024	0,0073	0,017	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,8	6,5	4,8	0,0
Febrero	0,023	0,0023	0,020	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,3	6,5	4,3	0,0
Marzo	0,021	0,0021	0,019	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,8	6,5	4,8	0,0
Abril	0,023	0,0023	0,021	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,7	6,5	4,7	0,0
Mayo	0,023	0,0023	0,021	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,8	6,5	4,8	0,0
Junio	0,022	0,0022	0,020	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,7	6,5	4,7	0,0
Julio	0,022	0,0022	0,020	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,8	6,5	4,8	0,0
Agosto	0,026	0,0077	0,018	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,8	6,5	4,8	0,0
Septiembre	0,031	0,0092	0,022	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,7	6,5	4,7	0,0
Octubre	0,029	0,0088	0,020	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,8	6,5	4,8	0,0
Noviembre	0,028	0,0085	0,020	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,7	6,5	4,7	0,0
Diciembre	0,027	0,0080	0,019	0,016	1,97	2,25E+05	0,0187	27,5	54,4	6,5	4,8	6,5	4,8	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 725,1 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J9. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 95% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,275	0,0825	0,193	0,193	1,07	5,73E+05	0,0143	3,4	16,8	23,7	17,7	23,2	17,2	0,4
Febrero	0,234	0,0234	0,211	0,211	1,18	6,28E+05	0,0142	4,1	16,1	25,0	16,8	23,2	15,6	1,2
Marzo	0,226	0,0226	0,203	0,203	1,13	6,06E+05	0,0142	3,8	16,4	24,5	18,2	23,2	17,2	1,0
Abril	0,226	0,0226	0,203	0,203	1,13	6,06E+05	0,0142	3,8	16,4	24,5	17,7	23,2	16,7	1,0
Mayo	0,258	0,0258	0,233	0,233	1,30	6,92E+05	0,0140	4,9	15,3	26,2	19,5	23,2	17,2	2,2
Junio	0,222	0,0222	0,200	0,200	1,11	5,95E+05	0,0142	3,7	16,5	24,3	17,5	23,2	16,7	0,8
Julio	0,264	0,0264	0,237	0,237	1,32	7,06E+05	0,0140	5,1	15,1	26,4	19,6	23,2	17,2	2,4
Agosto	0,265	0,0794	0,185	0,185	1,03	5,52E+05	0,0144	3,2	17,0	23,2	17,2	23,2	17,2	0,0
Septiembre	0,276	0,0828	0,193	0,193	1,08	5,75E+05	0,0143	3,4	16,7	23,8	17,1	23,2	16,7	0,5
Octubre	0,318	0,0953	0,222	0,222	1,24	6,62E+05	0,0141	4,5	15,7	25,7	19,1	23,2	17,2	1,9
Noviembre	0,275	0,0825	0,193	0,193	1,07	5,73E+05	0,0143	3,4	16,8	23,7	17,1	23,2	16,7	0,4
Diciembre	0,268	0,0803	0,187	0,187	1,05	5,58E+05	0,0143	3,3	16,9	23,3	17,4	23,2	17,2	0,1

Nota. La longitud de la tubería es de 1.851,5 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J10. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,320	0,0960	0,224	0,224	1,25	6,67E+05	0,0141	4,6	15,6	25,7	19,2	25,7	19,2	0,0
Febrero	0,297	0,0297	0,267	0,267	1,49	7,96E+05	0,0138	6,4	13,8	27,1	18,2	25,7	17,3	0,9
Marzo	0,320	0,0320	0,288	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	25,7	19,2	1,1
Abril	0,289	0,0289	0,260	0,260	1,45	7,73E+05	0,0139	6,0	14,1	27,0	19,5	25,7	18,5	0,9
Mayo	0,285	0,0285	0,257	0,257	1,43	7,65E+05	0,0139	5,9	14,3	27,0	20,1	25,7	19,2	0,9
Junio	0,323	0,0323	0,291	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	25,7	18,5	1,1
Julio	0,321	0,0321	0,289	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	25,7	19,2	1,1
Agosto	0,359	0,1078	0,252	0,252	1,40	7,49E+05	0,0139	5,7	14,5	26,8	20,0	25,7	19,2	0,8
Septiembre	0,344	0,1032	0,241	0,241	1,34	7,17E+05	0,0140	5,2	15,0	26,5	19,1	25,7	18,5	0,5
Octubre	0,365	0,1094	0,255	0,255	1,42	7,60E+05	0,0139	5,8	14,3	26,9	20,0	25,7	19,2	0,9
Noviembre	0,399	0,1197	0,279	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	25,7	18,5	1,1
Diciembre	0,394	0,1182	0,276	0,276	1,54	8,21E+05	0,0138	6,8	13,4	27,2	20,2	25,7	19,2	1,1

Nota. La longitud de la tubería es de 1.851,5 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J11. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 85% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,342	0,1025	0,239	0,239	1,33	7,12E+05	0,0140	5,2	15,0	26,4	19,7	26,4	19,7	0,0
Febrero	0,320	0,0320	0,288	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	18,3	26,4	17,8	0,5
Marzo	0,324	0,0324	0,292	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	26,4	19,7	0,6
Abril	0,306	0,0306	0,276	0,276	1,54	8,21E+05	0,0138	6,8	13,4	27,2	19,6	26,4	19,0	0,6
Mayo	0,318	0,0318	0,286	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	26,4	19,7	0,6
Junio	0,329	0,0329	0,296	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	26,4	19,0	0,6
Julio	0,323	0,0323	0,291	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	26,4	19,7	0,6
Agosto	0,368	0,1103	0,257	0,257	1,44	7,67E+05	0,0139	5,9	14,2	27,0	20,1	26,4	19,7	0,4
Septiembre	0,379	0,1138	0,265	0,265	1,48	7,90E+05	0,0139	6,3	13,9	27,1	19,5	26,4	19,0	0,5
Octubre	0,437	0,1310	0,306	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	26,4	19,7	0,6
Noviembre	0,419	0,1257	0,293	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	26,4	19,0	0,6
Diciembre	0,397	0,1191	0,278	0,278	1,55	8,27E+05	0,0138	6,9	13,3	27,2	20,2	26,4	19,7	0,6

Nota. La longitud de la tubería es de 1.851,5 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J12. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 80% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,373	0,1119	0,261	0,261	1,46	7,77E+05	0,0139	6,1	14,1	27,0	20,1	27,0	20,1	0,0
Febrero	0,347	0,0347	0,312	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	18,3	27,0	18,2	0,1
Marzo	0,327	0,0327	0,294	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	27,0	20,1	0,1
Abril	0,352	0,0352	0,317	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	27,0	19,5	0,1
Mayo	0,356	0,0356	0,321	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	27,0	20,1	0,1
Junio	0,346	0,0346	0,311	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	27,0	19,5	0,1
Julio	0,338	0,0338	0,304	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	27,0	20,1	0,1
Agosto	0,396	0,1188	0,277	0,277	1,55	8,25E+05	0,0138	6,8	13,3	27,2	20,2	27,0	20,1	0,1
Septiembre	0,473	0,1419	0,331	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	27,0	19,5	0,1
Octubre	0,449	0,1347	0,314	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	27,0	20,1	0,1
Noviembre	0,436	0,1307	0,305	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	19,6	27,0	19,5	0,1
Diciembre	0,412	0,1235	0,288	0,279	1,56	8,32E+05	0,0138	6,9	13,2	27,2	20,2	27,0	20,1	0,1

Nota. La longitud de la tubería es de 1.851,5 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J13. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,309	0,0926	0,216	0,216	1,90	8,07E+05	0,0142	7,4	39,0	62,0	46,1	60,5	45,0	1,1
Febrero	0,263	0,0263	0,237	0,237	2,08	8,84E+05	0,0141	8,8	37,6	65,5	44,0	60,5	40,6	3,4
Marzo	0,254	0,0254	0,228	0,228	2,00	8,53E+05	0,0141	8,2	38,2	64,1	47,7	60,5	45,0	2,7
Abril	0,254	0,0254	0,228	0,228	2,00	8,53E+05	0,0141	8,2	38,2	64,1	46,2	60,5	43,5	2,6
Mayo	0,290	0,0290	0,261	0,261	2,29	9,75E+05	0,0140	10,6	35,8	68,7	51,1	60,5	45,0	6,1
Junio	0,249	0,0249	0,224	0,224	1,97	8,37E+05	0,0141	7,9	38,4	63,4	45,7	60,5	43,5	2,1
Julio	0,296	0,0296	0,266	0,266	2,34	9,94E+05	0,0140	11,0	35,3	69,3	51,5	60,5	45,0	6,5
Agosto	0,297	0,0891	0,208	0,208	1,82	7,77E+05	0,0142	6,9	39,5	60,5	45,0	60,5	45,0	0,0
Septiembre	0,310	0,0930	0,217	0,217	1,90	8,10E+05	0,0142	7,4	38,9	62,1	44,7	60,5	43,5	1,2
Octubre	0,357	0,1070	0,250	0,250	2,19	9,32E+05	0,0140	9,7	36,6	67,3	50,1	60,5	45,0	5,1
Noviembre	0,309	0,0926	0,216	0,216	1,90	8,07E+05	0,0142	7,4	39,0	62,0	44,6	60,5	43,5	1,1
Diciembre	0,301	0,0902	0,210	0,210	1,85	7,86E+05	0,0142	7,0	39,4	60,9	45,3	60,5	45,0	0,4

Nota. La longitud de la tubería es de 1.030,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J14. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,359	0,1077	0,251	0,251	2,20	9,39E+05	0,0140	9,9	36,5	67,5	50,2	67,5	50,2	0,0
Febrero	0,333	0,0333	0,300	0,300	2,63	1,12E+06	0,0138	13,9	32,5	71,7	48,2	67,5	45,4	2,8
Marzo	0,359	0,0359	0,323	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	67,5	50,2	3,5
Abril	0,324	0,0324	0,292	0,292	2,56	1,09E+06	0,0139	13,1	33,2	71,3	51,3	67,5	48,6	2,7
Mayo	0,320	0,0320	0,288	0,288	2,53	1,08E+06	0,0139	12,9	33,5	71,1	52,9	67,5	50,2	2,7
Junio	0,363	0,0363	0,326	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	52,0	67,5	48,6	3,4
Julio	0,360	0,0360	0,324	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	67,5	50,2	3,5
Agosto	0,404	0,1211	0,282	0,282	2,48	1,05E+06	0,0139	12,3	34,0	70,7	52,6	67,5	50,2	2,4
Septiembre	0,386	0,1158	0,270	0,270	2,37	1,01E+06	0,0139	11,3	35,0	69,6	50,1	67,5	48,6	1,5
Octubre	0,409	0,1228	0,287	0,287	2,51	1,07E+06	0,0139	12,7	33,7	71,0	52,8	67,5	50,2	2,6
Noviembre	0,448	0,1344	0,314	0,314	2,75	1,17E+06	0,0138	15,1	31,3	72,1	51,9	67,5	48,6	3,3
Diciembre	0,442	0,1326	0,309	0,309	2,71	1,16E+06	0,0138	14,7	31,6	72,0	53,6	67,5	50,2	3,4

Nota. La longitud de la tubería es de 1.030,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J15. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía

Mes	Caudal medio (m³/s)	Caudal ecológico (m³/s)	Caudal aprovechable (m³/s)	Caudal a turbinar (m³/s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,384	0,1151	0,269	0,269	2,36	1,00E+06	0,0139	11,2	35,2	69,5	51,7	69,5	51,7	0,0
Febrero	0,359	0,0359	0,323	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	48,5	69,5	46,7	1,8
Marzo	0,364	0,0364	0,327	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	69,5	51,7	2,0
Abril	0,344	0,0344	0,309	0,309	2,71	1,16E+06	0,0138	14,7	31,6	72,0	51,9	69,5	50,0	1,8
Mayo	0,357	0,0357	0,321	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	69,5	51,7	2,0
Junio	0,370	0,0370	0,333	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	52,0	69,5	50,0	1,9
Julio	0,363	0,0363	0,326	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	69,5	51,7	2,0
Agosto	0,413	0,1239	0,289	0,289	2,54	1,08E+06	0,0139	12,9	33,5	71,1	52,9	69,5	51,7	1,2
Septiembre	0,426	0,1277	0,298	0,298	2,61	1,11E+06	0,0138	13,7	32,7	71,6	51,6	69,5	50,0	1,6
Octubre	0,490	0,1470	0,343	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	69,5	51,7	2,0
Noviembre	0,470	0,1411	0,329	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	52,0	69,5	50,0	1,9
Diciembre	0,446	0,1337	0,312	0,312	2,74	1,16E+06	0,0138	15,0	31,4	72,1	53,6	69,5	51,7	1,9

Nota. La longitud de la tubería es de 1.030,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J16. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,419	0,1256	0,293	0,293	2,57	1,09E+06	0,0139	13,3	33,1	71,4	53,1	71,4	53,1	0,0
Febrero	0,389	0,0389	0,351	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	48,5	71,4	48,0	0,5
Marzo	0,367	0,0367	0,331	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	71,4	53,1	0,6
Abril	0,395	0,0395	0,356	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	52,0	71,4	51,4	0,6
Mayo	0,400	0,0400	0,360	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	71,4	53,1	0,6
Junio	0,388	0,0388	0,349	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	52,0	71,4	51,4	0,6
Julio	0,379	0,0379	0,341	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	71,4	53,1	0,6
Agosto	0,444	0,1333	0,311	0,311	2,73	1,16E+06	0,0138	14,9	31,5	72,1	53,6	71,4	53,1	0,5
Septiembre	0,531	0,1593	0,372	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	52,0	71,4	51,4	0,6
Octubre	0,504	0,1512	0,353	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	71,4	53,1	0,6
Noviembre	0,489	0,1467	0,342	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	52,0	71,4	51,4	0,6
Diciembre	0,462	0,1386	0,323	0,321	2,81	1,20E+06	0,0138	15,8	30,6	72,2	53,7	71,4	53,1	0,6

Nota. La longitud de la tubería es de 1.030,8 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J17. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,338	0,1015	0,237	0,237	2,08	8,85E+05	0,0141	2,4	5,2	9,1	6,8	9,1	6,7	0,0
Febrero	0,288	0,0288	0,260	0,250	2,19	9,33E+05	0,0140	2,7	5,0	9,1	6,1	9,1	6,1	0,1
Marzo	0,278	0,0278	0,250	0,250	2,19	9,33E+05	0,0140	2,7	5,0	9,1	6,8	9,1	6,7	0,1
Abril	0,278	0,0278	0,250	0,250	2,19	9,33E+05	0,0140	2,7	5,0	9,1	6,6	9,1	6,5	0,1
Mayo	0,318	0,0318	0,286	0,250	2,19	9,33E+05	0,0140	2,7	5,0	9,1	6,8	9,1	6,7	0,1
Junio	0,273	0,0273	0,246	0,246	2,16	9,18E+05	0,0140	2,6	5,1	9,1	6,6	9,1	6,5	0,1
Julio	0,324	0,0324	0,292	0,250	2,19	9,33E+05	0,0140	2,7	5,0	9,1	6,8	9,1	6,7	0,1
Agosto	0,326	0,0977	0,228	0,228	2,00	8,51E+05	0,0141	2,2	5,4	9,1	6,7	9,1	6,7	0,0
Septiembre	0,340	0,1019	0,238	0,238	2,09	8,88E+05	0,0141	2,4	5,2	9,1	6,6	9,1	6,5	0,0
Octubre	0,391	0,1173	0,274	0,250	2,19	9,33E+05	0,0140	2,7	5,0	9,1	6,8	9,1	6,7	0,1
Noviembre	0,338	0,1015	0,237	0,237	2,08	8,85E+05	0,0141	2,4	5,2	9,1	6,6	9,1	6,5	0,0
Diciembre	0,329	0,0988	0,231	0,231	2,02	8,61E+05	0,0141	2,3	5,4	9,1	6,8	9,1	6,7	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 281,9 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J18. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,394	0,1181	0,275	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Febrero	0,365	0,1096	0,256	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,1	9,1	6,1	0,0
Marzo	0,394	0,0394	0,354	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Abril	0,355	0,0355	0,320	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Mayo	0,351	0,0351	0,316	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Junio	0,397	0,0397	0,358	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Julio	0,395	0,0395	0,355	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Agosto	0,442	0,0442	0,398	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Septiembre	0,423	0,0423	0,381	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Octubre	0,449	0,1346	0,314	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Noviembre	0,491	0,1473	0,344	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Diciembre	0,485	0,1454	0,339	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 281,9 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

Anexo J19. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía

Mes	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal ecológico (m ³ /s)	Caudal aprovechable (m ³ /s)	Caudal a turbinar (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,420	0,1261	0,294	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Febrero	0,394	0,1181	0,275	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,1	9,1	6,1	0,0
Marzo	0,399	0,0399	0,359	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Abril	0,377	0,0377	0,339	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Mayo	0,391	0,0391	0,352	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Junio	0,405	0,0405	0,365	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Julio	0,397	0,0397	0,358	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Agosto	0,453	0,0453	0,407	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Septiembre	0,467	0,0467	0,420	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Octubre	0,537	0,1611	0,376	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Noviembre	0,515	0,1546	0,361	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Diciembre	0,488	0,1465	0,342	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 281,9 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

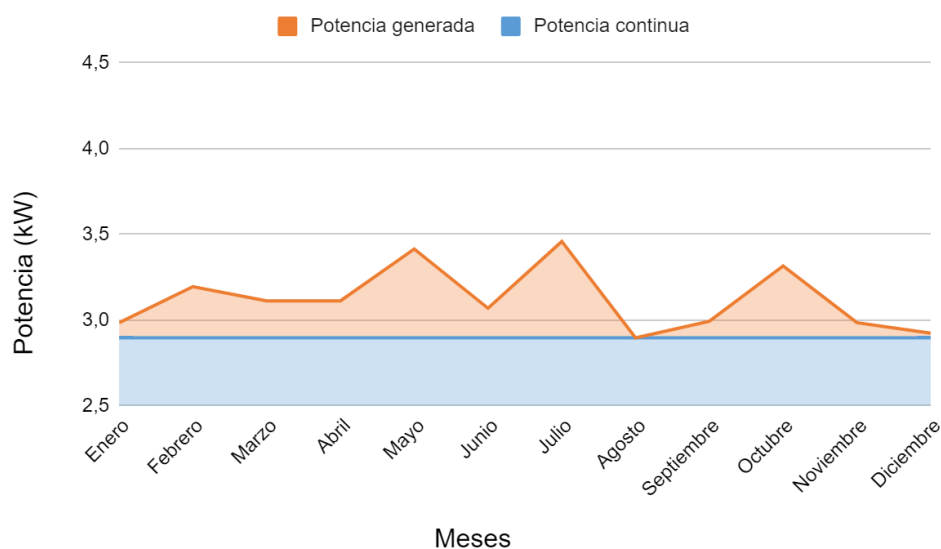
Anexo J20. Potencia y energía generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía

Mes	Caudal medio (m³/s)	Caudal ecológico (m³/s)	Caudal aprovechable (m³/s)	Caudal a turbinar (m³/s)	Velocidad (m/s)	Reynolds	Factor de fricción	Pérdidas (m)	Salto neto (m)	Potencia generada (kW)	Energía generada (MWh)	Potencia continua (kW)	Energía firme (MWh)	Energía secundaria (MWh)
Enero	0,459	0,1377	0,321	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Febrero	0,427	0,0427	0,384	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,1	9,1	6,1	0,0
Marzo	0,403	0,0403	0,362	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Abril	0,433	0,0433	0,390	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Mayo	0,438	0,0438	0,395	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Junio	0,426	0,0426	0,383	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Julio	0,415	0,0415	0,374	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Agosto	0,487	0,1461	0,341	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Septiembre	0,582	0,1746	0,407	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Octubre	0,552	0,1657	0,387	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0
Noviembre	0,536	0,1607	0,375	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,6	9,1	6,6	0,0
Diciembre	0,506	0,1519	0,354	0,247	2,17	9,24E+05	0,0140	2,6	5,0	9,1	6,8	9,1	6,8	0,0

Nota. La longitud de la tubería es de 281,9 m y se empleó una eficiencia global del 75%. Elaboración propia (2023).

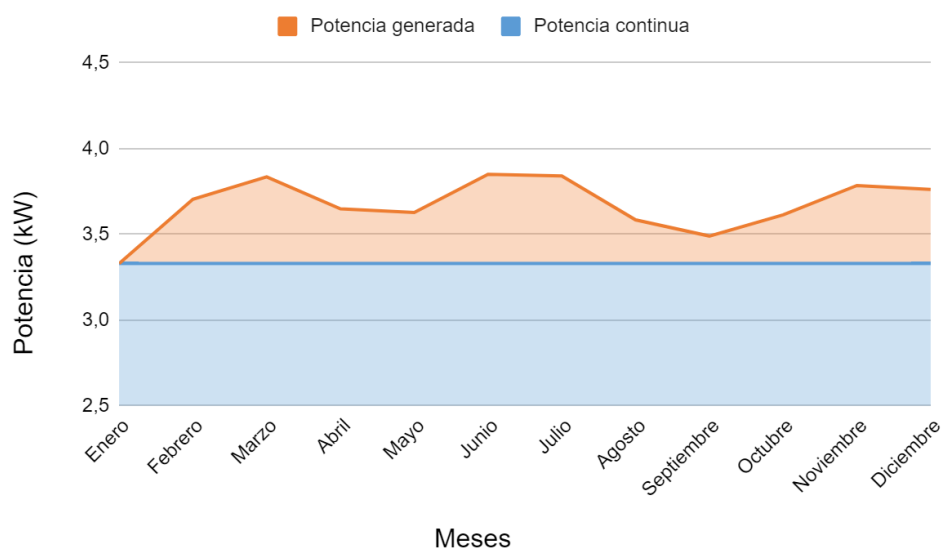
Anexo K. Gráficos de potencia generada mensualmente

Anexo K1. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 95% de garantía



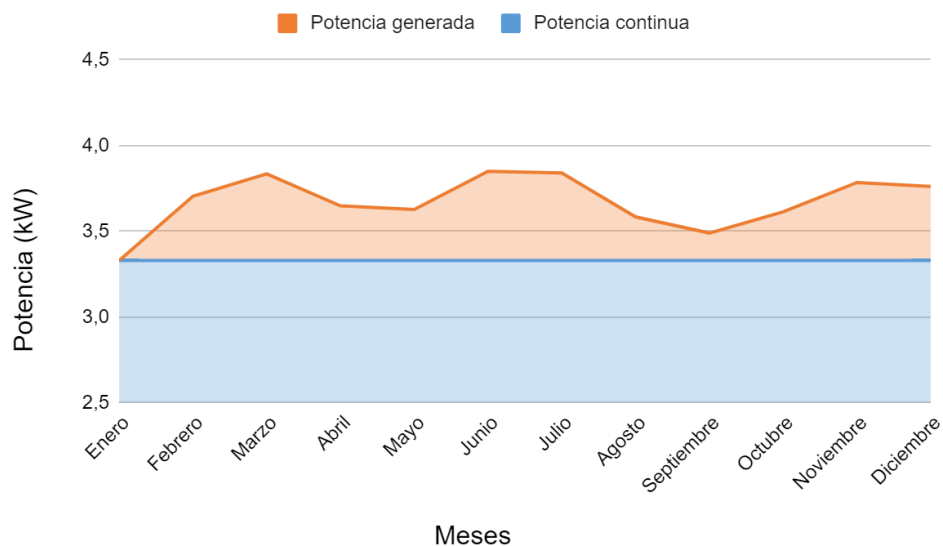
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K2. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 90% de garantía



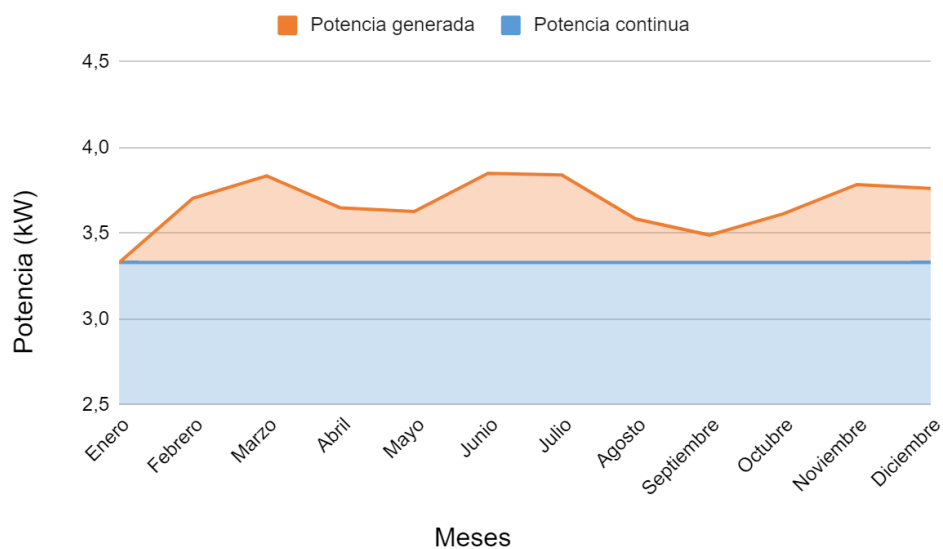
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K3. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 85% de garantía



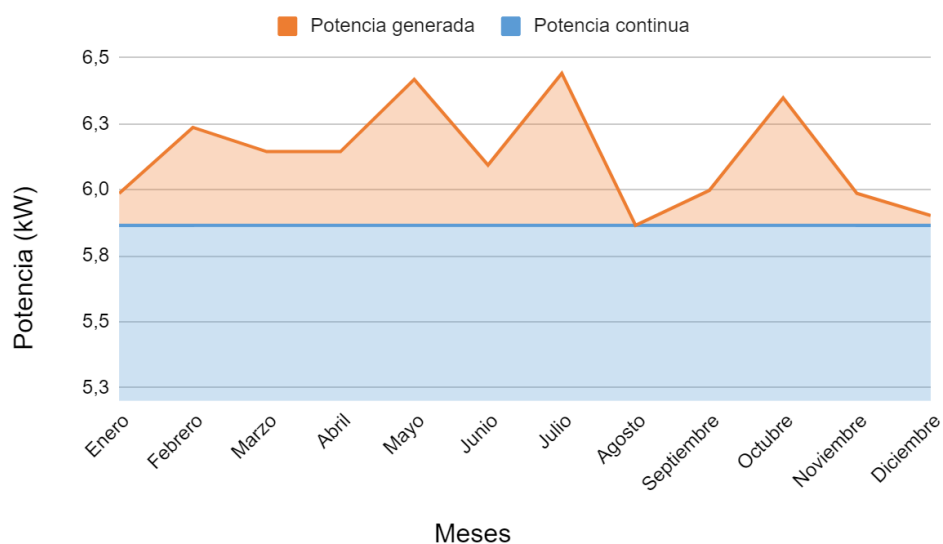
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K4. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 1 con diámetro 150 mm para el 80% de garantía



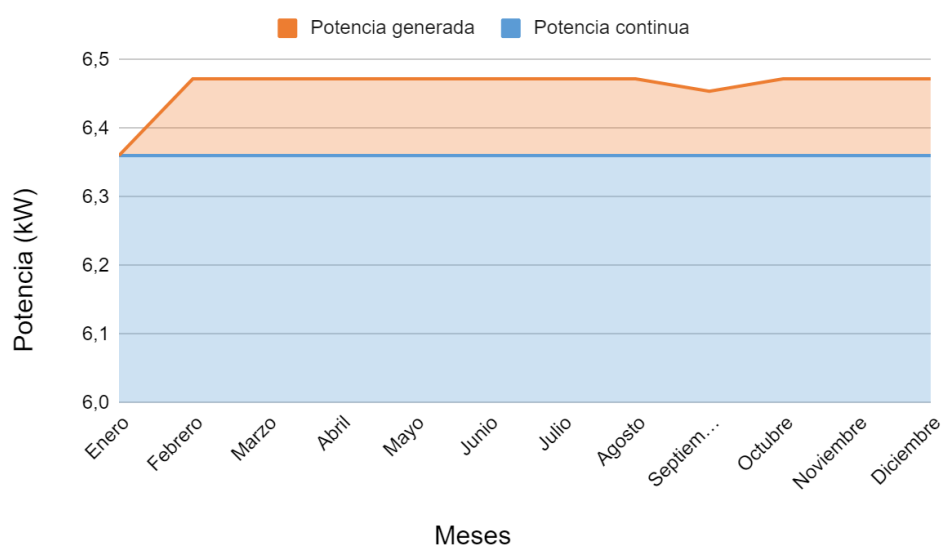
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K5. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 95% de garantía



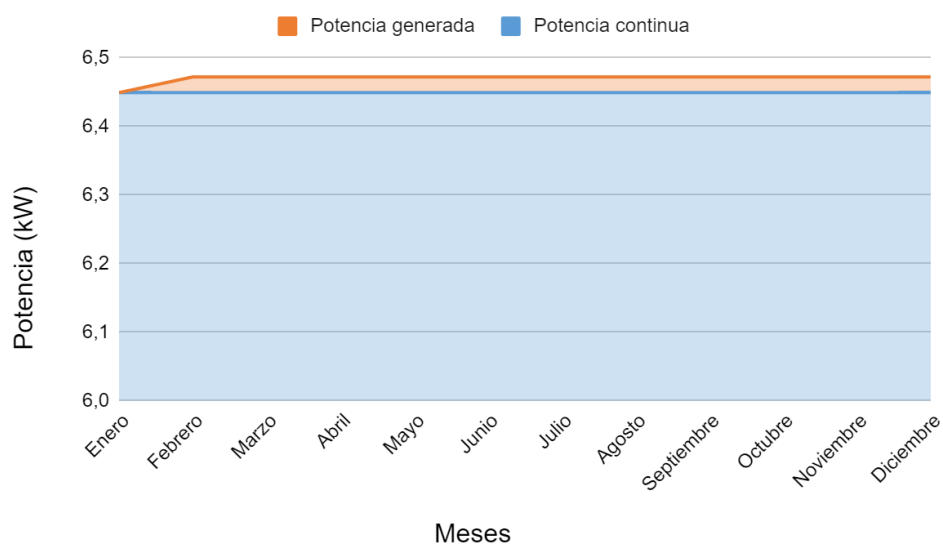
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K6. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 90% de garantía



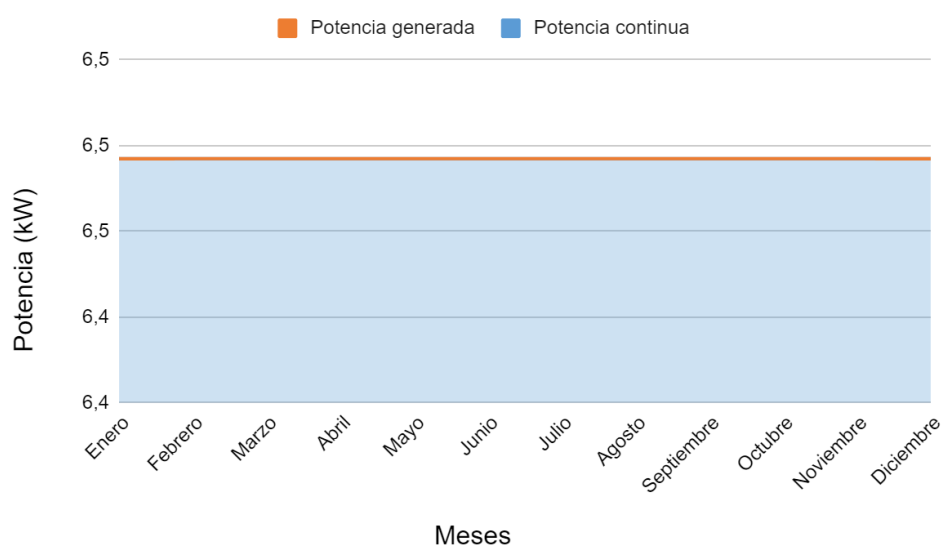
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K7. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 85% de garantía



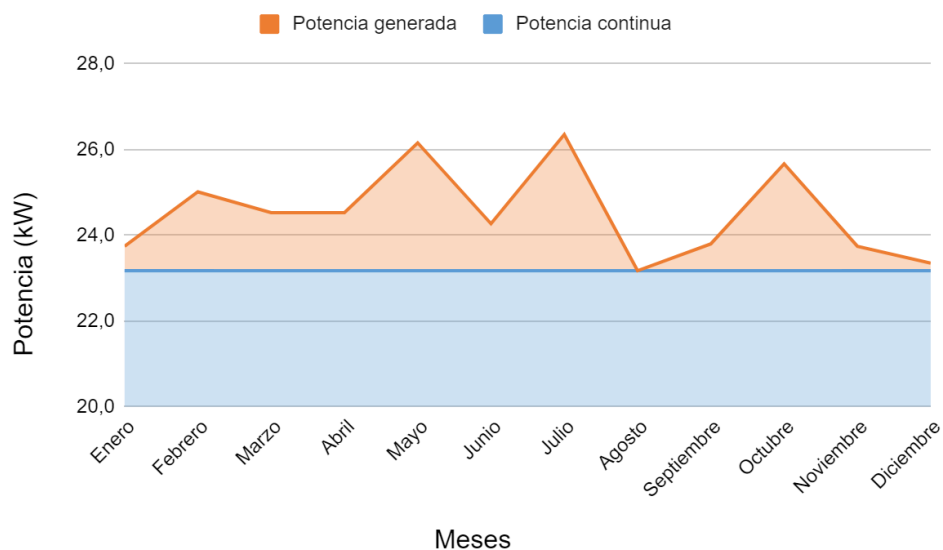
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K8. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 2 con diámetro 100 mm para el 80% de garantía



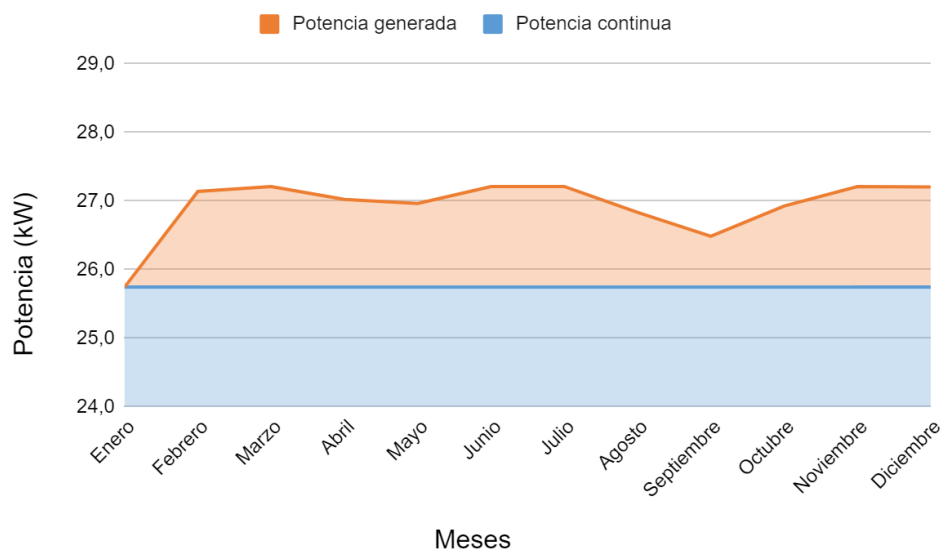
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K9. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 95% de garantía



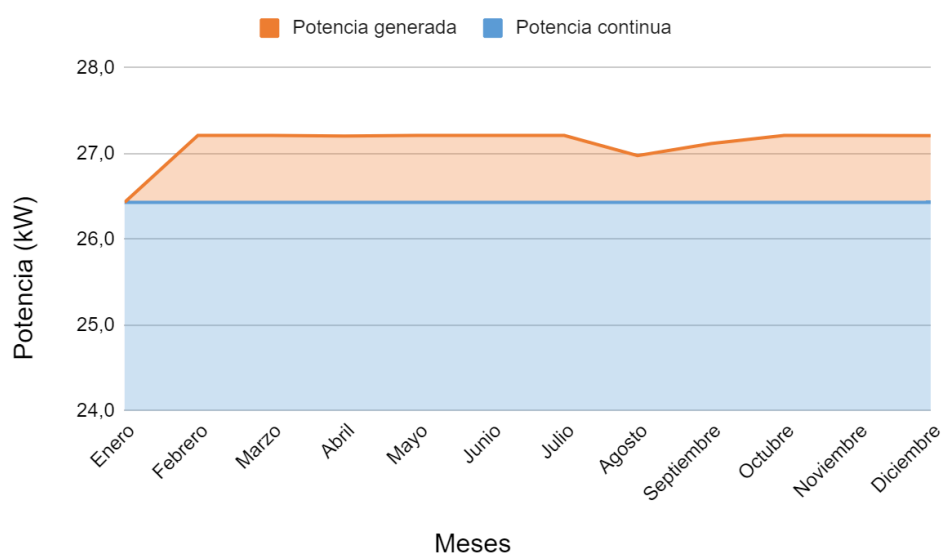
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K10. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 90% de garantía



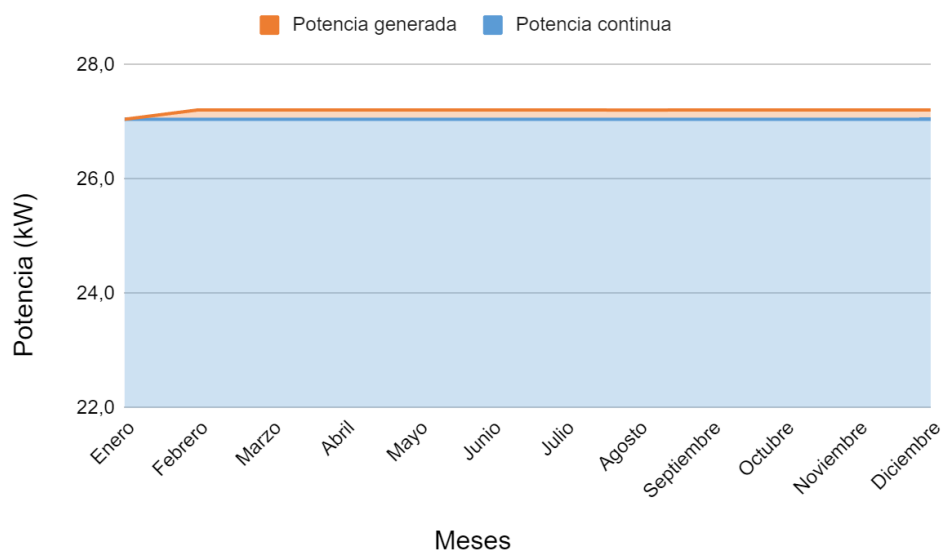
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K11. Gráfico de potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 85% de garantía



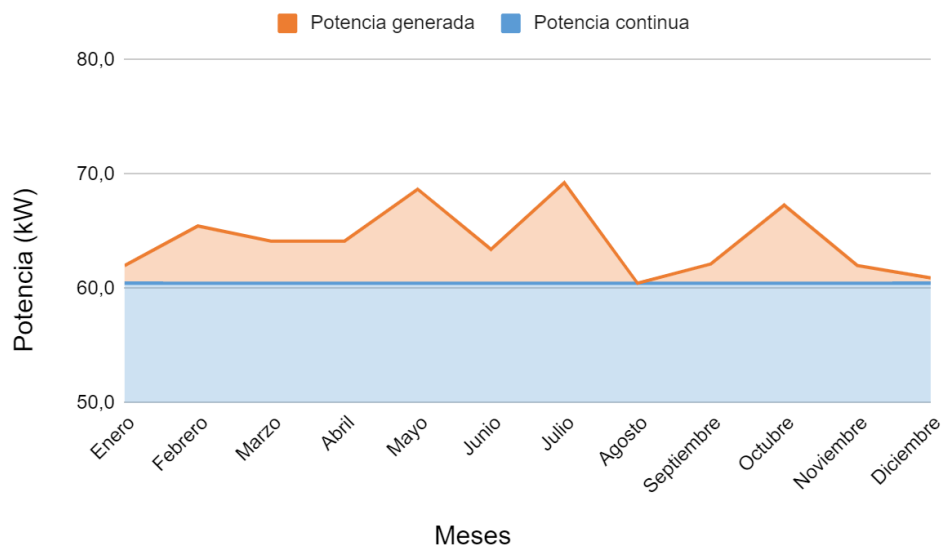
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K12. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 3 con diámetro 500 mm para el 80% de garantía



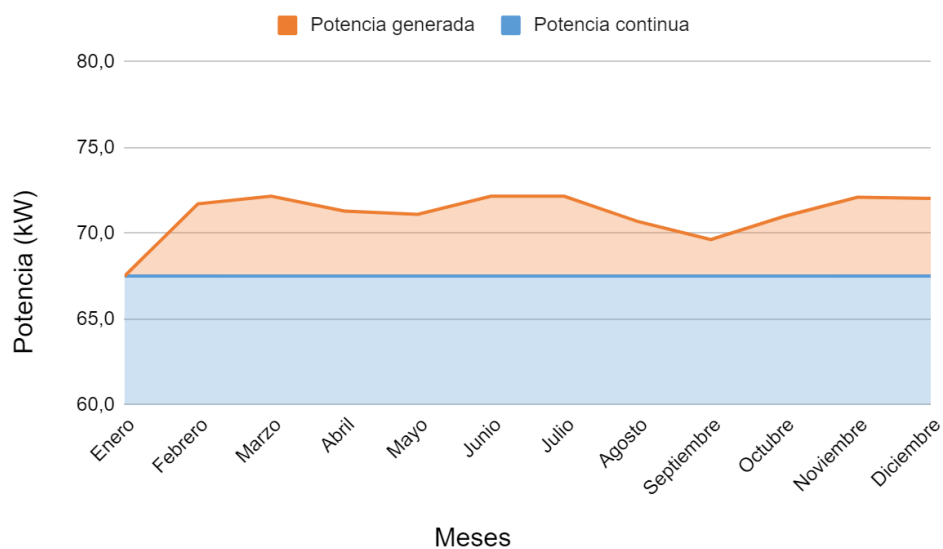
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K13. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía



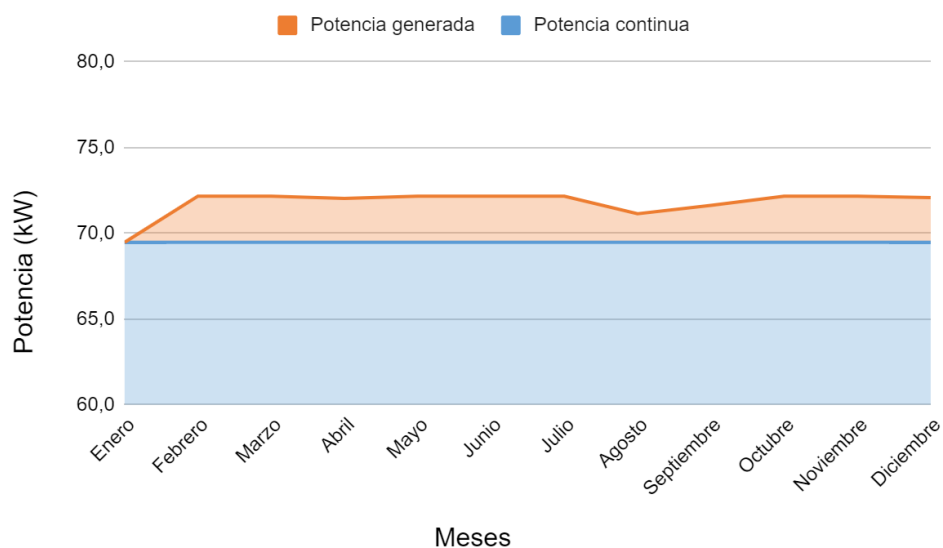
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K14. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía



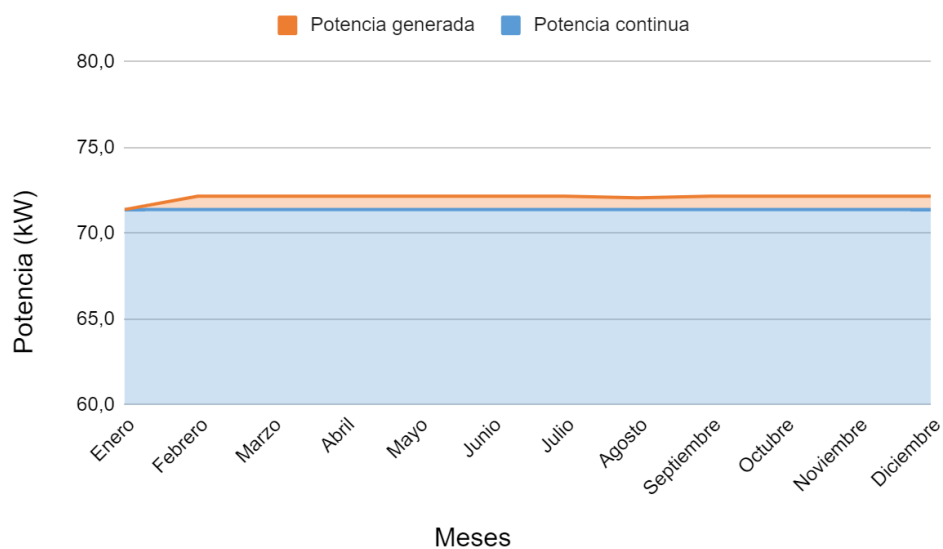
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K15. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía



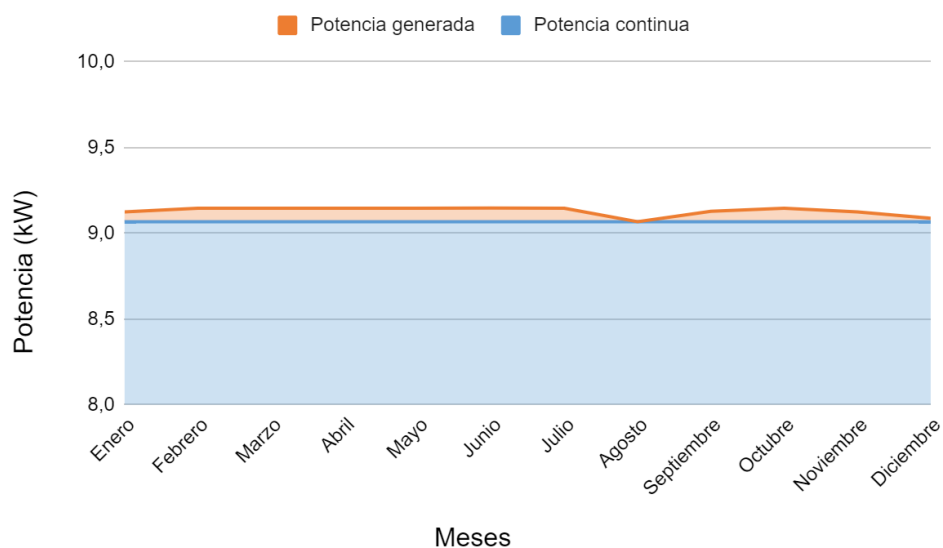
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K16. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 4 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía



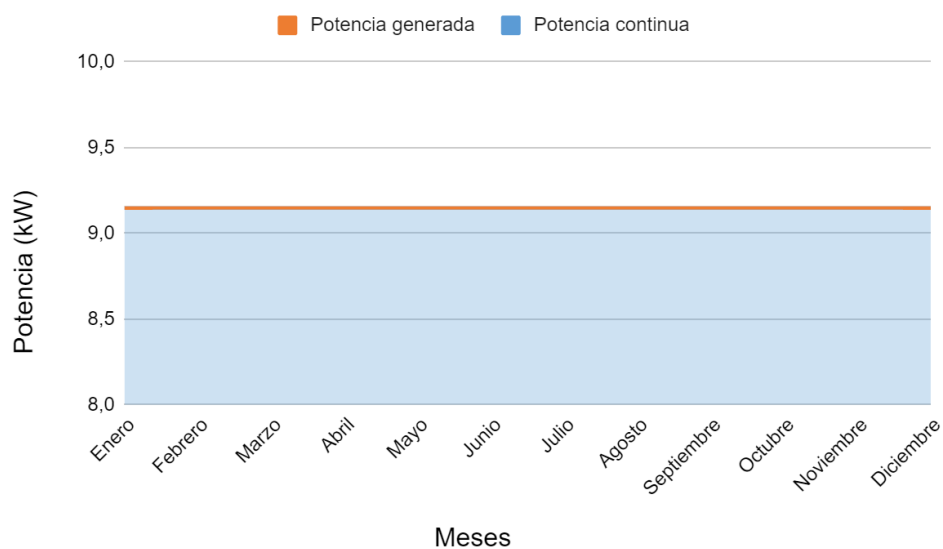
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K17. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía



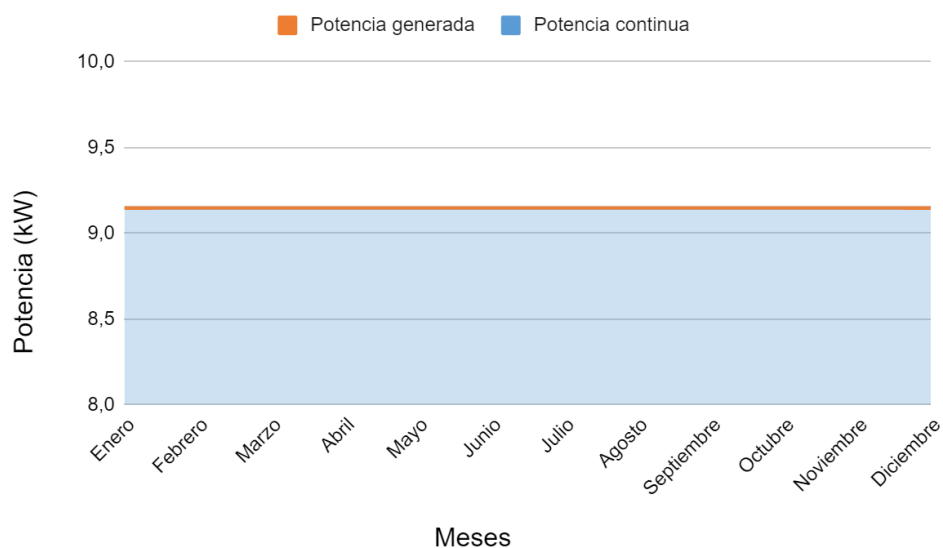
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K18. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía



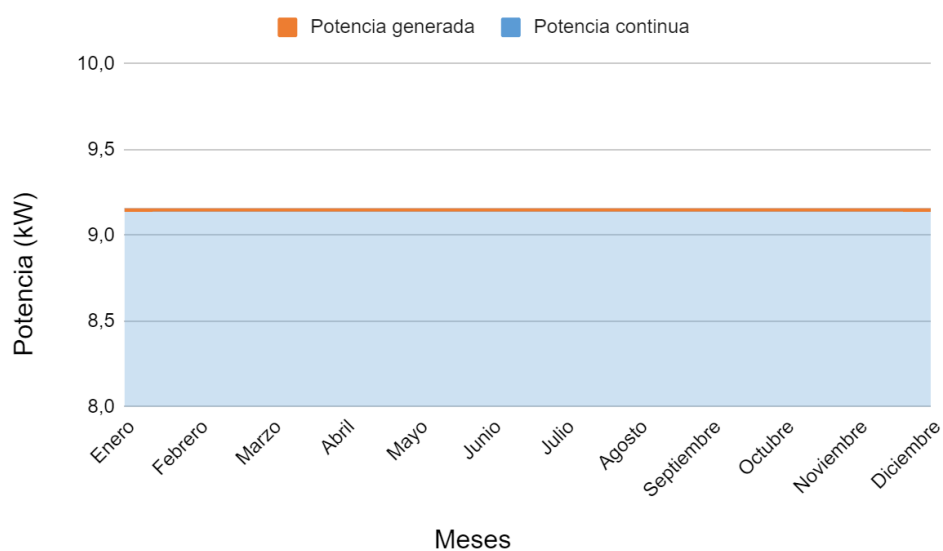
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo K19. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía



Nota. Elaboración propia (2023).

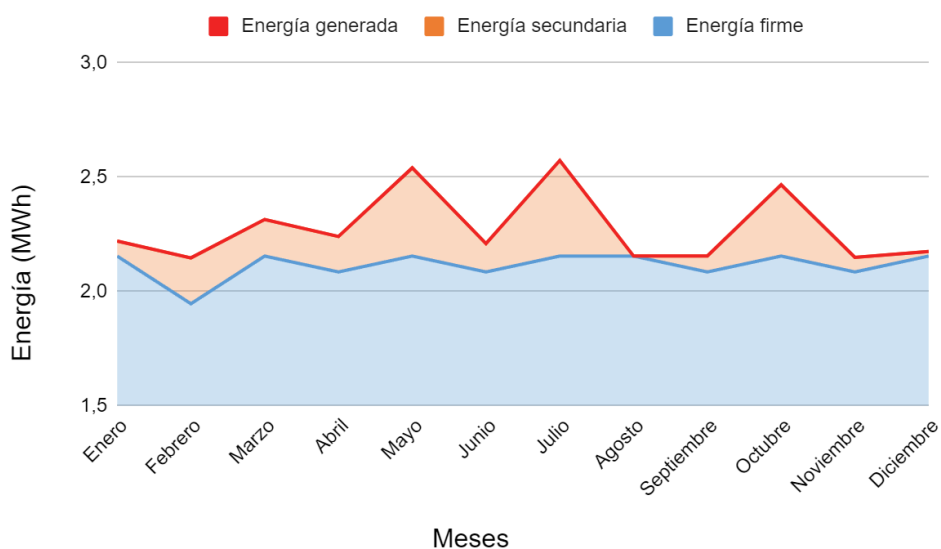
Anexo K20. Gráfico potencia generada mensualmente del Punto 5 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía



Nota. Elaboración propia (2023).

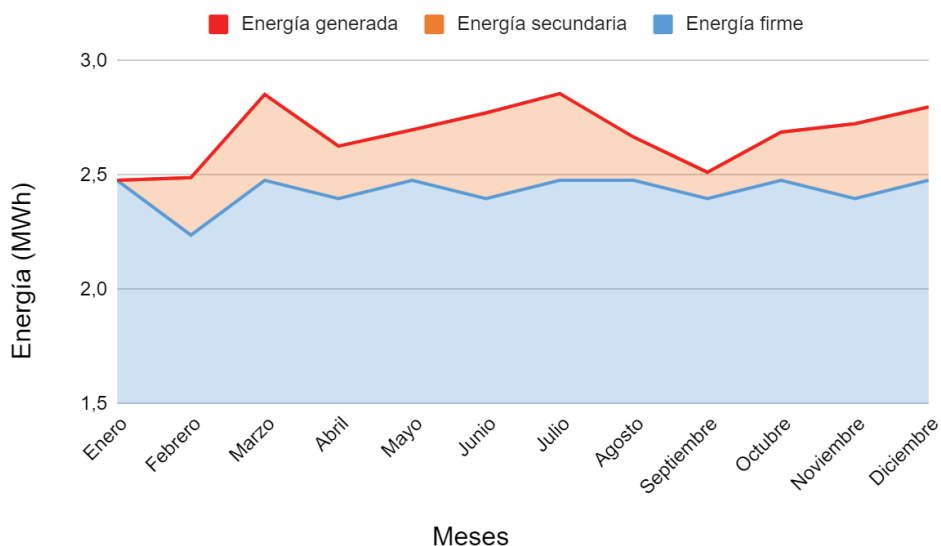
Anexo L. Gráficos de energía generada mensualmente

Anexo L1. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 95% de garantía



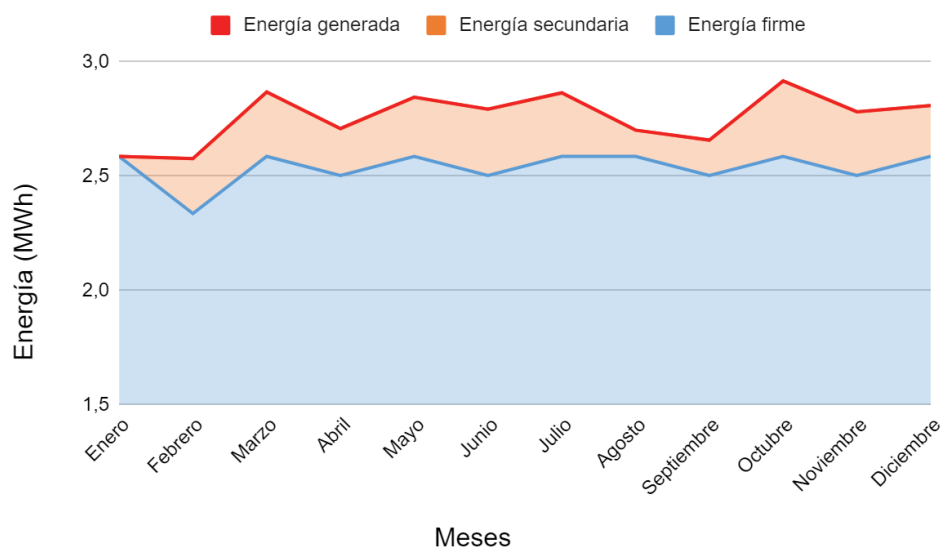
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L2. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 90% de garantía



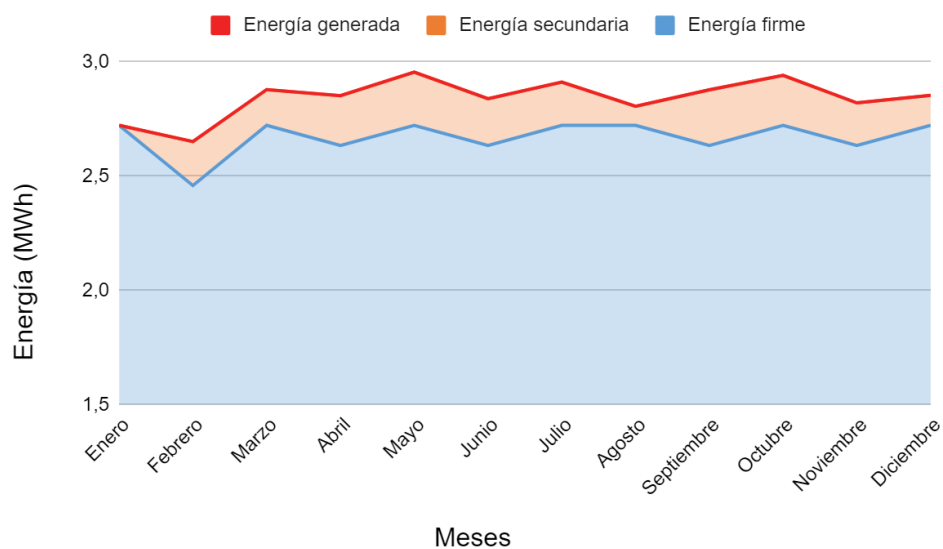
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L3. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 85% de garantía



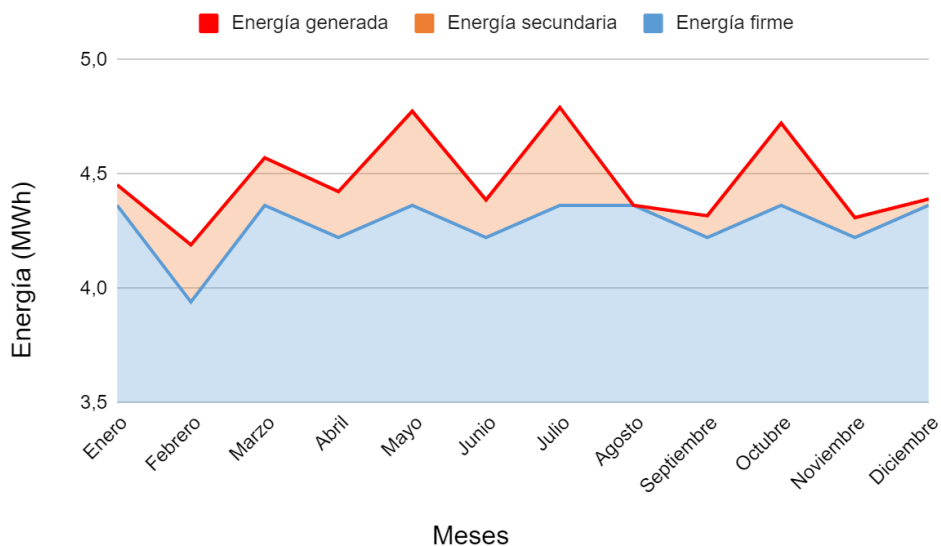
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L4. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 1 con diámetro 150 mm para el 80% de garantía



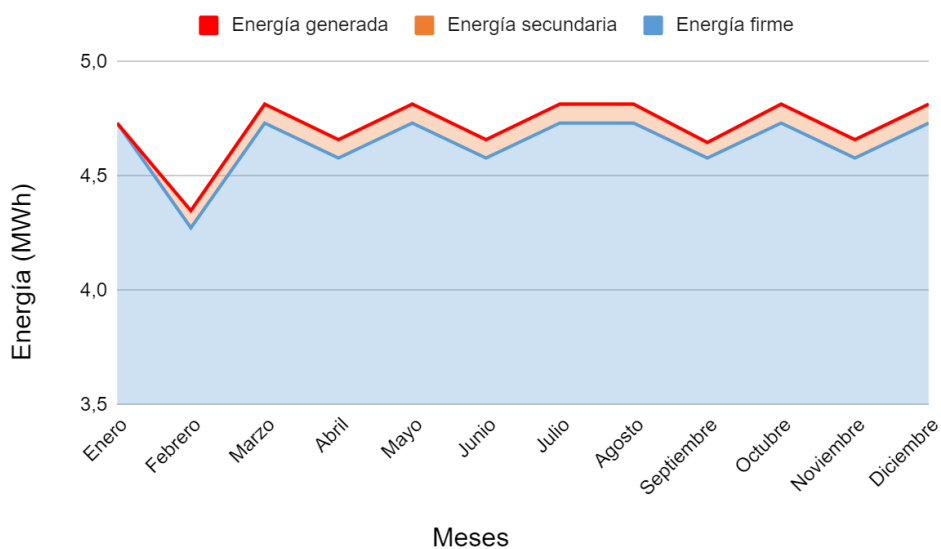
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L5. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 95% de garantía



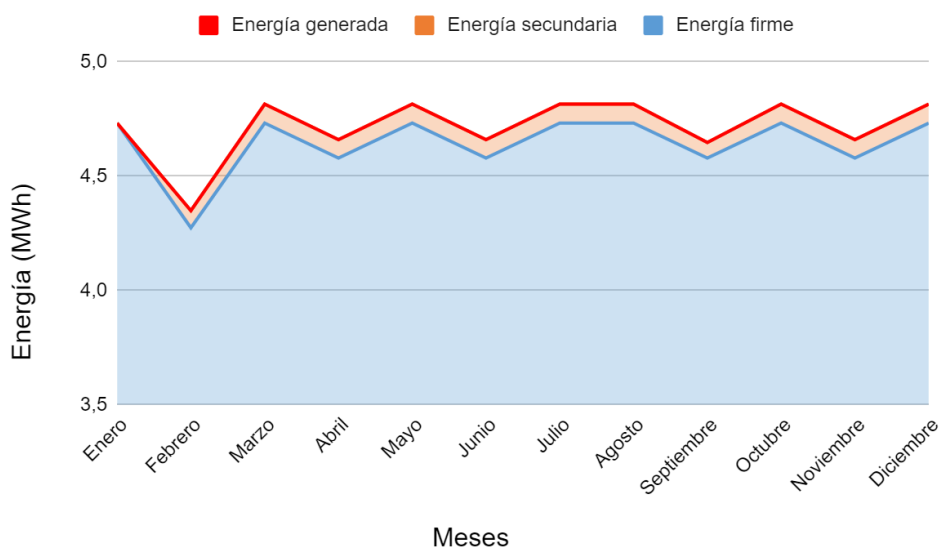
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L6. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 90% de garantía



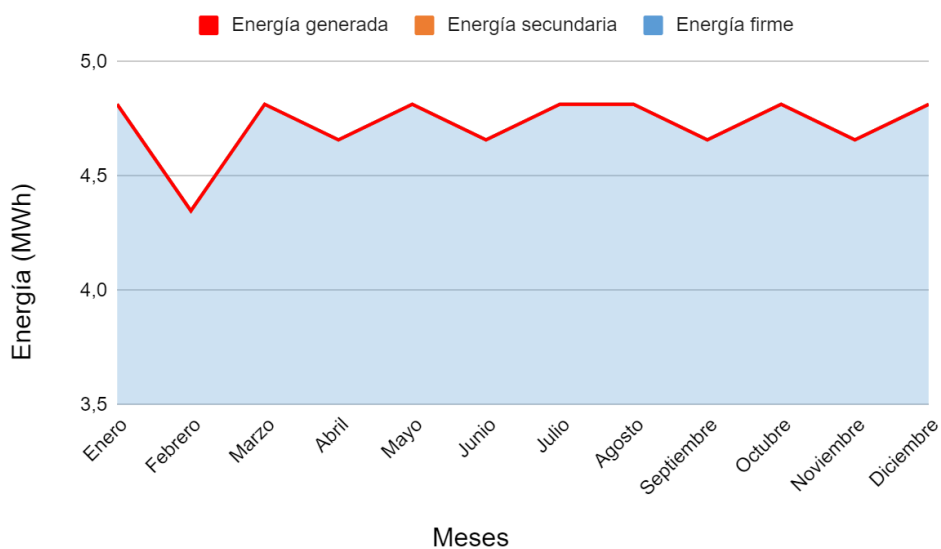
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L7. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 85% de garantía



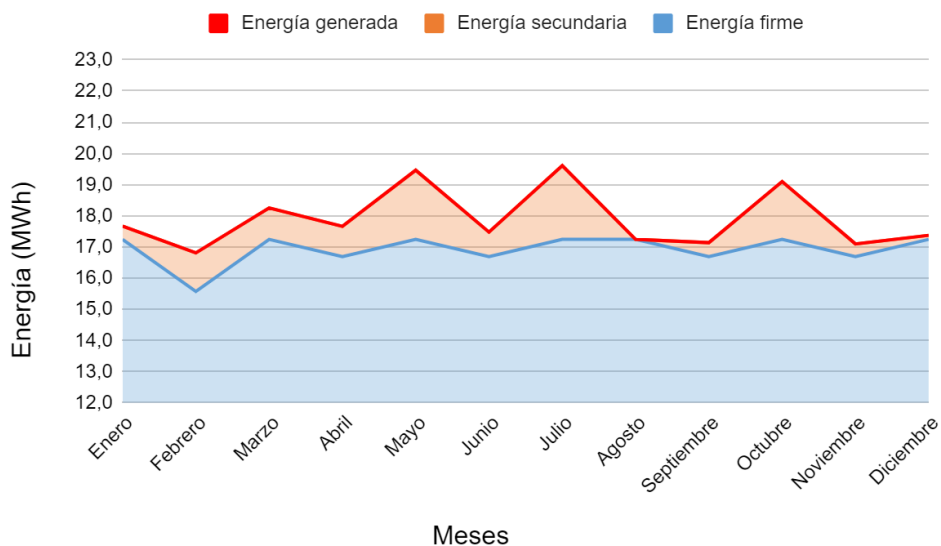
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L8. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 2 con diámetro 100 mm para el 80% de garantía



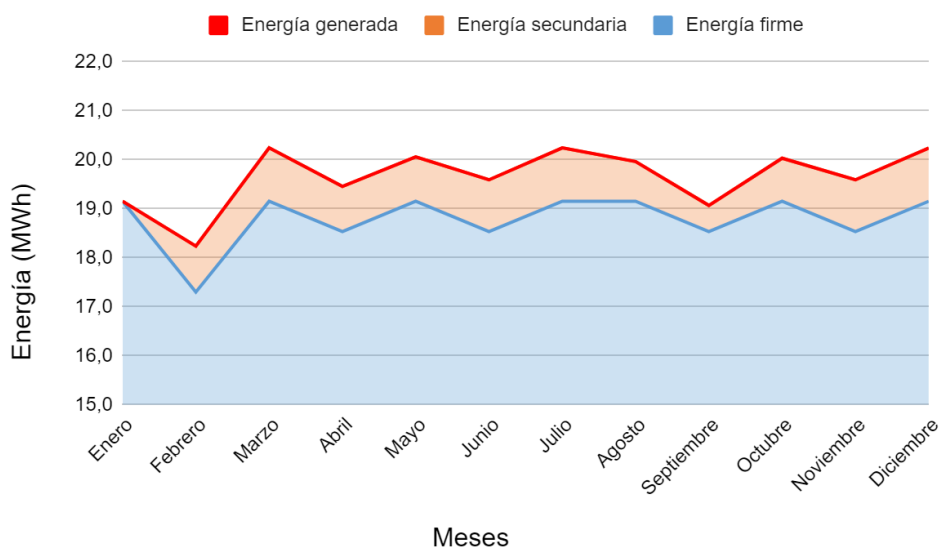
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L9. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 95% de garantía



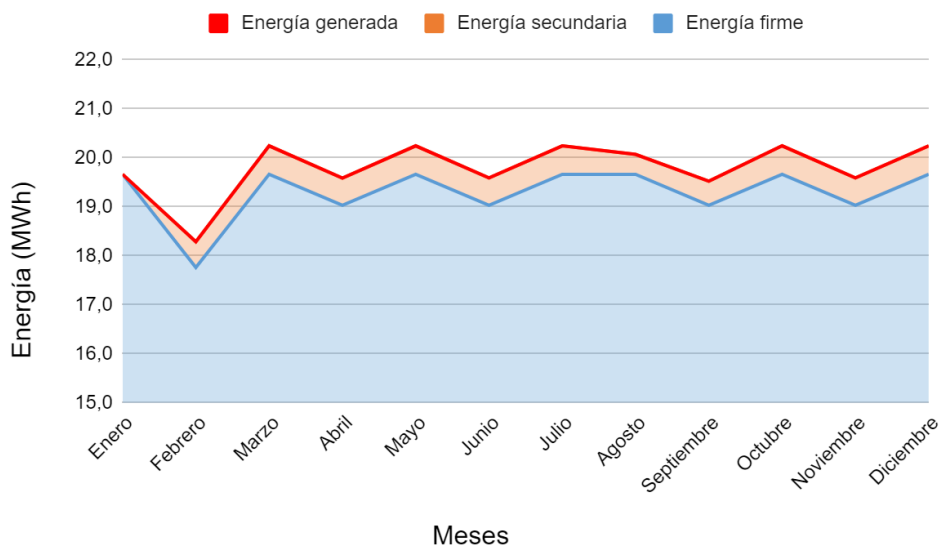
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L10. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 90% de garantía



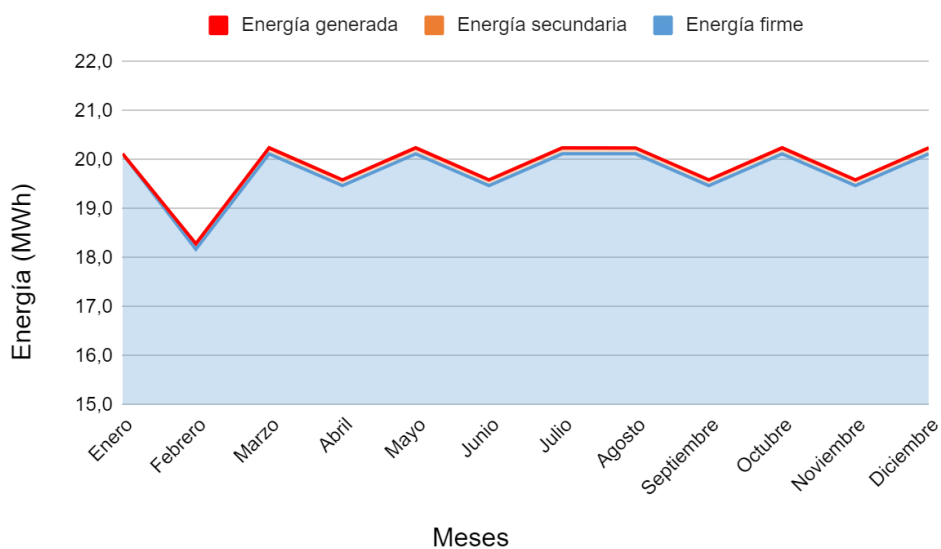
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L11. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 85% de garantía



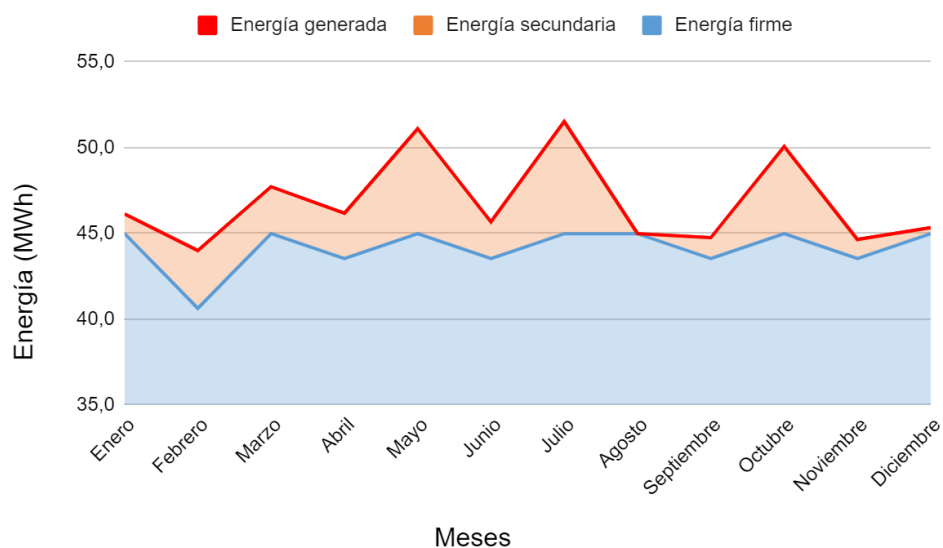
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L12. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 3 con diámetro 500 mm para el 80% de garantía



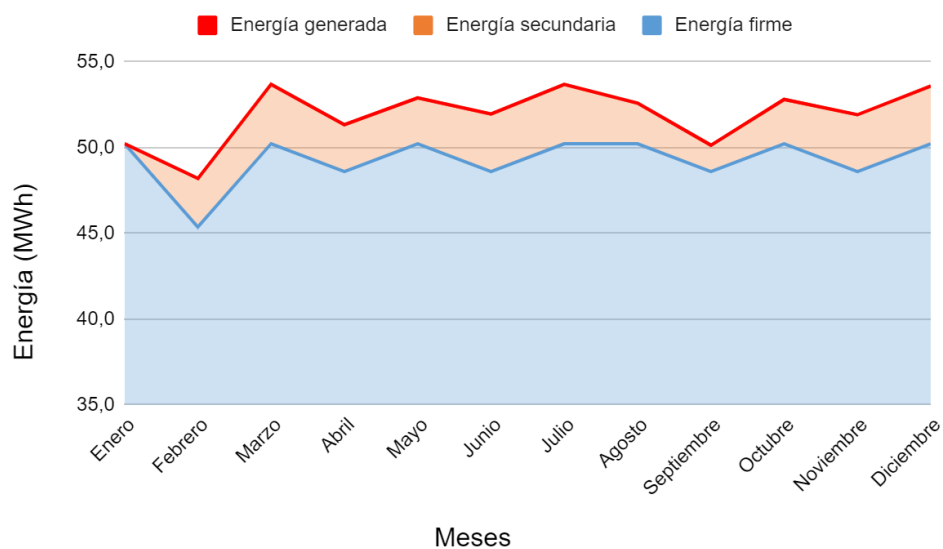
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L13. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía



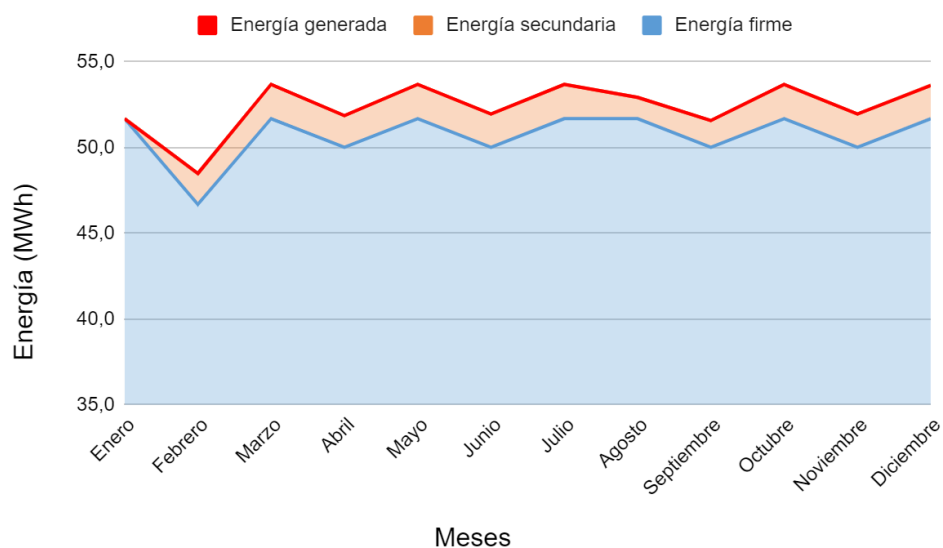
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L14. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía



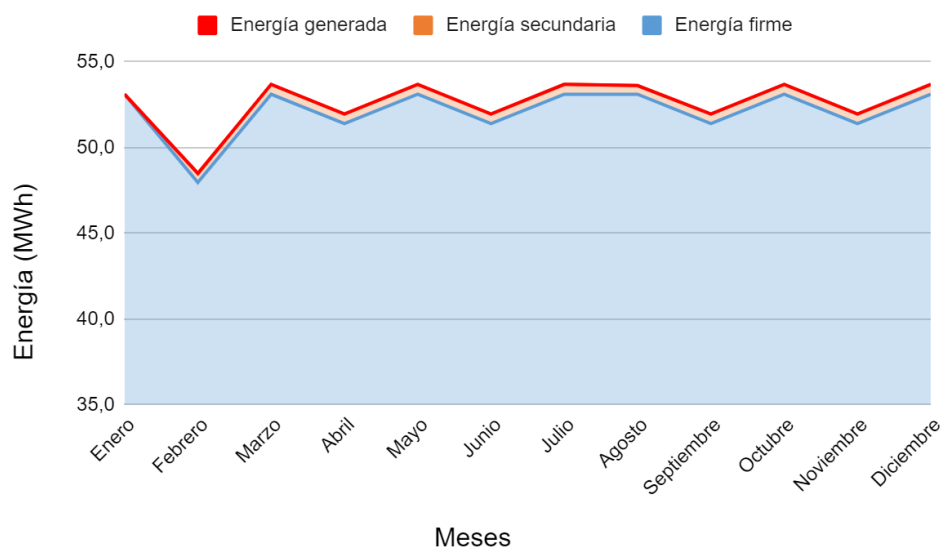
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L15. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía



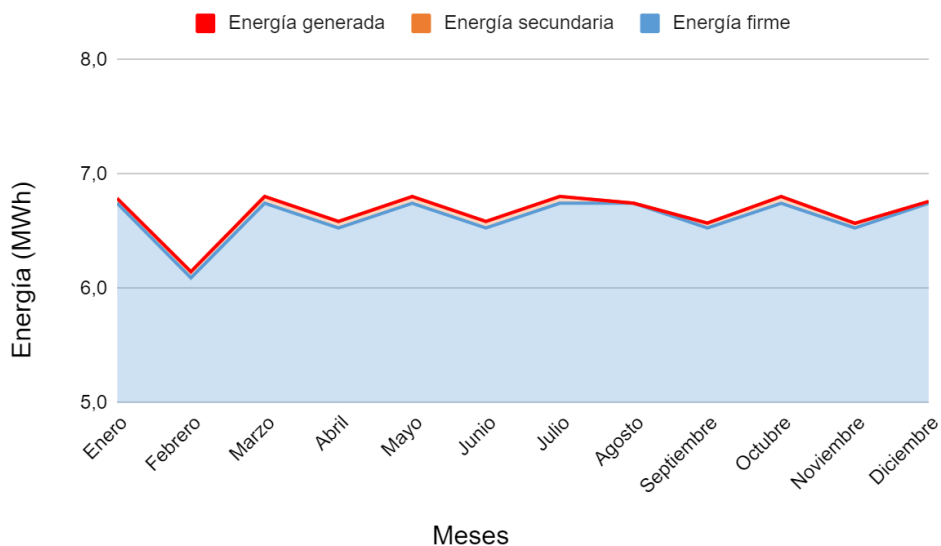
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L16. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 4 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía



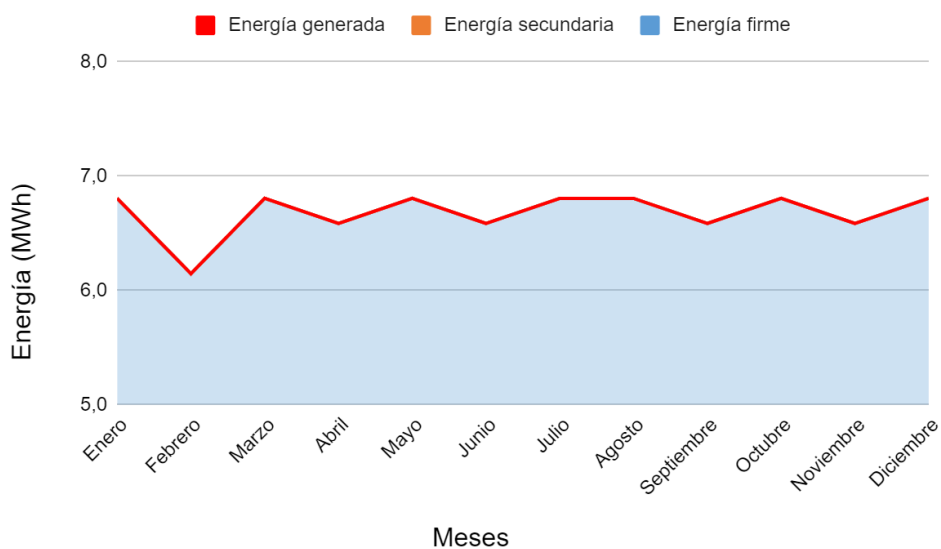
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L17. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 95% de garantía



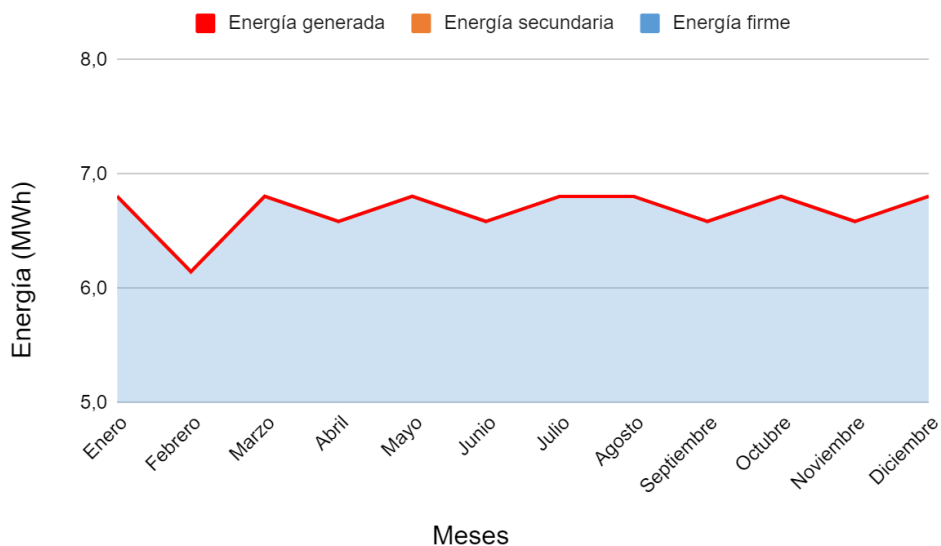
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L18. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 90% de garantía



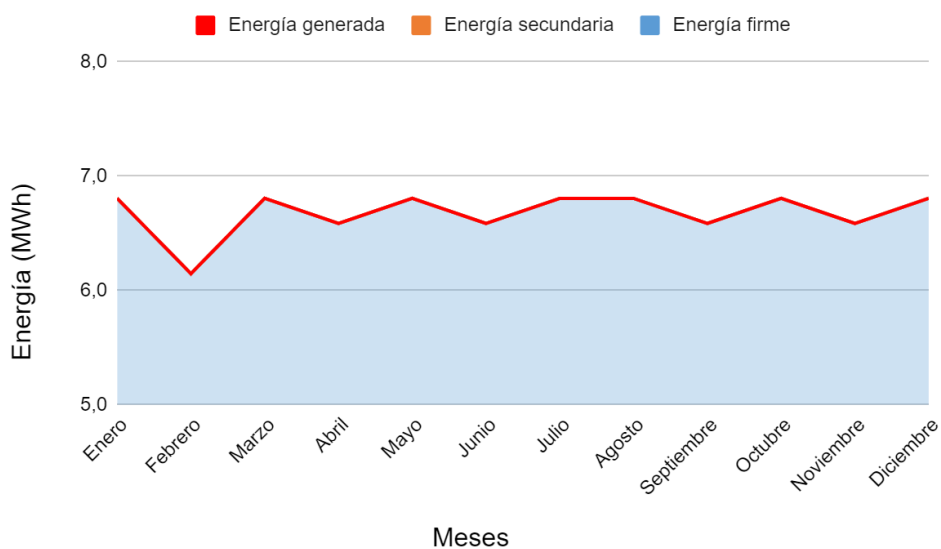
Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L19. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 85% de garantía



Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo L20. Gráfico de energía generada mensualmente en el Punto 5 con diámetro 400 mm para el 80% de garantía



Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo M. Costos de la tubería forzada para diferentes diámetros de tubería

Anexo M1. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 95% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Precio (\$ x ml)	Longitud (m)	Costo tubería forzada (\$)	Potencia continua (kW)	Precio por potencia (\$/kW)
Punto 1	100	45,8	396,8	18.182	1,4	13.371
	150	80,6	396,8	31.967	2,9	11.037
	200	121,3	396,8	48.124	3,1	15.322
Punto 2	80	32,2	725,1	23.337	3,2	7.398
	100	45,8	725,1	33.219	5,9	5.664
	150	80,6	725,1	58.406	7,1	8.259
Punto 3	300	227,2	1.851,9	420.685	8,2	51.151
	400	351,4	1.851,9	650.795	15,0	43.359
	500	522,8	1.851,9	968.126	23,2	41.776
	600	727,5	1.851,9	1.347.182	25,8	52.269
Punto 4	250	171,8	1.030,8	177.124	25,0	7.075
	300	227,2	1.030,8	234.164	39,7	5.905
	400	351,4	1.030,8	362.249	60,5	5.992
	500	522,8	1.030,8	538.883	67,6	7.975
Punto 5	300	227,2	281,9	64.035	5,0	12.750
	400	351,4	281,9	99.062	9,1	10.925
	500	522,8	281,9	147.365	11,6	12.692
	600	727,5	281,9	205.064	12,3	16.626

Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo M2. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Precio (\$ x ml)	Longitud (m)	Costo tubería forzada (\$)	Potencia continua (kW)	Precio por potencia (\$/kW)
Punto 1	100	45,8	396,8	18.182	1,4	13.372
	150	80,6	396,8	31.967	3,3	9.599
	200	121,3	396,8	48.124	3,8	12.822
Punto 2	80	32,2	725,1	23.337	3,2	7.398
	100	45,8	725,1	33.219	6,4	5.223
	150	80,6	725,1	58.406	8,5	6.908
Punto 3	300	227,2	1.851,9	420.685	8,2	51.151
	400	351,4	1.851,9	650.795	15,0	43.359
	500	522,8	1.851,9	968.126	25,7	37.604
	600	727,5	1.851,9	1.347.182	30,3	44.528
Punto 4	250	171,8	1.030,8	177.124	25,0	7.075
	300	227,2	1.030,8	234.164	39,7	5.905
	400	351,4	1.030,8	362.249	67,5	5.366
	500	522,8	1.030,8	538.883	79,9	6.744
Punto 5	300	227,2	281,9	64.035	5,0	12.750
	400	351,4	281,9	99.062	9,1	10.829
	500	522,8	281,9	147.365	13,4	10.996
	600	727,5	281,9	205.064	14,7	13.990

Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo M3. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 85% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Precio (\$ x ml)	Longitud (m)	Costo tubería forzada (\$)	Potencia continua (kW)	Precio por potencia (\$/kW)
Punto 1	100	45,8	396,8	18.182	1,4	13.371
	150	80,6	396,8	31.967	3,5	9.194
	200	121,3	396,8	48.124	4,0	12.063
Punto 2	80	32,2	725,1	23.337	3,2	7.398
	100	45,8	725,1	33.219	6,4	5.151
	150	80,6	725,1	58.406	9,0	6.497
Punto 3	300	227,2	1.851,9	420.685	8,2	51.151
	400	351,4	1.851,9	650.795	15,0	43.359
	500	522,8	1.851,9	968.126	26,4	36.628
	600	727,5	1.851,9	1.347.182	31,9	42.233
Punto 4	250	171,8	1.030,8	177.124	25,0	7.075
	300	227,2	1.030,8	234.164	39,7	5.905
	400	351,4	1.030,8	362.249	69,5	5.214
	500	522,8	1.030,8	538.883	84,5	6.375
Punto 5	300	227,2	281,9	64.035	5,0	12.750
	400	351,4	281,9	99.062	9,1	10.829
	500	522,8	281,9	147.365	14,0	10.513
	600	727,5	281,9	205.064	15,5	13.194

Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo M4. Costos de las tuberías forzadas para diferentes diámetros de tubería en cada punto de aprovechamiento para el 80% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Precio (\$ x ml)	Longitud (m)	Costo tubería forzada (\$)	Potencia continua (kW)	Precio por potencia (\$/kW)
Punto 1	100	45,8	396,8	18.182	1,4	13.371
	150	80,6	396,8	31.967	3,7	8.736
	200	121,3	396,8	48.124	4,3	11.139
Punto 2	80	32,2	725,1	23.337	3,2	7.398
	100	45,8	725,1	33.219	6,5	5.133
	150	80,6	725,1	58.406	9,7	5.997
Punto 3	300	227,2	1.851,9	420.685	8,2	51.151
	400	351,4	1.851,9	650.795	15,0	43.359
	500	522,8	1.851,9	968.126	27,0	35.793
	600	727,5	1.851,9	1.347.182	34,1	39.501
Punto 4	250	171,8	1.030,8	177.124	25,0	7.075
	300	227,2	1.030,8	234.164	39,7	5.905
	400	351,4	1.030,8	362.249	69,9	5.074
	500	522,8	1.030,8	538.883	90,9	5.932
Punto 5	300	227,2	281,9	64.035	5,0	12.750
	400	351,4	281,9	99.062	9,1	10.829
	500	522,8	281,9	147.365	14,0	10.513
	600	727,5	281,9	205.064	15,5	13.194

Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo N. Costos totales del aprovechamiento por energía generada

Anexo N1. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 95% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Costo tubería forzada (\$)	Costo total del aprovechamiento (\$)	Energía generada (kWh)	Precio por energía (\$/kWh)
Punto 1	150	31.967	125.853	27.347	4,60
Punto 2	100	33.219	130.785	53.703	2,44
Punto 3	500	968.126	3.811.521	214.874	17,74
Punto 4	400	362.249	1.426.177	562.069	2,54
Punto 5	400	99.062	390.008	79.978	4,88

Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo N2. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 90% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Costo tubería forzada (\$)	Costo total del aprovechamiento (\$)	Energía generada (kWh)	Precio por energía (\$/kWh)
Punto 1	150	31.967	125.853	32.168	3,91
Punto 2	100	33.219	130.785	56.601	2,31
Punto 3	500	968.126	3.811.521	235.897	16,16
Punto 4	400	362.249	1.426.177	623.064	2,29
Punto 5	400	99.062	390.008	80.138	4,87

Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo N3. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 85% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Costo tubería forzada (\$)	Costo total del aprovechamiento (\$)	Energía generada (kWh)	Precio por energía (\$/kWh)
Punto 1	150	31.967	125.853	33.111	3,80
Punto 2	100	33.219	130.785	56.680	2,31
Punto 3	500	968.126	3.811.521	237.546	16,05
Punto 4	400	362.249	1.426.177	626.870	2,28
Punto 5	400	99.062	390.008	80.138	4,87

Nota. Elaboración propia (2023).

Anexo N4. Costo total del aprovechamiento por energía generada de cada punto de aprovechamiento para el 80% de garantía

Punto	Diámetro (mm)	Costo tubería forzada (\$)	Costo total del aprovechamiento (\$)	Energía generada (kWh)	Precio por energía (\$/kWh)
Punto 1	150	31.967	125.853	34.110	3,69
Punto 2	100	33.219	130.785	56.688	2,31
Punto 3	500	968.126	3.811.521	238.252	16,00
Punto 4	400	362.249	1.426.177	630.036	2,26
Punto 5	400	99.062	390.008	80.138	4,87

Nota. Elaboración propia (2023).