



UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL



**ANALISIS DE LA CAPACIDAD HIDROENERGÉTICA EN LOS
EMBALSES DE LA CUENCA DEL RIO UNARE UBICADO ENTRE EL
ESTADO GUARICO Y ANZOATEGUI**

Tutor Académico

DRA. Msc. Márquez Adriana

Autores:

Andrés Caspe C.I: 18.975.382
Alberto Anderi C.I: 20.315.039

Bárbula, Noviembre 2016

TUTOR ACADÉMICO: DRA. MSC. ADRIANA MÁRQUEZ

C.I: 12.604.007

Autores:

ANDRÉS CASPE

C.I: 18.975.382

ALBERTO ANDERI

C.I: 20.315.039

Bárbula, Noviembre 2016

Dedicatoria

A mis familiares, amigos y mi novia que sin su apoyo no hubiera podido sobrellevar los obstáculos presentes a lo largo de mi carrera.

Andrés Caspe

Agradecimientos

A Dios, porque sin él nada de esto hubiese sido posible.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad De Carabobo por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

A mis padres quienes siempre estuvieron siempre a mi lado tanto en las buenas y en las no tan buenas.

A mis familiares que en todo momento me brindaron su apoyo.

A mi novia, por ser una persona muy especial para mí. Brindándome fortalezas, estando allí cuando más la necesitaba y esforzándose por motivarme en las trabas que se presentaron en el Trabajo de grado.

A mis compañeros y amigos quienes confiaron en mí siempre, con quienes pasé divertidos e inolvidables momento, espero que nuestra amistad perdure en el tiempo.

A mi compañero Alberto Anderi por los momentos compartidos durante el proceso de culminación de nuestro trabajo de grado.

A la profesora Adriana Márquez por brindarnos la oportunidad. Muchas gracias.

Andrés Caspe

A mis familiares y amigos que sin su apoyo no hubiera podido sobrellevar los
obstáculos presentes a lo largo de mi carrera.

Alberto Anderi

Agradecimientos

A Dios, porque sin él nada de esto hubiese sido posible.

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad De Carabobo por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

A mis padres quienes siempre estuvieron siempre a mi lado tanto en las buenas y en las no tan buenas.

A mis familiares que en todo momento me brindaron su apoyo.

A mi novia, por ser una persona muy especial para mí. Brindándome fortalezas, estando allí cuando más la necesitaba y esforzándose por motivarme en las trabas que se presentaron en el Trabajo de grado.

A mis compañeros y amigos quienes confiaron en mí siempre, con quienes pasé divertidos e inolvidables momento, espero que nuestra amistad perdure en el tiempo.

A mi compañero Andrés Caspe por los momentos compartidos durante el proceso de culminación de nuestro trabajo de grado.

A la profesora Adriana Márquez por brindarnos la oportunidad. Muchas gracias.

Alberto Anderi



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL

ANALISIS DE LA CAPACIDAD HIDROENERGÉTICA EN LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL RIO UNARE UBICADO ENTRE EL ESTADO GUARICO Y ANZOATEGUI

Autores:

Caspe, Andrés, Anderi, Alberto.

Tutor:

Msc. Adriana Márquez.

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo analizar el potencial hidroeléctrico de los embalses de la cuenca del río Unare, Entre el estado Guárico y Anzoátegui,. A partir de este análisis, se realizó el diseño de una mini central hidroeléctrica para cada embalse estudiado.

Esta investigación se caracterizó por ser del tipo descriptiva, ya que a través de la recolección de datos fueron analizadas las variables hidroenergéticas del embalse; este estudio se llevó a cabo mediante el uso de un software estadístico, encontrando que las mismas han presentado poca variabilidad en el período 2011 – 2015. Por otro lado, este estudio se limitó solo al diseño de las obras que conforman el sistema de generación hidroeléctrica, no se toman en cuenta las áreas de influencia de la central en conjunto con los sistemas eléctricos de distribución asociados al embalse.

Palabras claves: mini central hidroeléctrica- variables hidroenergéticas-Embalses

Tabla de Contenidos

	PÁGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO I: EL PROBLEMA	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
FORMULACION DEL PROBLEMA	5
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
JUSTIFICACION	6
ALCANCE Y LIMITACIONES	7
CAPITULO II: MARCO TEORICO	8
ANTECEDENTES	8
BASES TEORICAS	10
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS (P.C.H)	14
COMPONENTES DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA (P.C.H)	15
MARCO LEGAL	27
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	32
TIPO DE INVESTIGACION	32
DISEÑO DE LA INVESTIGACION	33

POBLACION Y MUESTRA	33
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	34
FASES DE LA INVESTIGACION	34
1. FASE I: RECOLECCION DE DATOS	35
1.1. ETAPA I: REVISION BIBLIOGRAFICA	35
1.2. ETAPA II: SELECCIÓN DE LAS VARIABLES HIDRAULICAS DEL EMBALSE	35
1.3. ETAPA III: OPTENCION DE INFORMACION	35
2. FASE II: PROCESAMIENTO DE DATOS	48
2.1. ETAPA IV: OPTENCION DE VARIABLES	48
2.2. ETAPA V:	70
DISEÑO PRELIMINAR DE LAS PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE ACERDO A LAS VARIABLES DE LOS EMBALSES	
2.3. ETAPA VI: FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA DEL ESTUDIO.	76
3. FASE III: RESULTADOS	77
1.1. ETAPA VII: ANALISIS Y CONCLUSIONES.	77
CAPITULO IV: RESULTADOS	78
DESCRIPCION DE LAS VARIBLES HIDROENERGETICAS	78
Descripción de las variables hidroenergéticas del embalse El pueblito	79
Descripción estadística para la variable elevación de agua en el embalse El pueblito, Estado Anzoátegui	80
Descripción estadística para la variable volumen de agua del embalse El Pueblito, Estado Anzoátegui	85
Descripción estadística para la variable área del embalse <i>El Pueblito</i> , Estado Anzoategui	90

Descripción estadística para la variable Caudal del embalse <i>El Pueblito</i> , Estado Anzoátegui	94
Análisis comparativo	98
Series de tiempo para las variables hidroenergéticas	101
Serie de tiempo para los variables elevación, volumen y área	101
Resumen estadístico para las variables hidroenergéticas del embalse El Pueblito Estado Anzoátegui	102
Potencial Hidroeléctrico	103
Caudal disponible	103
Diseño de las obras civiles del sistema de generación hidroeléctrica en el Embalse El Pueblito, Estado Anzoategui	105
ALTERNATIVA I	105
Diseño del Túnel de Conducción	106
Diseño de la cámara de carga	110
Diseño de la Tubería Forzada	113
Diseño del túnel de desagüe	117
Diseño de la Turbina	119
Diseño de los elementos de la Turbina	122
Rodete	122
Carcasa	124
Tubo de Aspiración	126

ALTERNATIVA II	129
Diseño de la Tubería de empalme	131
Diseño del túnel de desagüe	132
Diseño de la Turbina	134
Selección de la Turbina	134
Parámetros para el diseño de la turbina	135
Diseño de los elementos de la turbina	135
Rodete	136
Carcasa	137
Tubo de Aspiracion	138
Diseño de la Casa de Maquinas	140
Análisis de factibilidad del Sistema de generación Hidroeléctrica propuesto para el Embalse El Pueblito, Estado Anzoategui	141
Alternativa I	141
Conclusiones	147
Recomendaciones	149
Referencias bibliográficas	151

Lista de figuras

	PAGINA
Capitulo II	
Figura 2.1 Gráfico de usos de los embalses en Venezuela.	11
Figura 2.2 Esquema general de un aprovechamiento hidroeléctrico a pequeña escala	15
Figura 2.3 Conversión de la energía hidráulica en eléctrica	17
Figura 2.4 Turbina Pelton	18
Figura 2.5 Turbina Francis	20
Figura 2.6 Esquema general del montaje de una turbina Francis	20
Figura 2.7 Turbina Kaplan	21
Figura 2.8 Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas	22
Figura 2.9 Altura neta vs velocidad específica	23
Capitulo III	
Figura 3.1 LandsatLook Viewer Home	36
Figura 3.2 Interface Features	38
Figura 3.3 Viewer zoomed into an area of interest. The Show Images button is activated .	39
Figura 3.4 Returned Query with Map Label icon circled in red	40
Figura 3.5 Metadata and Data Access	41
Figura 3.6 Query Results Table View: Displayed Images Only	42
Figura 3.7 Selected Scene in Table View	43

Figura 3.8 Set As Display Button in Table View	44
Figura 3.9 Landsat Visor.	45
Figura 3.10 Go to Cart button activated with Add to Cart buttonactivated	46
Figura 3.11 Cart with scene selected and buttons activated	47
Figura 3.12 EarthExplorer login page	47
Figura 3.13	49
Figura 3.14	49
Figura 3.15	50
Figura 3.16	51
Figura 3.17	52
Figura 3.18	53
Figura 3.19	53
Figura 3.20	54
Figura 3.21	54
Figura 3.22	55
Figura 3.23	55
Figura 3.24	56
Figura 3.25	56
Figura 3.26	57
Figura 3.27	57
Figura 3.28	58

Figura 3.29	59
Figura 3.30	59
Figura 3.31	60
Figura 3.32	60
Figura 3.33	61
Figura 3.34 StatWizard	62
Figura 3.35 Localización de datos	63
Figura 3.36 Libro de datos	63
Figura 3.37 Análisis de una variable	64
Figura 3.38 Resumen estadístico	65
Figura 3.39 Ventana de gráficas	65
Figura 3.40 Series de tiempo. Método descriptivo	66
Figura 3.41 Series de tiempo. Método descriptivo	66
Figura 3.42 Métodos descriptivos. Series de tiempo	67
Figura 3.43 Ajuste de distribuciones	68
Figura 3.44 Opciones de ajuste de distribución	68
Figura 3.45 Opciones de ajuste de distribución	69

Capítulo IV

Figura 4.1 <i>Elevación del agua en un embalse</i>	80
Figura 4.2 <i>Ajuste de distribuciones para la variable elevación de agua.</i>	81
Figura 4.3 <i>Dispersión para la variable elevación Embalse El pueblito</i>	83
Figura 4.4 <i>Histograma de frecuencia relativa para variable elevación Embalse El pueblito</i>	84
Figura 4.5 <i>Ajuste de distribuciones para la variable volumen</i>	85
Figura 4.6 <i>Distribución normal y distribución weibull para la variable volumen Embalse El Pueblito</i>	87
Figura 4.7 <i>Gráfico de dispersión para la variable volumen. Embalse El Pueblito</i>	88
Figura 4.8 <i>Histograma de frecuencia relativa para la variable volumen Embalse El Pueblito.</i>	89
Figura 4.9 <i>Ajuste de distribuciones para la variable área. Embalse El Pueblito</i>	91
Figura 4.10 <i>Dispersión para la variable área. Embalse El Pueblito</i>	92
Figura 4.11 <i>relativa para Histograma de frecuencia la variable área. Embalse El Pueblito</i>	93
Figura 4.12 <i>Ajuste de distribuciones para la variable área. Embalse El Pueblito</i>	95
Figura 4.13 <i>Densidad para la variable caudal de entrada. Embalse El pueblito</i>	96
Figura 4.14 <i>Dispersión para la variable caudal. Embalse El Pueblito</i>	97
Figura 4.15 <i>Histograma de frecuencia relativa para la variable caudal. Embalse El Pueblito</i>	97
Figura 4.16 <i>Diagrama de caja y bigotes para las variables elevación, volumen y área. Embalse El Pueblito</i>	100
Figura 4.17 <i>Serie de tiempo para las variables elevación, volumen y área. Embalse El Pueblito (2011-2015).</i>	101
Figura 4.18 <i>Función supervivencia para la variable caudal ecológico. Embalse El Pueblito</i>	104
Figura 4.19 <i>Pronósticos para la variable elevación Embalse El Pueblito</i>	105
Figura 4.20 <i>Ubicación de las obras civiles en el Embalse El Pueblito</i>	106
Figura 4.21 <i>Elevación de diseño del túnel de conducción</i>	107

Figura 4.22 <i>Diámetro, profundidad del agua y borde libre del túnel de conducción</i>	108
Figura 4.23 <i>Sección en planta de la cámara de carga</i>	112
Figura 4.24 <i>Sección en elevación de la cámara de carga</i>	113
Figura 4.25 <i>Diámetro, profundidad del agua y borde libre del túnel de desagüe</i>	118
Figura 4.26 <i>Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas</i>	120
Figura 4.27 <i>Montaje de los elementos a diseñar para la turbina Francis</i>	122
Figura 4.28 <i>Dimensiones del Rodete</i>	123
Figura 4.29 <i>Dimensiones de la carcasa</i>	125
Figura 4.30 <i>Dimensiones del tubo de aspiración</i>	127
Figura 4.31 <i>Posición del sistema electromecánico en eje vertical</i>	128
Figura 4.32 <i>Representación de la bifurcación de la tubería de abastecimiento</i>	129
Figura 4.33 <i>Ubicación de las obras civiles en el Embalse El Pueblito</i>	130
Figura 4.34 <i>Diámetro, profundidad del agua y borde libre del túnel de desagüe</i>	133
Figura 4.35 <i>Dimensiones del Rodete de la turbina</i>	136
Figura 4.36 <i>Dimensiones de la Carcasa</i>	137
Figura 4.37 <i>Dimensiones del tubo de aspiración</i>	139
Figura 4.38 <i>Posición del sistema electromecánico en eje horizontal.</i>	140
Figura 4.39 <i>Valor actual vs tasa mínima de rendimiento para la alternativa I</i>	146

Lista de tablas

	PAG
Capitulo II	
Tabla 2.1 Clasificación de Micro centrales eléctricas	14
Tabla 2.2 Clasificación de la turbina según su velocidad específica	23
Capitulo IV	
Tabla 4.1 Resumen estadístico para la variable elevación de agua	81
Tabla 4.2 Comparación de distribuciones alternas para la variable elevación de agua	82
Tabla 4.3 Frecuencia relativa de la variable elevación	84
Tabla 4.4 Resumen estadístico para la variable volumen	85
Tabla 4.5 Comparación de distribuciones alternas para la variable volumen	87
Tabla 4.6 Histograma de frecuencia relativa para la variable volumen	89
Tabla 4.7 Resumen estadístico para la variable área	90
Tabla 4.8 Histograma de frecuencia relativa para la variable área	91
Tabla 4.9 Resumen estadístico para la variable Caudal	93
Tabla 4.10 Comparación de distribuciones alternas para la variable caudal	94
Tabla 4.11 Histograma de frecuencia relativa para la variable área	96
Tabla 4.12 Comparación de coeficientes de variación de las variables nivel, volumen y área	98
Tabla 4.13 Resumen estadístico para las variables hidroenergéticas	102

Tabla 4.14 Dimensiones del túnel de conducción	107
Tabla 4.15 Elementos geométricos del túnel de conducción	108
Tabla 4.16 Características del flujo en el túnel de conducción	109
Tabla 4.17 Dimensiones de la cámara de carga	110
Tabla 4.18 Variables para determinar el volumen de la cámara de carga	111
Tabla 4.19 Variables para la determinación de la longitud total de la cámara de carga	111
Tabla 4.20 Variables para la obtención del ancho de la cámara de carga	112
Tabla 4.21 Variables para la obtención de la altura total de la cámara de carga	112
Tabla 4.22 Dimensiones de la tubería forzada	114
Tabla 4.23 Variables para la obtención del diámetro interno de la tubería forzada	114
Tabla 4.24 Variables para la obtención del espesor de la tubería forzada por golpe de ariete	115
Tabla 4.25 Pérdidas de carga en la tubería forzada	116
Tabla 4.26 Dimensiones del túnel de desagüe	117
Tabla 4.27 Elementos geométricos del túnel de desagüe	118
Tabla 4.28 Características del flujo en el túnel de desagüe	119
Tabla 4.29 parámetros para la selección de turbina	119
Tabla 4.30 Parámetros para el diseño de los elementos de la turbina	121
Tabla 4.31 Dimensiones del rodete	123

Tabla 4.32 Resumen de las dimensiones de la carcasa	124
Tabla 4.33 Dimensiones del tubo de aspiración	126
Tabla 4.34 Dimensiones de la casa de máquinas	128
Tabla 4.35 Parámetros de dimensionamiento de la tubería de empalme	131
Tabla 4.36 Perdidas de carga en la tubería forzada	132
Tabla 4.37 Dimensiones del túnel de desagüe	132
Tabla 4.38 Elementos geométricos del túnel de desagüe	133
Tabla 4.39 Características del flujo en el túnel de desagüe	134
Tabla 4.40 Parámetros para la selección de la turbina	134
Tabla 4.41 Parámetros para el diseño de los elementos de la turbina	135
Tabla 4.42 Dimensiones de rodete	136
Tabla 4.43 Dimensiones de la carcasa	137
Tabla 4.44 Dimensiones del tubo de aspiración	138
Tabla 4.45 Dimensiones de la casa de máquinas	140
Tabla 4.46 Costos de equipos y obras civiles que componen el sistema de generación hidroeléctrica. Alternativa I. Embalse El Pueblito	142
Tabla 4.47 <i>Costos de transporte e instalación turbina Francis. Alternativa I.</i> <i>Embalse El Pueblito.</i>	143
Tabla 4.48 <i>Costos de operación y mantenimiento Alternativa I.</i> <i>Embalse El Pueblito</i>	143
Tabla 4.49 <i>Total de inversión. Alternativa I. Embalse El Pueblito</i>	143

Tabla 4.50 Ingresos anuales estimados. Alternativa I. Embalse El Pueblito **144**

INTRODUCCION

En Venezuela actualmente estamos viviendo una de las mayores crisis eléctricas en la historia del país, esto producido en parte por el fenómeno del niño y la falta de alternativas en la generación de energía eléctrica nos han llevado a unos periodos de racionamientos molestos y problemáticos para toda la población.

En el país, gracias a su clima, se podrían utilizar diversas formas de generación de energía de forma ecológica, pero por la falta de inversión y visión de los gobernantes a lo largo de los años no hemos avanzado en el área de generación eléctrica.

A través de los años en el país se han construido muchos embalses multipropósitos que están en pleno funcionamiento y que cuentan con disponibilidad hidroenergetica, y han sido pocos los esfuerzos para lograr un aprovechamiento eficaz.

El propósito de este trabajo especial de grado es analizar la capacidad hidroenergetica de los embalses de la cuenca del rio Unare, como también, la factibilidad de instalar una pequeña central hidroeléctrica (P.C.H) en los embalses que cuenten con la capacidad.

Capítulo I, conformado por el planteamiento del problema, justificación, delimitaciones de la investigación, asimismo se plantean los objetivos a desarrollar.

Capítulo II, se presentan las bases teóricas y los antecedentes que sustentan dicha investigación.

Capítulo III, establece el marco metodológico y se define el tipo de investigación, desde la descripción de las fases hasta las técnicas de análisis.

Capítulo IV, se presentan, analizan y discuten los resultados obtenidos para cada uno de los objetivos planteados en la investigación.

Capítulo V, se muestran las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de investigación. Por último, se anexan ejemplos de cálculo correspondiente al procedimiento desarrollado para diseñar la pequeña central hidroeléctrica.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial la generación de energía es un tema importante, debido al aumento en la demanda de energía eléctrica y a la presencia de sistemas de generación poco eficientes y contaminantes, estos niveles de demanda se deben a altos crecimientos demográficos y al desarrollo industrial.

El uso de la energía no eficiente se agudiza en países menos desarrollados debido a la ausencia de políticas de planificación urbana.

Según la Internacional Energy Agency, por sus siglas en inglés, "IEA" (2007) el consumo eléctrico mundial se ha duplicado en los últimos 25 años y se estima que entre el año 2004 y el año 2030 el consumo registre un aumento entre el 46% y el 58% a un ritmo del 3% anual.

(Maria Jose Betancourt Castro, 2014), dice que

"Venezuela es el país con mayor consumo de energía eléctrica per cápita en Latinoamérica, según cifras de la Comisión de Integración Energética Regional (Cier). Cifras del Banco Mundial, del Instituto Nacional de Estadística (INE), de la Organización Latinoamericana de Energía y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), revelan que Venezuela cuenta con una generación neta de 4.179 kilovatios por hora por habitante (Kwh/hab), seguida de Chile (3.393 Kwh/hab), Argentina (2.860 Kwh/hab), Uruguay (2.750 kwh/hab), Brasil (2317 kwh/hab), México (1.999 Kwh/hab), Panamá (1.873 Kwh/ hab) y Costa Rica (1.854 Kwh/hab)."

Aunque Venezuela cuenta con una generación eléctrica de las mayores en la región, el principal problema es el alto consumo, debido al bajo costo del servicio de energía eléctrica.

En Venezuela las principales infraestructuras de generación de energía eléctrica son complejos hidroeléctricos ubicados en la región de Guayana, pero en las regiones centrales cada día son más comunes las plantas termoeléctricas, las cuales funcionan a base de combustibles fósiles que son poco eficientes y altamente contaminantes.

En los estados Guárico y Anzoátegui las fallas eléctricas son muy comunes causando problemas a los ciudadanos, actividad industrial, comercial y de servicios básicos y afectan la calidad de vida, la falta de atención de las instituciones a estos estados ha desmejorado de gran manera el servicio eléctrico y poniendo en peligro el suministro del servicio a sus habitantes.

En estos estados existen grandes zonas agrícolas que pueden verse afectadas en la falta de refrigeración de sus productos, y en la maquinaria agrícola, por la falla del servicio eléctrico, causando pérdida de dinero y de producción de alimentos necesarios tanto para esas zonas como para el resto del país.

Una posible solución para estos problemas es la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas que funcionan como sus similares a gran escala. La UNESCO en un taller sobre pequeñas centrales hidroeléctricas (PHC UNESCO, 97) relata el éxito de este tipo de centrales en países de sur américa como Brasil, Bolivia y Colombia, recomendando su implementación en todo el resto de Latinoamérica.

La cuenca del río Unare cuenta con 14 Embalses en los cuales se aplicara esta investigación para evaluar en cuál de ellos es posible la aplicación de estas pequeñas centrales, propiciando un ambiente ideal para el desarrollo de la energía hidráulica.

FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Qué características tienen las variables hidroenergeticas de los embalses de la cuenca del río Unare?

¿Cuál sistema de generación hidroeléctrica se adapta a los embalses de la cuenca del río Unare?

¿Cuál es el monto estimado de inversión que se requiere para la instalación de los sistemas de generación hidroeléctrica en los embalses de la cuenca del río Unare?

OBJETIVO GENERAL

Analizar la capacidad hidroenergetica de los embalses de la cuenca del río Unare.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir las variables hidroenergeticas de los embalses de la cuenca del río Unare.
- Diseñar el sistema de generación hidroeléctrica.
- Analizar la factibilidad económica del sistema de generación hidroeléctrica.

JUSTIFICACION

Actualmente en el país existen constantes fallas en la red eléctrica nacional, los problemas de generación, de distribución, los bajos precios de los servicios, el poco mantenimiento a los sistemas y el gran crecimiento de la población crean una alta demanda eléctrica que la red actual no puede satisfacer, si no se toman medidas inmediatas serán un grave problema para el avance de la sociedad venezolana debido a que la energía es un factor fundamental en el desarrollo económico, industrial y, consecuentemente, social y político.

Una distribución y generación eléctrica eficiente genera bienestar en la sociedad pues permite mejoras en el área tecnológica, aumento de la comodidad y seguridad en la comunidad.

El estudio de los embalses de la cuenca del río Unare, ubicado entre los estados Guárico y Anzoátegui, se realiza para analizar su capacidad hidroeléctrica como paso previo para plantear la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas como fuente alterna o de soporte para la generación de energía eléctrica en la zona.

Esta investigación pretende convertirse en herramienta para ser considerada como base en la realización de futuros proyectos hidroenergéticos que se diseñen en las casas de estudios del país, así como en los organismos gubernamentales encargados de tales tareas.

La elaboración de proyectos de este tipo, es una muestra del compromiso eco-social de casas de estudios como la universidad de Carabobo y sus estudiantes con su comunidad y el aporte a la solución de problemas presentados en el país.

ALCANCE

Esta investigación está enfocada en los embalses de la cuenca del río Unare, el diseño de los equipos de generación de energía se utilizaran como soporte a la red eléctrica principal.

No se tomara en cuenta demandas eléctricas de los estados Guárico y Anzoátegui, ni la situación actual con respecto a fallas eléctricas del estado, solo se propone suministrar el estudio de los embalses así como el diseño de unas pequeña centrales hidroeléctrica que mejor se adapten a las variables hidroenergeticas de estos.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

Este capítulo presentara los antecedentes de la investigación, así como las bases teóricas y conceptos que serán utilizados en la misma.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

Camacho G. y Carrillo A. (2000).“**Estudio de factibilidad de instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas en el estado Amazonas**”, estudio de factibilidad de abastecimiento eléctrico a las poblaciones de San Fernando de Atabapo, Maroa, San Carlos de Río Negro y San Juan de Manapiare, ubicadas en el Estado Amazonas, mediante el equipamiento de pequeñas centrales hidroeléctricas. También se calculó el costo del kilovatio instalado y del kilovatio hora generado para la P.C.H y para la opción de generación con plantas térmicas, y se determinó que para una tasa de descuento menor o igual al 10% el proyecto de la P.C.H. presenta un menor costo, que la planta diesel.

Este trabajo es de gran aporte en la metodología para la selección de la turbina hidráulica y el diseño de la P.C.H.

Arreaza C y Alex D. (2008). “**Estudio de factibilidad para la instalación de generación distribuida en la electricidad de Caracas**”. La finalidad de este trabajo, era determinar las condiciones bajo las cuales se justifica la aplicación de generación distribuida (GD).Para esto, se analizaron las experiencias obtenidas en aplicaciones previas de generación

distribuida en el país, luego se seleccionaron las tecnologías que mejor se adaptaban al tipo de aplicación requerida.

Este estudio contribuyó en cuanto a las maneras alternas de generar energía eléctrica a pequeña escala y sirvió como referencia para comparar económicamente estas formas alternas de generación eléctrica.

Terra R. y Schenzer D. (2013). “**Factibilidad De Pequeñas Centrales Hidroeléctricas En Presas Multipropósito**”, cuyo objetivo era determinar la pre-factibilidad de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH) en nuevas presas multipropósito con uso prioritario de riego y subsidiario de generación hidroeléctrica. Para ello se seleccionaron los proyectos de presas de riego más promisorios en Uruguay, y de acuerdo a los casos seleccionados se aplicó un análisis de pre-factibilidad técnica, ambiental y económica de los proyectos, el cual comprendió la caracterización de la cuenca de aporte y del embalse, la estimación de la disponibilidad energética media, la evaluación de aspectos socio-ambientales, el pre-diseño de la obra civil, la estimación del costo de inversión y el análisis del retorno de la inversión.

Esta investigación contribuyó en cuanto a cómo se deben estudiar las variables hidroenergéticas.

Gonzales C. y Rebolledo M. (2015). “**Análisis de capacidad Hidroenergética de los embalses del estado Lara**”, el objetivo era analizar el potencial hidroeléctrico de uno de los cuatro embalses ubicados en el estado Lara, como es el llamado “Dos Cerritos” cuyo propósito es el abastecimiento de agua potable. Además, se anexa el diseño de una P.C.H, determinándose al mismo tiempo su costo y factibilidad técnica.

De esta investigación se analizó su marco metodológico como referencia para el procedimiento de implementación de las P.C.H.

Gonzales N. y Hoyle M. (2016) “**Análisis de la capacidad hidroenergetica del embalse El Pueblito, estado Anzoategui**”, el objetivo era analizar el potencial hidroeléctrico del embalse El Pueblito en el estado Anzoategui, quien suministra agua potable a los estados Anzoategui Y Guarico. A partir de este análisis, se realizó el diseño de una minicentral hidroeléctrica para cada una de las alternativas planteadas.

De esta investigación se analizó su marco metodológico y teórico como referencia para el procedimiento de implementación de las P.C.H.

BASES TEÓRICAS

A continuación se describen las bases teóricas que abarcaron esta investigación.

Embalse

Un embalse es el volumen de agua acumulado de manera natural o por la construcción de una presa, formando un lago artificial, que puede tener como objetivo la regulación de los cauces fluviales, el accionamiento de centrales hidroeléctricas o la acumulación de agua potable o de regadío, es decir el aprovechamiento racional e intenso de los recursos hidráulicos.

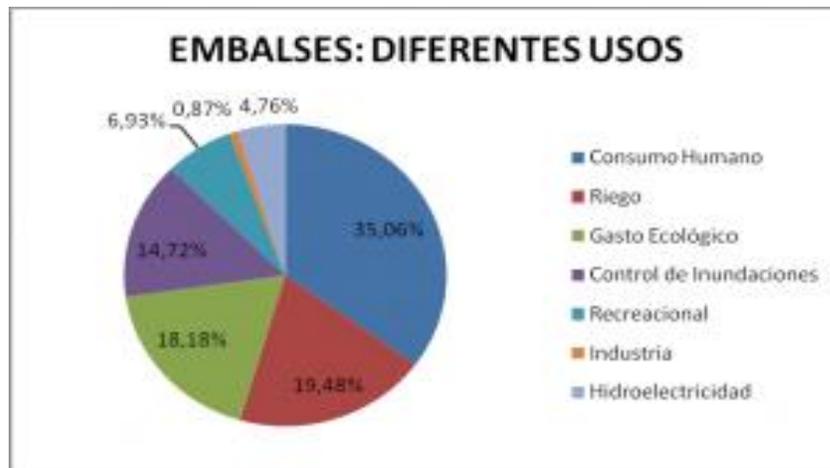


Figura 2.1. Gráfico de usos de los embalses en Venezuela. **Fuente:** MINEA (ministerio del poder popular para el ecosocialismo y aguas)

Característica de los embalses

Las características físicas principales de un embalse son las curvas cota-caudal, la curva cota-superficie inundada, la curva cota-capacidad y el caudal regularizado.

Dependiendo de las características del lugar de construcción, si este es amplio y abierto, las áreas inundables pueden ocupar zonas densamente pobladas, o áreas fértiles para la agricultura. Antes de construir la presa debe evaluarse muy objetivamente las ventajas y desventajas de dicha construcción, mediante un estudio de impacto ambiental, cosa que no siempre se ha hecho en el pasado.

En otros casos, especialmente en zonas altas y abruptas, el embalse ocupa tierras deshabitadas, en cuyo caso los impactos ambientales son limitados o inexistentes.

Niveles y volúmenes característicos de los caudales de los embalses

Desde el punto de vista de la operación de los embalses, se definen una serie de niveles. Los principales son (en orden creciente):

Nivel de embalse muerto: Es el nivel mínimo de agua en el embalse, coincide con el nivel mínimo de la toma situada en la menor cota, y el volumen almacenado hasta alcanzar el nivel muerto se define como volumen muerto.

Nivel mínimo de operación del embalse: Delimita el volumen generado por la altura mínima del agua necesaria para el correcto funcionamiento de toma de agua. El volumen de operación es el comprendido entre el nivel mínimo muerto y el nivel mínimo Operacional.

Volumen útil: Es aquel que está delimitado entre el volumen mínimo operacional y el Volumen normal

Nivel normal de agua del embalse: Delimita superiormente al volumen útil del embalse.

Volumen forzado: Es el volumen comprendido entre el nivel normal operacional y el nivel Máximo del agua. Este volumen, como su nombre indica, se utiliza para reducir el caudal vertido en las avenidas, para limitar los daños aguas abajo.

Nivel máximo de agua del embalse: se presenta temporalmente durante la creciente de los ríos dando lugar al volumen forzado del embalse pero por lo general es evacuado rápidamente por medio del aliviadero.

Caudales característicos de un embalse

Caudal firme: Es el caudal máximo que se puede retirar del embalse en un período crítico. Si el embalse ha sido dimensionado para compensar los caudales a lo largo de un año hidrológico, generalmente se considera como período crítico al año hidrológico en el cual se ha registrado el volumen aportado mínimo. Sin embargo, existen otras definiciones para el período crítico también aceptadas, como, por ejemplo, el volumen anual de aporte hídrico superado en el 75 % de los años, que es una condición menos crítica que la anterior.

Caudal regularizado: Es el caudal que se puede retirar del embalse durante todo el año hidrológico, asociado a una probabilidad.

Curvas características de un embalse

Curvas Cota-Caudal: Es la curva que establece la relación entre el tirante de agua o cota del agua con el caudal líquido en la misma sección. La determinación de la curva se efectúa efectuando Medidas de velocidades del flujo, en forma directa, para diversos tirantes de agua.

Curvas Cota-Superficie inundada o Curva Cota-Área inundada: Esta curva tiene múltiples usos tanto en la fase de planificación de un proyecto de embalse, al permitir estimar, para cada cota de coronamiento de la presa el área a ser expropiada, como, para la fase de operación, poder estimar las pérdidas del embalse por Evaporación.

Curvas Cota-Volumen o Curva Cota-Capacidad: Esta curva tiene múltiples usos tanto en la fase de planificación de un proyecto de embalse, al permitir estimar, para cada cota de coronamiento de la presa el caudal que

puede ser regularizado, como, para la fase de operación, poder estimar las descargas seguras tomando en cuenta la disponibilidad hídrica de la cuenca.

PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (P.C.H)

Una pequeña central hidroeléctrica es una instalación donde se utiliza la energía hidráulica para generar reducidas cantidades de electricidad, desde 5 kW hasta 5.000kW aproximadamente, por medio de un o varios grupos de turbina-generator.

Son, además, un sistema de energía en el que se conjugan diversos elementos de la compleja relación energía-tecnología-sociedad.

Tabla 2.1. Clasificación de Micro centrales eléctricas.

	Rango de potencia KW	Salto m		
		B ajo	Medio	alto
Micro centrales	5-50	< 15	15-50	50>
Mini centrales	50-500	< 20	20-100	100>
Pequeñas centrales	500-5.000	< 25	25-130	130>

Fuente: Estudio de factibilidad de instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas en el estado Amazonas Carrillo G, Camacho A (2000)

COMPONENTES DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA (P.C.H)

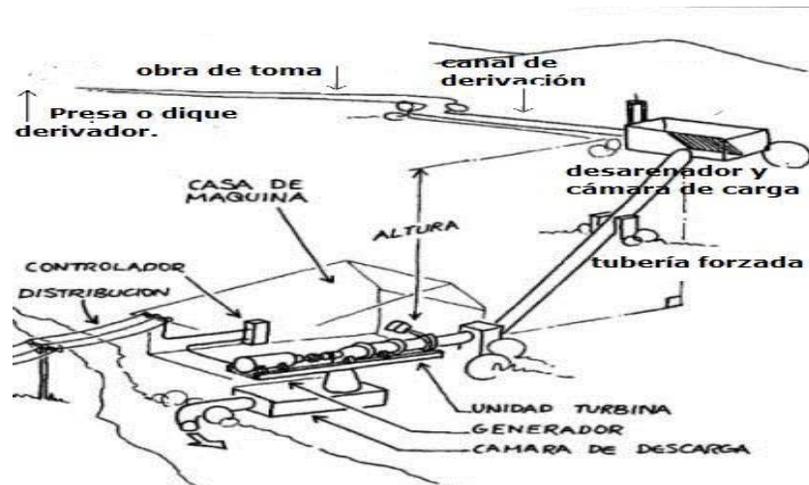


Figura 2.2. Esquema general de un aprovechamiento hidroeléctrico a pequeña escala.
Fuente: **Estudio de factibilidad de instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas en el estado Amazonas** Carrillo G, Camacho A (2000).

Presa o dique derivador: Se construye para cerrar una garganta y conformar el vaso de almacenamiento en aquellos desarrollos con regulación.

Obra de Toma: toda estructura hidráulica construida sobre el cauce de un río o canal con el fin de captar parcialmente el agua que acarrea.

Canal de derivación: Es un cauce artificial, el cual tiene por finalidad llevar las aguas desde la obra de toma hasta la cámara de presión, en forma tal que éstas ganen progresivamente energía potencial respecto al cauce del río.

Desarenador y Cámara de presión: Tiene como función retener ciertas partículas sólidas, especialmente arenas, transportadas por la turbulencia de

las aguas, evitando así que pasen a la tubería forzada y de allí a las turbinas, donde podrían ocasionar daños importantes.

Tubería Forzada: Es un conducto a presión que conduce las aguas desde la cámara de presión hasta las turbinas.

Casa de máquinas: Es el recinto que alberga los equipos electromecánicos que realizan la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica.

Canal de restitución: tiene por función entregar nuevamente al cauce natural las aguas turbinadas.

Línea de transmisión y red de distribución de energía eléctrica: Tiene la función de transportar la energía eléctrica desde la casa de máquinas hasta el centro de consumo.

Turbinas hidráulicas: Es una turbo-máquina hidráulica, en el cual el trabajo mecánico proviene de la variación de la cantidad de movimiento del agua al fluir a través de un sistema de álabes rotativos.

La turbina hidráulica es el elemento clave de la mini central. Aprovecha la energía cinética y potencial que contiene el agua, transformándola en un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica.

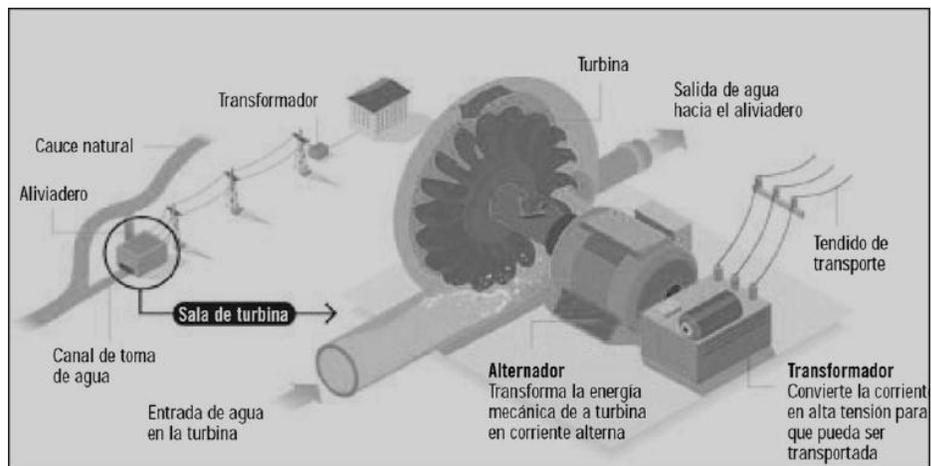


Figura 2.3. Conversión de la energía hidráulica en eléctrica

Fuente: http://cef.uca.edu.sv/descargables/2011_12_cursoMAGMA/pequenas_centrales_hidroelectricas.pdf (2011)

- **Turbina Pelton**

Es una turbina de acción de flujo tangencial diseñada en 1880 por el norteamericano L. A. Pelton quien modificó y perfeccionó la rueda de cucharas diseñada por el suizo Zuppinger en 1846. Se le conoce también bajo el nombre de turbina de chorro libre o de impulso.

Es una turbina que se emplea en saltos elevados que tienen poco caudal. Esta aprovecha únicamente la velocidad del flujo de agua para hacerla girar. Está formada por un rodete (disco circular) móvil con alabes (cazoletas) de doble cuenco.

El chorro de agua entra en la turbina dirigido y regulado por uno o varios inyectores, incidiendo en los alabes y provocando el movimiento de giro de la turbina.

Estas turbinas tienen una alta disponibilidad y bajo coste de mantenimiento, además de que su rendimiento es bastante alto (superior al

90% en condiciones de diseño: presenta una curva de rendimiento bastante plana con un rendimiento superior al 80% para un caudal del 20% del nominal).

Las posibilidades que ofrece este tipo de máquina hacen que sea muy apropiada para operar con carga parcial, además de permitir una amplia variación de caudales en su funcionamiento. Se puede instalar con eje o vertical, y con uno o varios inyectores.

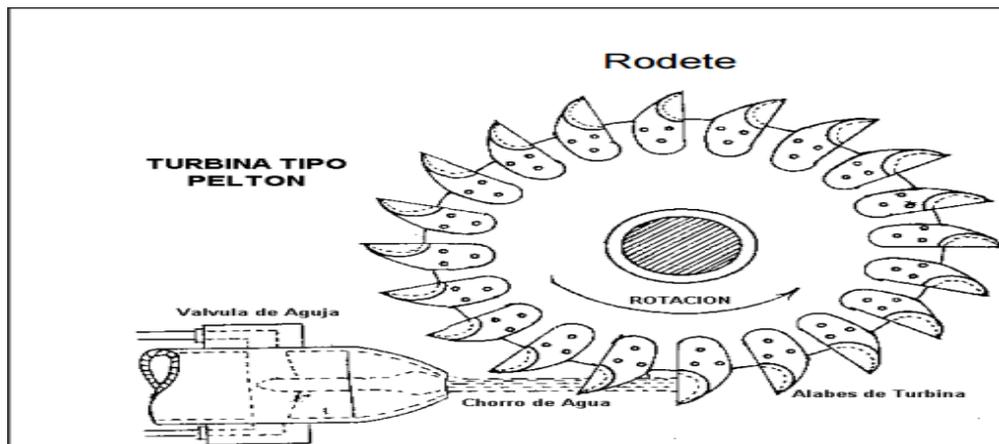


Figura 2.4. Turbina Pelton

Fuente: http://blanca-sa.wix.com/elena_fran-energia-hidraulica#!_page-

6

Turbina Francis

Es una turbina de reacción de flujo radial diseñada en 1849 por el inglés J.B. Francis el cual perfeccionó la tubería centrípeta patentada en 1838 por S. Dowd. Esta turbina se adapta muy bien a todo tipo de saltos y caudales, y cuenta con un rango de utilización muy grande. Se caracteriza por recibir el fluido de agua en dirección radial, y a medida que esta recorre la máquina hacia la salida se convierte en dirección axial.

El rendimiento de las turbinas Francis es superior al 90% en condiciones óptimas de funcionamiento. Permite variaciones de caudales entre el 40% y el 105% del caudal de diseño, y en salto entre 60% y el 125% del nominal. Los elementos que la conforman son los siguientes:

Distribuidor: Contiene una serie de alabes fijos y móviles que orientan el agua hacia el rodete

Rodete: Formado por una corona de paletas fijas, con una forma tal que

$$D3 = \frac{84,5 \Phi \sqrt{Hn}}{n} \quad 2.27$$

cambian la dirección del agua de radial a axial.

Dónde:

D3 = Diámetro de descarga del rodete

Hn = Altura neta (m)

Φ = Coeficiente de velocidad periférica

Carcasa: Puede ser abierta o cerrada, y tiene forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.

Tubo de aspiración o de salida de agua: Puede ser recto o acodado, y cumple la función de mantener la diferencia de presiones necesaria.

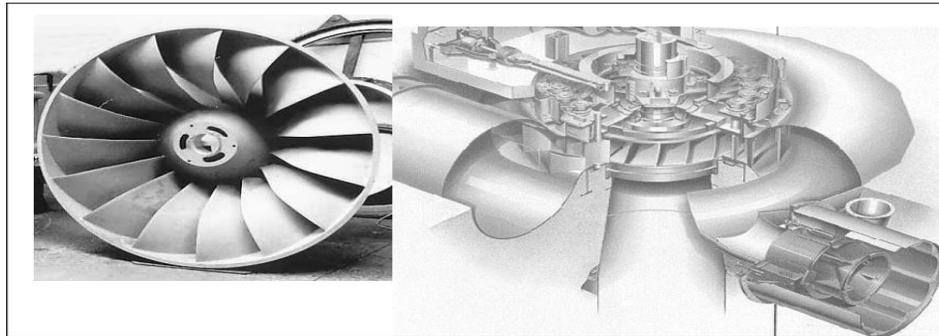


Figura 2.5. Turbina Francis

Fuente: <http://www.leitzaran.net/centrales/hidraulicas.pdf>

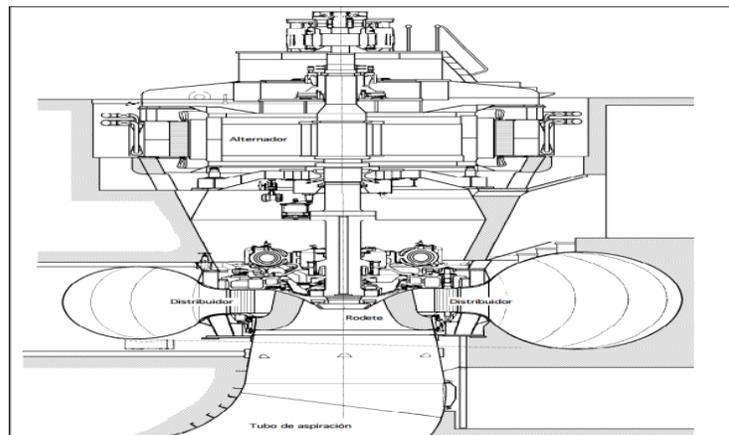


Figura 2.6. Esquema general del montaje de una turbina Francis

Fuente: <http://ingenieriaetica.blogspot.com/2015/09/turbinas-hidraulicas.html>

- Turbinas Kaplan y semi – Kaplan

La turbina Kaplan, diseñada en 1912 por el Checo V. Kaplan, quien ideó un mecanismo para ajustar el ángulo de ataque de los alabes del rotor de las ya existentes turbinas de hélice, en conjunto con la turbina semi – Kaplan, son de reacción de flujo axial. Las turbinas Kaplan son de admisión radial, mientras que las semi – Kaplan pueden ser de admisión radial o axial

Las turbinas Kaplan son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación, poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona la posibilidad de funcionar en un rango mayor de caudales. Además incorpora un distribuidor regulable que le da un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a cambio de una mayor complejidad y un coste más elevado.

El rendimiento es de aproximadamente el 90% para el caudal nominal y disminuye a medida que nos alejamos de él. Este tipo de turbinas se emplean generalmente para saltos pequeños y caudales variables o grandes.

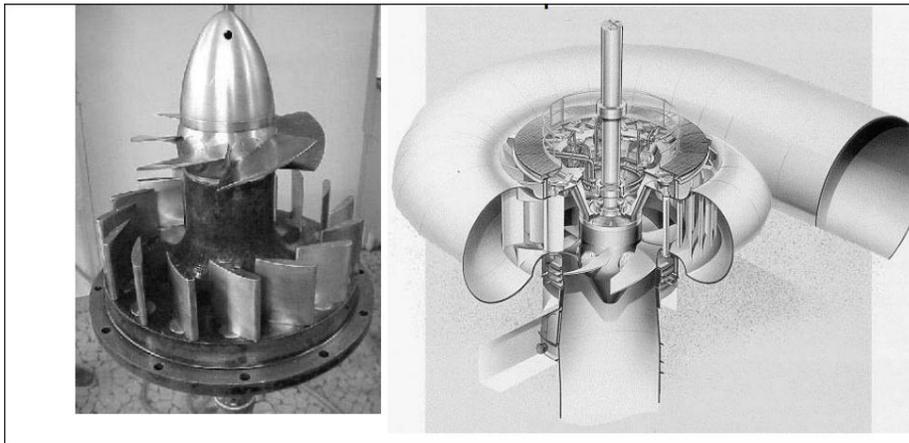


Figura 2.7. Turbina Kaplan

Fuente: <http://www.leitzaran.net/centrales/hidraulicas.pdf>

Para la selección del tipo de turbina a utilizar, se hace uso de la gráfica Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas, mostrada en la Figura 23

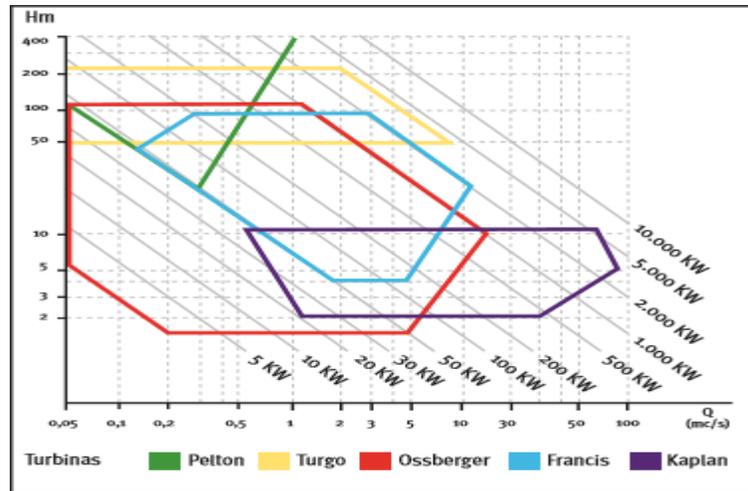


Figura 2.8. Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas

Fuente: Minicentrales hidroeléctricas (2006)

Velocidad específica, velocidad sincrónica de rotación, coeficiente de velocidad periférica polos y velocidad específica adimensional.

Velocidad específica: La velocidad específica (n_s), es el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se trata de buscar y que entrega una potencia de un caballo, al ser instalada en un salto de altura unitaria. Esta velocidad específica, rige el estudio comparativo de la velocidad de las turbinas, y es la base para su clasificación. A continuación se muestra en la Figura 24 los límites de velocidad específica para las turbinas axiales y Francis.

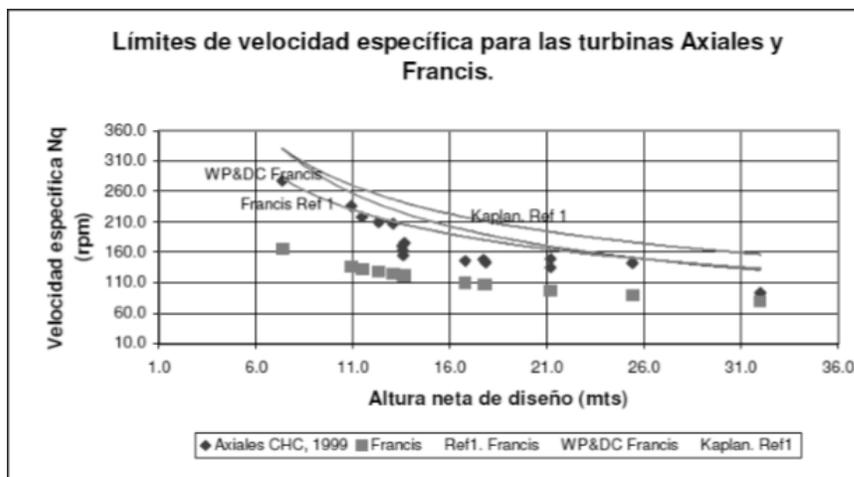


Figura 2.9. Altura neta vs velocidad específica.

Fuente: López. J (1999).

Velocidad específica N_s	Tipo de Turbina
De 5 a 30	Pelton con un inyector
De 30 a 50	Pelton con varios inyectores
De 50 a 100	Francis lenta
De 100 a 200	Francis normal
De 200 a 300	Francis rápida
De 300 a 500	Francis doble gemela rápida o express
Más de 500	Kaplan o hélice

Tabla 2.2:

Clasificación de la turbina según su velocidad específica

Fuente: Rodríguez y López (2006)

Velocidad sincrónica de rotación: Generalmente las turbinas se emplean para mover generadores eléctricos síncronos, a los que se acoplan rígidamente sobre un mismo eje. La velocidad de giro la determinan condiciones hidráulicas, de acuerdo con la carga y el caudal, pero es preciso hacer el reajuste final teniendo en cuenta ciertas condiciones eléctricas. El

generador síncrono es una máquina de corriente alterna excitada por corriente directa, existiendo una relación constante entre la frecuencia de la corriente y la velocidad de giro de la máquina, que da el número de pares de polos del rotor. Esta velocidad puede calcularse mediante la ecuación 2.28.

$$n = \frac{n_s \times H_{neta}^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{P_{util}}} \quad 2.28$$

Dónde:

n = Velocidad sincrónica de rotación (rpm)

n_s = Velocidad específica (rpm)

H_{neta} = Altura neta (m)

P_{util} = Potencia de diseño (kW)

La velocidad síncrona ha de ser rigurosamente constante para mantener constante la frecuencia (F) de la intensidad de corriente generada, donde esta velocidad dependerá de número de pares de polos del alternador, mediante la ecuación

$$n = \frac{60.F}{P} \quad 2.29$$

Dónde:

n = Velocidad síncrona de rotación (rpm)

F = Frecuencia (Hz)

P = Polos

Coefficiente de velocidad periférica: Las leyes de similaridad aplicadas a las turbinas hidráulicas muestran que con la misma velocidad específica, la velocidad periférica permanece constante. La velocidad periférica es la relación existente entre la velocidad angular y la velocidad tangencial y viene dada por la siguiente ecuación:

$$\Phi = 0,31 + 2,5 \times 10^{-3}n_s \quad 2.30$$

Dónde:

Φ = Coeficiente de velocidad periférica

n_s = Velocidad específica (rpm)

Velocidad específica adimensional: Esta velocidad es adimensional y se utiliza para saber las características de la turbina en cuanto a velocidad. El cálculo se realiza mediante la ecuación 2.31.

$$\Omega_s = \Omega \times \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{(g \times Hn)^{\frac{3}{4}}}$$

2.31

Clasificación según la forma de utilización: Según su forma de utilización las pequeñas centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de acuerdo a:

- Su captación: Pueden ser de paso o con embalse.
- Su operación: Puede ser de operación continua con una disponibilidad de 24 hr/día todo el año, o discontinua con operación de tiempo parcial.
- Su regulación: Esta puede ser regulable de forma manual o automática o de carga constante donde el exceso se disipa.
- Su vinculación al sistema eléctrico: En este rango se tienen centrales aisladas y centrales integradas o interconectadas
- Su concepción tecnológica: Se tienen centrales con tecnologías convencionales (según normas de países industrializados) y centrales con tecnologías no convencionales (según tecnología local adecuada a las condiciones del país)

MARCO LEGAL

La presente investigación se enmarca dentro de la ley orgánica del servicio eléctrico (Gaceta oficial N° 39.573 del 14 de diciembre de 2010) en sus artículos:

TÍTULO I

DISPOSICIONES FUNDAMENTALES

Capítulo I

Principios Rectores y Aspectos Fundamentales

Artículo 10. Soberanía Tecnológica. El Estado, atendiendo al principio de soberanía tecnológica, dictará medidas que propicien la inversión nacional para fortalecer el sector eléctrico, mediante la creación y consolidación de empresas, cooperativas o asociaciones del Poder Popular que construyan obras, produzcan y suministren bienes y servicios que sirvan de insumos a las actividades del Sistema Eléctrico Nacional. El operador y prestador del servicio a que se refiere esta Ley deberá privilegiar en sus procesos de contratación la participación efectiva de talento humano y la adquisición de bienes y servicios nacionales en las actividades del Sistema Eléctrico Nacional. El estado, a través del operador y prestador del servicio a que se refiere esta ley, podrá conformar empresas mixtas destinadas a la

construcción de obras, producción y suministro de bienes y servicios que sirvan de insumos a las actividades del Sistema Eléctrico Nacional. A tal efecto, el Estado se reservará el control de las decisiones y operación de las mismas, al mantener una participación no menor del sesenta por ciento (60%) de su capital social.

Capítulo II

De la Planificación para la Prestación del Servicio Eléctrico.

Artículo 18. Desarrollo de áreas estratégicas y uso racional y eficiente de fuentes primarias. La Planificación de las actividades del Sistema Eléctrico Nacional para la prestación del servicio estimulará el desarrollo de áreas estratégicas y el uso racional y eficiente de las fuentes primarias de producción de energía eléctrica, sin perjuicio de las áreas pobladas, agrícolas, forestales, mineras y bajo régimen de administración especial, conforme a los principios rectores, con sujeción a la presente ley, su reglamento y la legislación aplicable.

Artículo 21. Contenido del Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico

Nacional. El Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional se enmarcará en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social de la Nación, en concordancia con los lineamientos de política económica, energética y ordenamiento territorial del Estado. Contendrá, al menos:

1. Políticas de desarrollo del sector, con especial atención a las áreas no servidas.
2. Estimación de la demanda eléctrica nacional.

3. Estrategias y proyectos para la expansión del Sistema Eléctrico Nacional.

4. Acciones orientadas a impulsar el uso de las fuentes alternativas de energía, renovables y ambientalmente sostenibles.

5. El uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

6. Las demás que el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica considere necesarias

TÍTULO II

DE LAS PERSONAS QUE INTERVIENEN EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO ELÉCTRICO

Capítulo V

De la Participación.

Artículo 40. Apoyo de las instituciones de educación y centros de investigación. Las instituciones de educación y los centros de investigación apoyarán al Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica, al operador y prestador del servicio y a las organizaciones del Poder Popular, para el desarrollo del sector eléctrico. Asimismo, el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica y el operador y prestador del servicio deberá colaborar con las instituciones de educación superior en las pasantías, trabajos de grado, tesis, entre otros, afines al sector eléctrico.

Artículo 41. Mesas Técnicas de Energía. Las Mesas Técnicas de Energía como integrantes de la estructura del Poder Popular, tienen la responsabilidad de participar en la planificación para la prestación del servicio eléctrico en sus comunidades, para lo cual el operador y prestador

del servicio debe asistirles en la definición de las características y especificaciones técnicas requeridas para la elaboración de proyectos relacionados con sus necesidades.

TÍTULO III

DE LAS ACTIVIDADES DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO

Capítulo I

De la Generación, Transmisión y Despacho del Sistema Eléctrico

Artículo 44. Generación en Sistemas Independientes. El operador y prestador del servicio eléctrico es el encargado de la instalación y operación de las plantas de generación en sistemas independientes, dándose prioridad al empleo de fuentes alternativas de energía y de bajo impacto al ambiente, de conformidad con el Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional y demás normas vigentes.

De igual manera esta investigación también estará enmarcada bajo la Ley Orgánica Del Ambiente (Gaceta Oficial N°5.833 viernes 22 de diciembre de 2006) en sus artículos:

TÍTULO III

DE LA PLANIFICACIÓN DEL AMBIENTE

Capítulo I

De la Planificación del Ambiente

Artículo 22. Finalidad. La planificación del ambiente constituye un proceso que tiene por finalidad conciliar el desarrollo económico y social con la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable.

Artículo 23. Lineamientos para la planificación del ambiente. Los lineamientos para la planificación del ambiente son:

1. La conservación de los ecosistemas y el uso sustentable de éstos asegurando su permanencia.

2. La investigación como base fundamental del proceso de planificación, orientada a determinar el conocimiento de las potencialidades y las limitaciones de los recursos naturales, así como el desarrollo, transferencia y adecuación de tecnologías compatibles con desarrollo sustentable.

3. La armonización de los aspectos económicos, socioculturales y ambientales, con base en las restricciones y potencialidades del área.

4. La participación ciudadana y la divulgación de la información, como procesos incorporados en todos los niveles de la planificación del ambiente.

5. La evaluación ambiental como herramienta de prevención y minimización de impactos al ambiente.

6. Los sistemas de prevención de riesgos para garantizar su inserción en los planes nacionales.

Artículo 24. Dimensión ambiental. La planificación del ambiente forma parte del proceso de desarrollo sustentable del país. Todos los planes, programas y proyectos de desarrollo económico y social, sean de carácter nacional, regional, estatal o municipal, deberán elaborarse o adecuarse, según proceda, en concordancia con las disposiciones contenidas en esta Ley y con las políticas, lineamientos, estrategias, planes y 40 programas

ambientales, establecidos por el ministerio con competencia en materia de ambiente

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el tipo y diseño de investigación y las técnicas de análisis de datos, igualmente se presenta el procedimiento metodológico utilizado para el

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Clasificar la investigación es importante, del tipo de estudio dependerá la estrategia de investigación. El diseño, los datos que se recolectan y la manera de obtenerlos, son distintos de acuerdo al tipo de estudio en el que estén enmarcados.

La investigación descriptiva, tal como lo señala Fideas G. Arias (2006) "La investigación descriptiva" consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento". Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los se requiere.

En base a esta definición podemos afirmar que nuestra investigación es descriptiva, debido a que se busca a través de la obtención de datos, analizar la capacidad hidroenergética de los embalses del estado Anzoátegui

y del mismo modo a través de esos datos se hará el diseño de una pequeña central hidroeléctrica.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a Fidias G. Arias (2006), la investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna, es decir el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. El presente estudio, apoya esta metodología de investigación de campo, ya que los datos recopilados para el estudio de las variables a considerar se obtienen del sitio donde se desea realizar el estudio.

Por otro lado, Hernández et al. (2010), establecen que el diseño de investigación no experimental (documental, de campo y mixta) es aquel que se realiza sin manipular intencionalmente las variables, realizando una observación de los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

POBLACIÓN Y MUESTRA

Behar (2008) afirma:

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Se puede decir que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus necesidades al que llamamos población. De la población es conveniente extraer muestras representativas del universo. Se debe definir en el plan y, justificar, los universos en estudio, el tamaño de la muestra, el método a utilizar y el proceso de selección de las unidades de análisis. En realidad, pocas veces es posible medir a la población por lo que obtendremos o seleccionaremos y,

desde luego, esperamos que este subgrupo sea un reflejo fiel de la población.

Por otra parte Arias (2006) expresa que “La población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan, a los elementos o unidades a los que se refiere la investigación” y “la muestra es un subconjunto de la población”. Por tratarse del diseño de una central de generación hidroeléctrica, estos dos aspectos se conjugan en uno solo, es decir, la población y la muestra se definen como una sola unidad.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Behar (2008) expresa: “La investigación no tiene sentido sin las técnicas de recolección de datos. Estas técnicas conducen a la verificación del problema planteado. Cada tipo de investigación determinará las técnicas a utilizar y cada técnica establece sus herramientas, instrumentos o medios que serán empleados”. En base a esta definición, para este trabajo de investigación se utilizó como técnica de recolección de datos, la observación, mediante la tabulación de los datos diarios tomados en el embalse en estudio.

FASES DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto estará estructurado metodológicamente por 3 Fases, las cuales se mencionan a continuación:

Fase I: Recolección de datos

Etapa I: Revisión bibliográfica

En esta primera etapa se hará una revisión exhaustiva en trabajos de investigación, texto de consulta y documentos publicados en la red sobre estudios previos sobre uso de fuentes alternas de energía, priorizando la energía hidráulica, de igualmente se investigarán casos donde las pequeñas centrales hidroeléctricas hayan sido aplicadas de manera satisfactoria.

Etapa II: Selección de las variables hidráulicas de los embalses

En esta fase se diagnosticaran las variables hidráulicas a fin de que permitan el análisis energético de cada uno, así como su capacidad.

En esta investigación las variables seleccionadas son área (Ha), Nivel de agua (Hm³), Volumen (m³) y caudal (m³/s).

Etapa III: Obtención de información

En esta tercera etapa se procede a estudiar las variables a obtener mediante imágenes satelitales descargadas de la siguiente dirección (<http://landsatlook.usgs.gov/>), las imágenes se descargan siguiendo el siguiente procedimiento:

Procedimiento para descargar imágenes:

Paso 1:

Uso del visor LandsatLook

El menú superior proporciona acceso a la documentación e información útil para ayudar a navegar por el sitio (Figura 1):

Welcome: Muestra información introductoria sobre el sitio.

About: le dirige a una página web que ofrece información general sobre el archivo de Landsat, y el espectador. Incluye enlaces para más detalles sobre Landsat, LandsatLook, y productos de datos Landsat. También disponible en esta página es un enlace a los servicios de ArcGIS de imágenes basado en web.

Quick Guide: Proporciona un breve resumen de cómo utilizar el sitio.

Contact Us: permite al usuario enviar comentarios o preguntas relacionadas con este visor.

Help: proporciona enlaces a la documentación de ayuda detallada (la página).

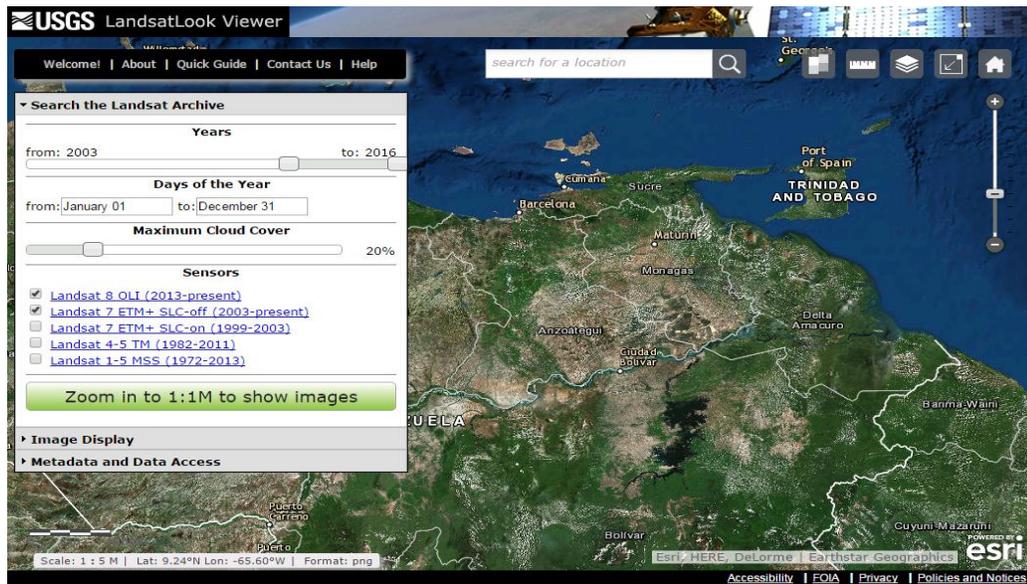


Figura 3.1. LandsatLook Viewer Home

Paso 2:

Search the Landsat Archive

Para iniciar una búsqueda, puede desplazarse y hacer zoom en el mapa para su área de interés. También puede introducir una ubicación (nombre geográfico) en el cuadro en la parte superior de la página. Otras herramientas útiles se muestran como iconos dentro del círculo rojo en la Figura 2:

Seleccione el Landsat WRS-1 o WRS-2 Path/Row Fila

Utilice la herramienta de medida para determinar las distancias en línea o áreas poligonales. Las coordenadas de latitud / longitud también se pueden mostrar

Seleccione el mapa base preferida (Vea la sección Información sobre la Cita y Datos Política de Uso de descripciones de Mapas base)

Haga clic en el mapa general para ver en pantalla el punto de vista mundial de la zona

Haga clic en el icono de Inicio para restablecer la vista y despejar todas las búsquedas anteriores

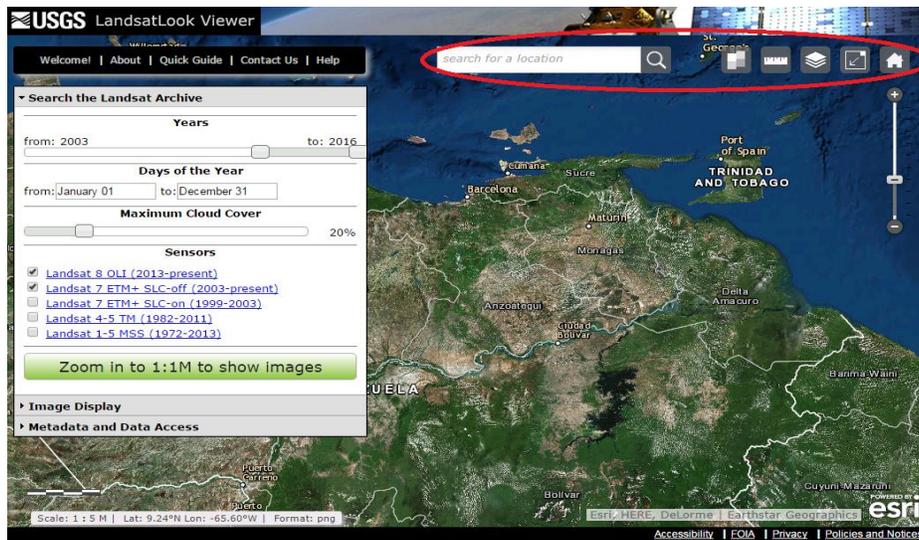


Figura 3.2. Interface Features

Paso 3:

Después de que se acerca al nivel mínimo de búsqueda (1: 1.000.000 escala), en el enlace Mostrar imágenes se hace visible en la caja (Figura 3).

Puede refinar la búsqueda seleccionando parámetros adicionales:

Fecha de adquisición o rango de fechas (**Years and/or Days of the Year**)

La cobertura de nubes completa de la imagen (**Maximum Cloud Cover**)

Sensor Landsat (**Sensors**)

Una vez que haya seleccionado los parámetros de búsqueda, haga clic en el botón Mostrar Imágenes.

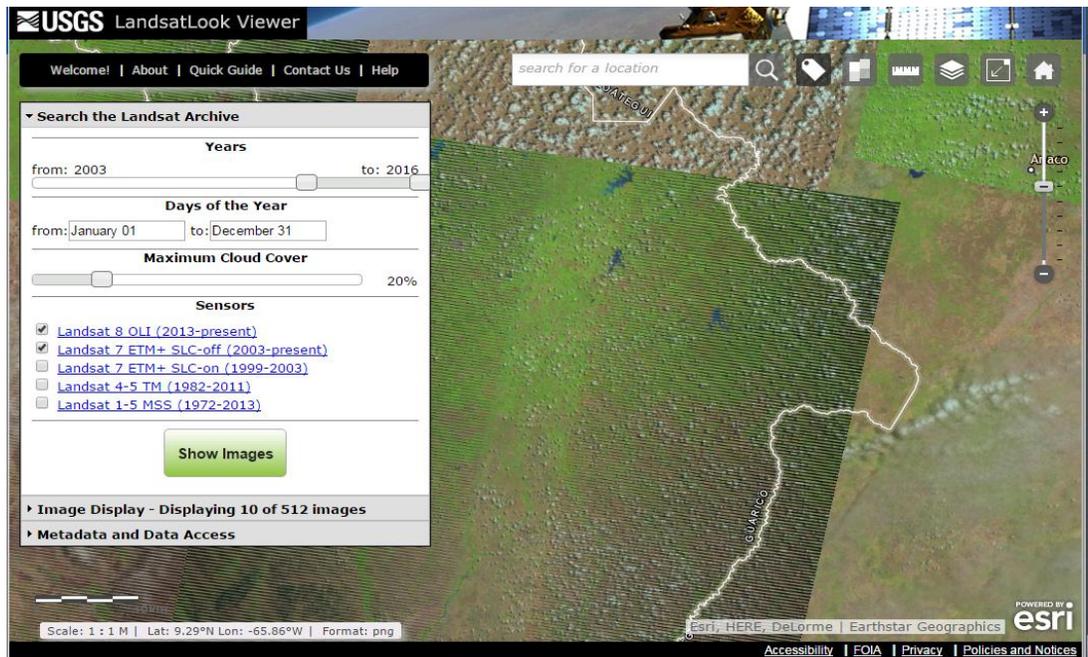


Figura 3.3. Viewer zoomed into an area of interest. The Show Images button is activated.

Paso 4:

Image Display

El espectador va a devolver todas las escenas que cumplan los criterios seleccionados. Puede añadir etiquetas de mapa (Figura 4) para ayudar a identificar el área de interés.

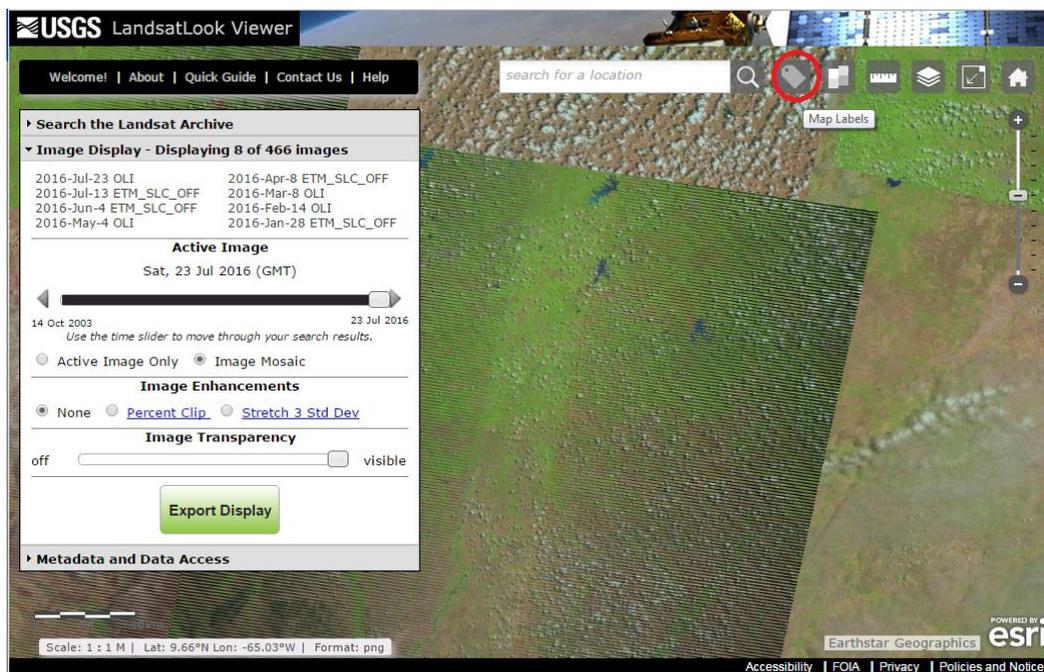


Figura 3.4. Returned Query with Map Label icon circled in red

La cabecera de la **Image Display** mostrará el número de escenas devueltas en la consulta. Los resultados pueden incluir muchas escenas más de un solo lugar, que no se pueden visualizar de forma simultánea. En su lugar, todas las escenas devueltas por la búsqueda se almacenan en una pila para la recuperación rápida. Puede cambiar las imágenes mostradas y desplazarse a través de la pila llena de imágenes mediante el uso de la barra del tiempo la **Active Image**.

El área de **Image Display** incluye las siguientes características adicionales:

Image Enhancements - Cambia la apariencia de la pantalla de imagen.

Percent Clip: Esta mejora elimina los colores muy oscuros y más claros. Esta opción mejora en realidad puede cambiar los colores aparentes de la imagen.

Stretch 3 Std Dev: Esta mejora calcula el promedio de la imagen y luego vuelve a asignar colores a base de un cálculo de la desviación estándar. Esta opción tiende a aclarar la imagen sin cambiar los colores.

Image Transparency - ajusta la transparencia / opacidad de la capa de la imagen Landsat, para permitir que el mapa de referencia ("mapa base") se vuelva visible junto con las imágenes.

La función de **Export Display** le permite guardar una imagen de lo que se muestra en ese momento en la pantalla, pero no incluirá mejoras de imagen, ajustes de transparencia o las etiquetas del mapa. Al exportar una imagen de pantalla, puede elegir el formato de imagen (JPG, PNG o GeoTIFF) y la referencia espacial (WGS84 en Web Mercator o geográfica).

Paso 5:

Metadata and Data Access

Metadata and Data Access (Figura 5) le permite ver información detallada acerca de las imágenes (sólo imágenes de preferencia) o devuelto dentro de su búsqueda inicial (todos los resultados de la consulta) en una vista de tabla (Figura 6) o el Navegar / metadatos (Vista la Figura 9).

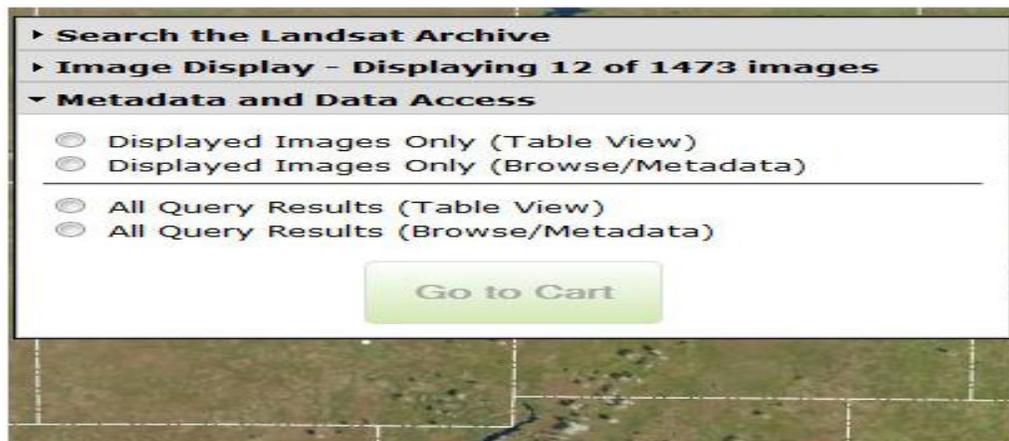


Figure 3.5. Metadata and Data Access

La **Table View** (imágenes en pantalla solamente y todos los resultados de la consulta) le permiten ver los resultados en una lista (Figura 6). Puede seleccionar escenas individuales o utilizar el cuadro de la columna izquierda para seleccionar todas las escenas en la lista.

Zoom To Show Footprint(s) Clear Footprint(s) Add to Cart

Show 10 entries Search:

<input type="checkbox"/>	Scene ID	Sensor	Acquisition Date	Path	Row
<input checked="" type="checkbox"/>	LC80020532016205LGN00	OLI	2016-07-23	2	53
<input type="checkbox"/>	LE70040532016195EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-07-13	4	53
<input type="checkbox"/>	LE70030542016156EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-06-04	3	54
<input type="checkbox"/>	LC80020542016125LGN00	OLI	2016-05-04	2	54
<input type="checkbox"/>	LE70040542016099EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-04-08	4	54
<input type="checkbox"/>	LC80030532016068LGN00	OLI	2016-03-08	3	53
<input type="checkbox"/>	LC80020552016045LGN00	OLI	2016-02-14	2	55
<input type="checkbox"/>	LE70030552016028EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-01-28	3	55

Showing 1 to 8 of 8 entries Previous Next

Figura 3.6. Query Results Table View: Displayed Images Only

Después de seleccionar al menos una escena, las siguientes opciones están disponibles (ver Figura 7):

Zoom To: Muestra las escenas seleccionadas en el espectador

Show Footprint(s): Señala a la cobertura de la huella de las escenas seleccionadas

Clear Footprint(s): Borra la cobertura de la huella de las escenas seleccionadas

Add to Cart: Coloca las escenas seleccionadas en la cesta de la compra (Figura 10)

Zoom To Show Footprint(s) Clear Footprint(s) Add to Cart

Show 10 entries Search:

<input type="checkbox"/>	Scene ID	Sensor	Acquisition Date	Path	Row
<input checked="" type="checkbox"/>	LC80020532016205LGN00	OLI	2016-07-23	2	53
<input type="checkbox"/>	LE70040532016195EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-07-13	4	53
<input type="checkbox"/>	LE70030542016156EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-06-04	3	54
<input type="checkbox"/>	LC80020542016125LGN00	OLI	2016-05-04	2	54
<input type="checkbox"/>	LE70040542016099EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-04-08	4	54
<input type="checkbox"/>	LC80030532016068LGN00	OLI	2016-03-08	3	53
<input type="checkbox"/>	LC80020552016045LGN00	OLI	2016-02-14	2	55
<input type="checkbox"/>	LE70030552016028EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-01-28	3	55

Showing 1 to 8 of 8 entries Previous Next

Figure 3.7 Selected Scene in Table View

Cuando se selecciona **Zoom To** o **Show Footprint** de las escenas seleccionadas), otro botón aparece: **Set As Display** (Figura 8). Al hacer clic en esto cambia la pantalla para mostrar solamente las escenas seleccionadas.

Zoom To Set As Display Show Footprint(s) Clear Footprint(s) Add to Cart

Show 10 entries Search:

<input type="checkbox"/>	Scene ID	Sensor	Acquisition Date	Path	Row
<input type="checkbox"/>	LC80020532016205LGN00	OLI	2016-07-23	2	53
<input type="checkbox"/>	LE70040532016195EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-07-13	4	53
<input checked="" type="checkbox"/>	LE70030542016156EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-06-04	3	54
<input type="checkbox"/>	LC80020542016125LGN00	OLI	2016-05-04	2	54
<input type="checkbox"/>	LE70040542016099EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-04-08	4	54
<input type="checkbox"/>	LC80030532016068LGN00	OLI	2016-03-08	3	53
<input type="checkbox"/>	LC80020552016045LGN00	OLI	2016-02-14	2	55
<input type="checkbox"/>	LE70030552016028EDC00	ETM_SLC_OFF	2016-01-28	3	55

Showing 1 to 8 of 8 entries Previous Next

Figure 3.8 Set As Display Button in Table View

Los botones **Browse/ Metadata** (imágenes en pantalla solamente y todos los resultados de la consulta) crean un cuadro emergente que contiene las imágenes de exploración y metadatos para cada escena. Usa las flechas para desplazarse por todas las escenas. (Nota: Escenas de la noche también se pueden mostrar en el cuadro de metadatos Estos se pueden agregar al carro, pero no se mostrarán en la interfaz del mapa Landsat Visor.).

Se puede utilizar el **Show Footprint** y del **Zoom To** botones para mostrar las escenas en la pantalla principal del visor. También puede colocar escenas en el carro (**Add to Cart**) y acceder a la compra (**View Cart**) desde esta ventana.



Figura 3.9. Landsat Visor.

Ver carrito de compras y de acceso a datos

El Visor LandsatLook apoya el acceso de descarga de los datos de banda completa, celebrada en el archivo de Landsat, así como las solicitudes de procesamiento (órdenes) utilizando un carrito de compras gestionada y distribuida a través de la interfaz USGS EarthExplorer.

El **Add to Cart** botón se muestra en la tabla y navegar vistas / metadatos, y añade las escenas seleccionadas a la cesta de la compra. Estos elementos permanecerán en el carro mientras consultas adicionales se llevan a cabo, y otras escenas también se pueden añadir.

Quando se añaden elementos del verde botón **Go to Cart** aparecerá (Figura 10).

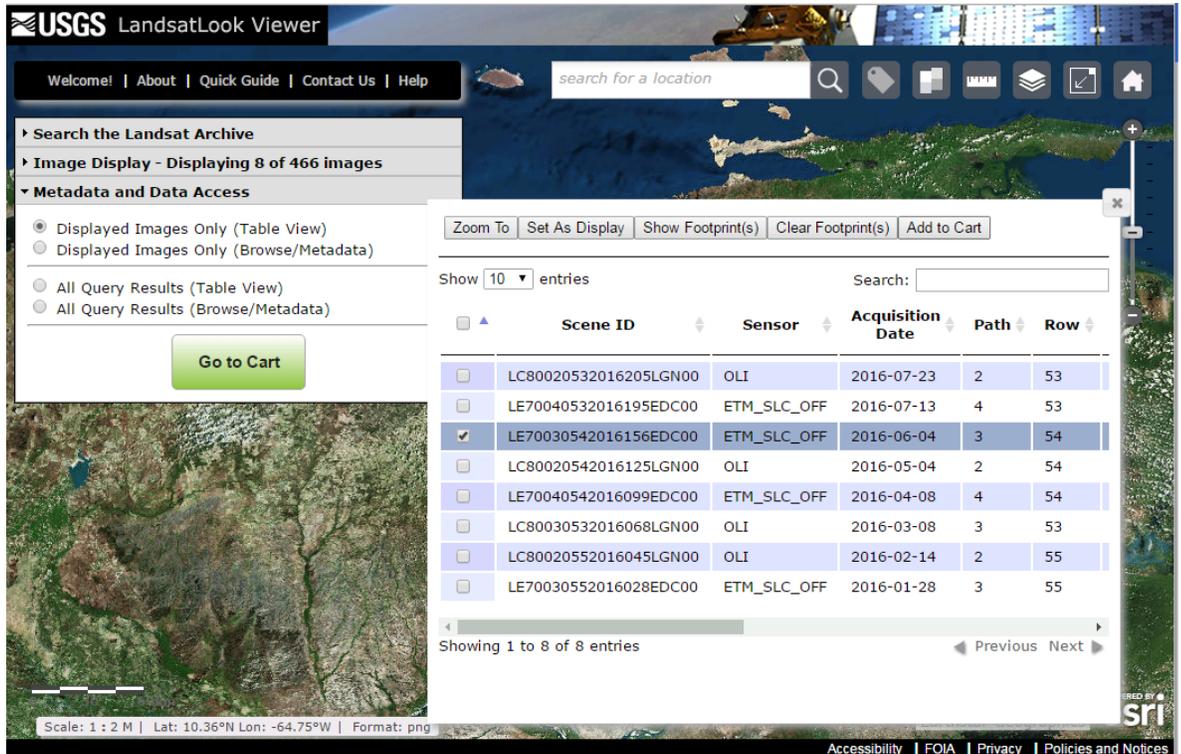


Figura 3.10. Go to Cart button activated with Add to Cart button activated

El carro muestra todas las escenas en la cola. Cuando se seleccionan las escenas (utilizando la columna izquierda casillas de verificación), las siguientes opciones están activadas (ver Figura 11):

Remove from Cart: Elimina escena seleccionada

Get LandsatLook Image: permite descargar la imagen LandsatLook con referencia geográfica (ver <http://landsat.usgs.gov/LandsatLookImages.php> para obtener más información acerca de este archivo).

Get Landsat Data: le pide que inicie sesión en la interfaz EarthExplorer acceder a los Landsat Nivel 1 opciones de productos de datos completos. (Vea esta página para los archivos que recibirá con el producto de datos de

nivel 1:
Http://landsat.usgs.gov/files_will_be_provided_with_a_Landsat_scene.php) Si usted no tiene un inicio de sesión USGS, puede registrarse en la página de EarthExplorer (véase la Figura 12).

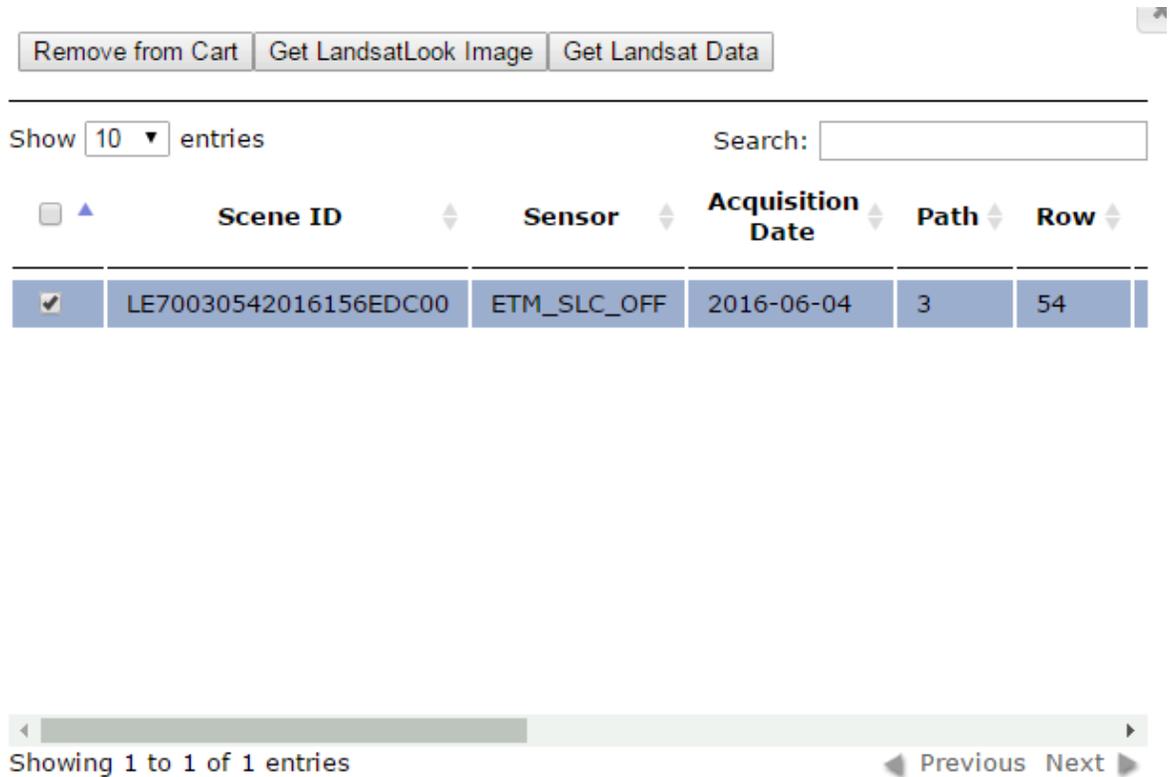


Figura 3.11. Cart with scene selected and buttons activated



Figure 3.12. EarthExplorer login page

Después de descargar el archivo LandsatLook o los datos de Landsat, las escenas serán eliminadas de la cesta.

Fase II: Procesamiento de datos

Etapas IV: Obtención de las variables

Utilizando un software de análisis de información geográfica argis 10, que nos permitirá obtener variables para realizar el pre-diseño de las pequeñas centrales hidroeléctricas de los embalses de la cuenca del rio Unare estado Anzoátegui.

PROCEDIMIENTO PARA CREACION DE LOS ARCHIVOS DE TESIS

PASO 1:

Abrir ArcCatalog, haciendo: Inicio > Todos los Programas > ArcGIS > ArcCatalog 10

En el Árbol de Catalogo, hacer click al botón derecho y seleccionar Nueva > Carpeta

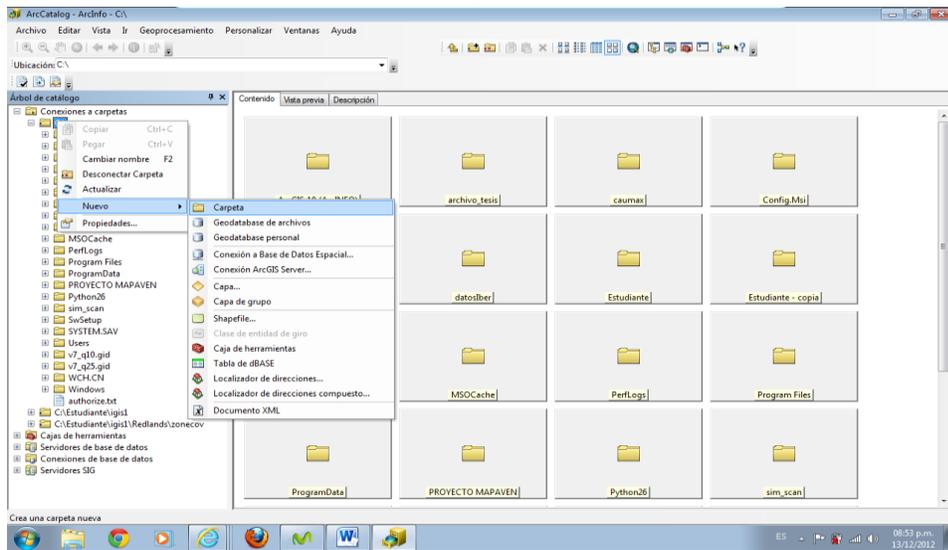


figura 3.13.

PASO 2:

Colocar nombre a carpeta “Archivos de Tesis”. Se recomienda colocar este nombre, ya que por orden alfabético sería una de las primeras carpetas a encontrar en la lista de carpetas dentro del disco C.

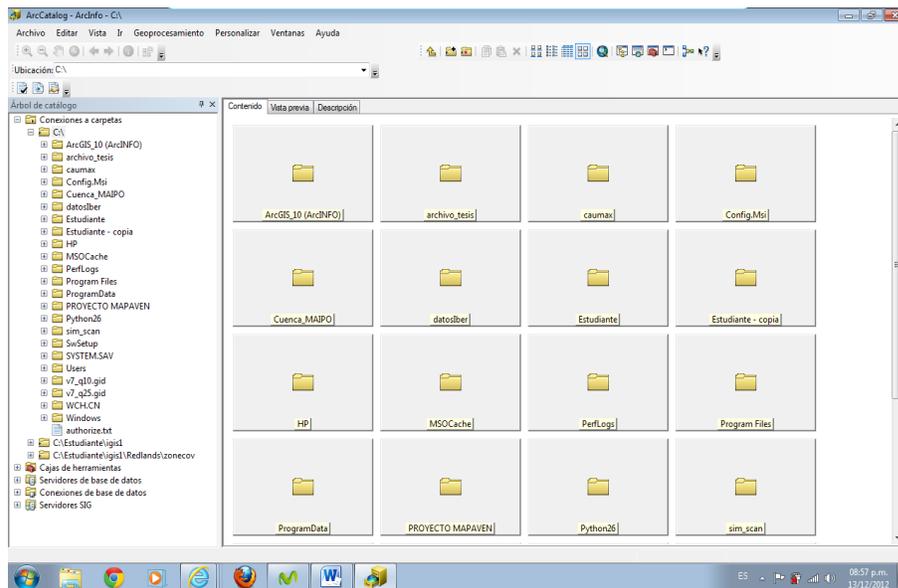


Figura 3.14.

PASO 3:

Guardar imágenes descargadas del servidor de mapas y de imágenes tesis en carpeta “Archivos de Tesis”.

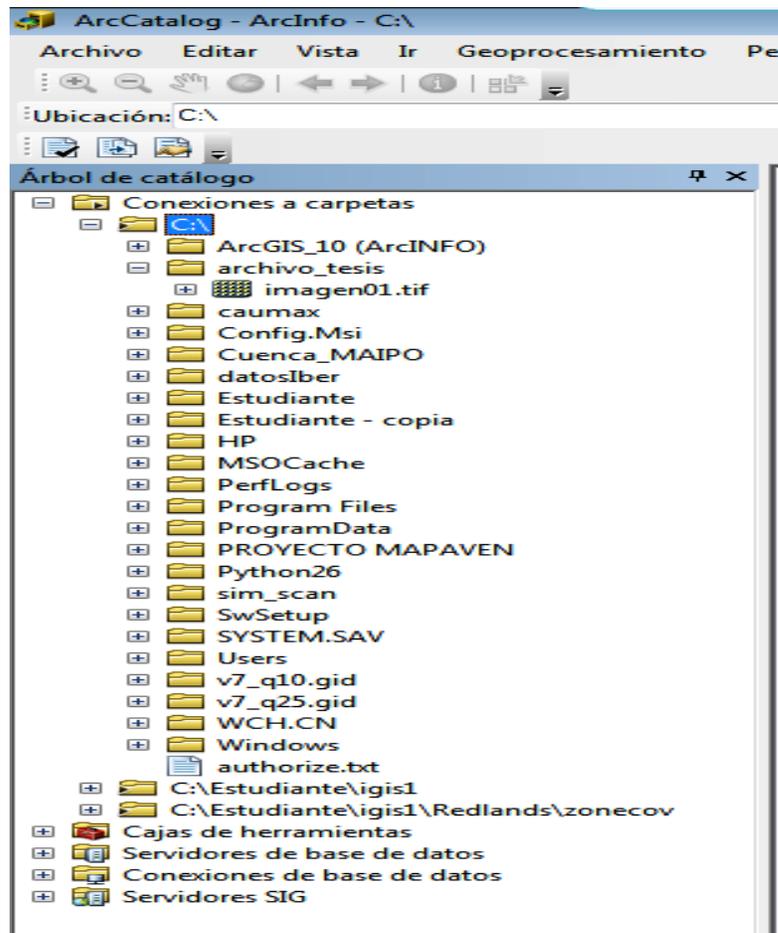


Figura 3.15.

PASO 4:

En el árbol del catálogo, hacer click al botón derecho sobre la carpeta “archivos de tesis”. En el menú desplegable, seleccionar Nuevo > Geodatabase de archivos, colocarle nombre tesis.

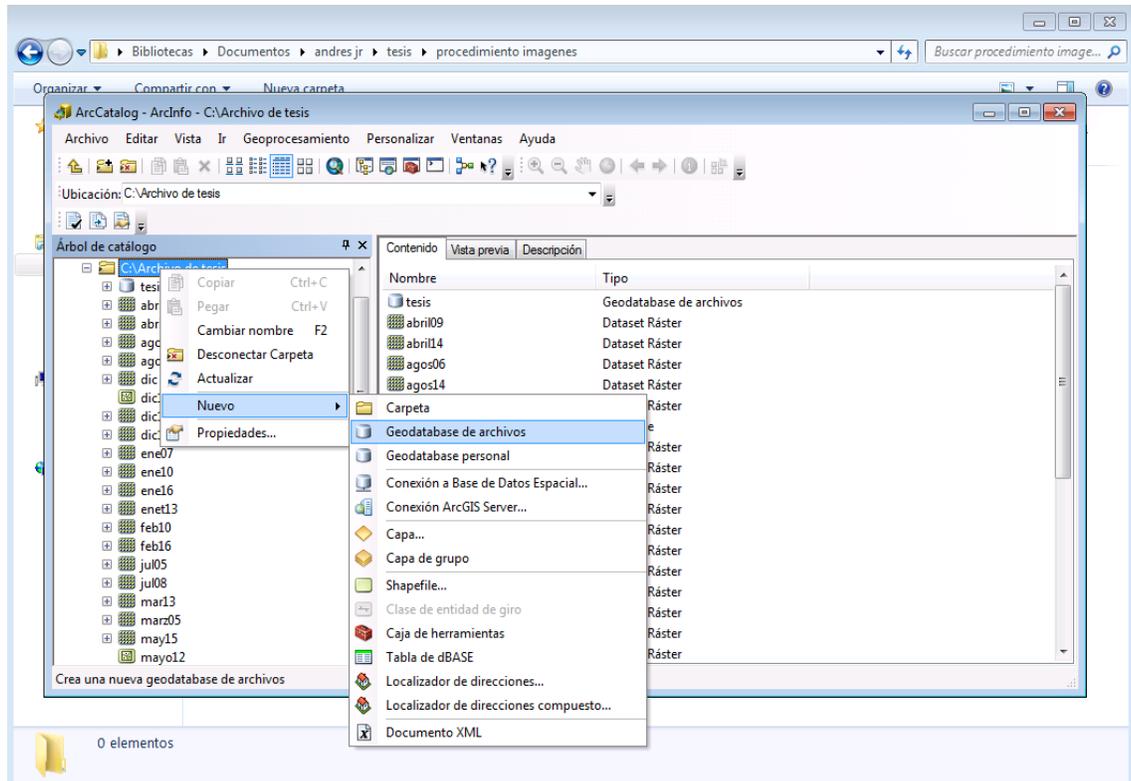


Figura 3.16.

PASO 5:

Una vez seleccionada la opción “tesis”, seleccionar **Nuevo > clase entidad**.

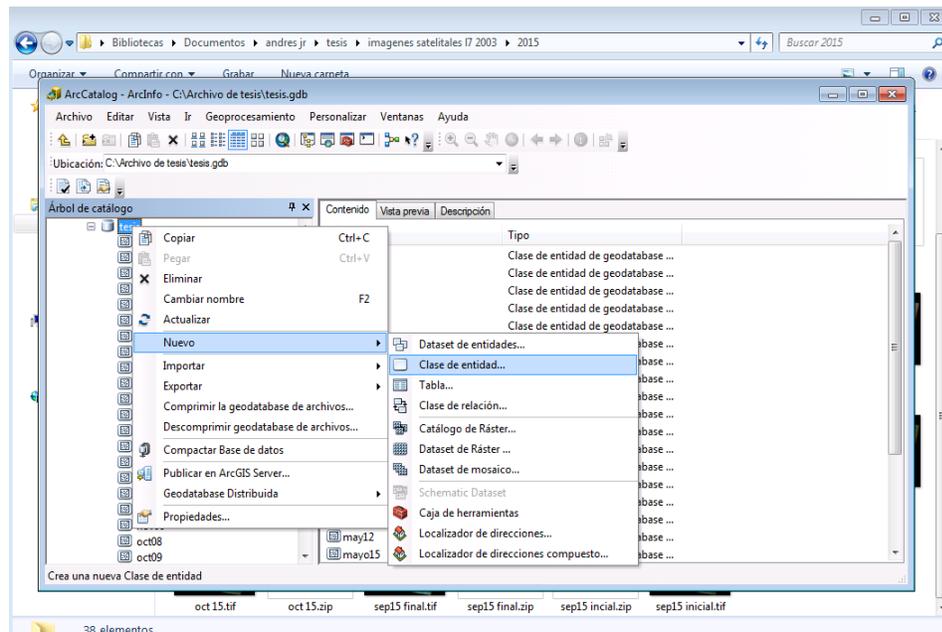


Figura 3.17.

PASO 6:

Se abrirá la pestaña “**Nueva clase de entidad**”, en **Nombre**, digitar “**mayo15final**”, en **Alias** igual.

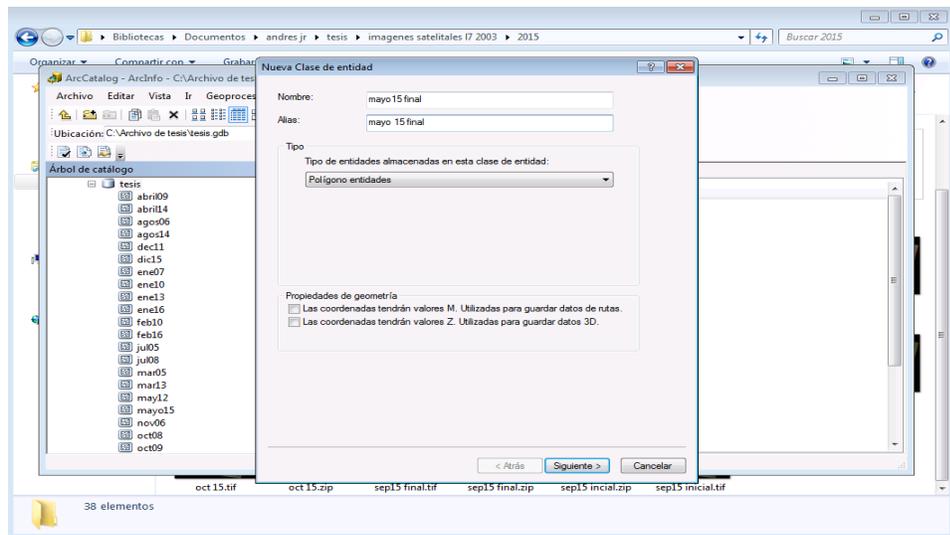


Figura 3.18.

PASO 7:

Elegir el sistema de coordenadas, primero elegir **projected coordinate system > UTM**

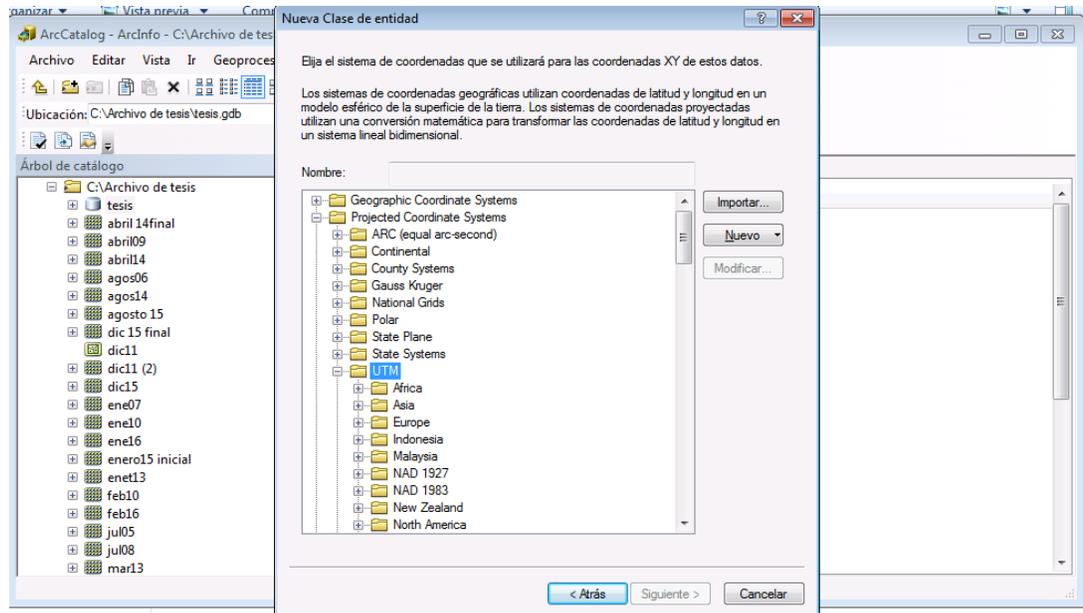


Figura 3.19.

PASO 8:

Seleccionar WGS 1984> Northern Hemisphere

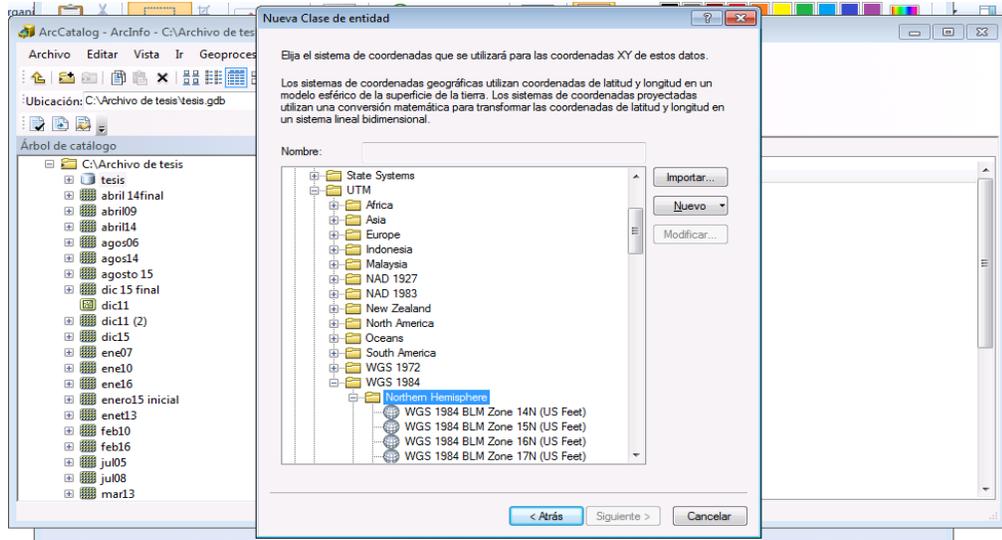


Figura 3.20.

PASO 9:

Seleccionar WGS 1984 BLM Zone 20N

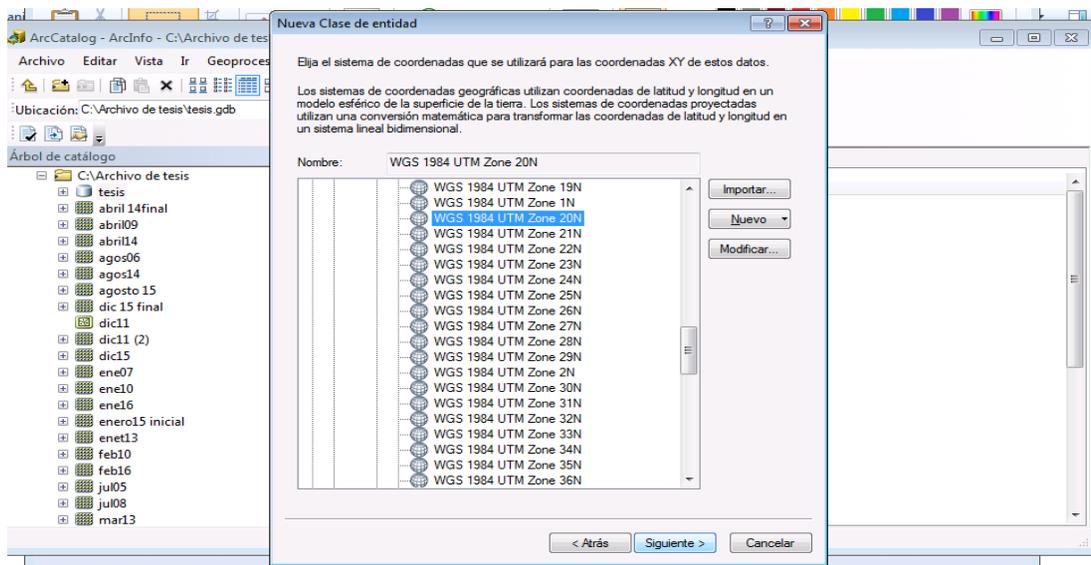


Figura 3.21.

PASO 10:

Tolerancia XY 0,001 meter.

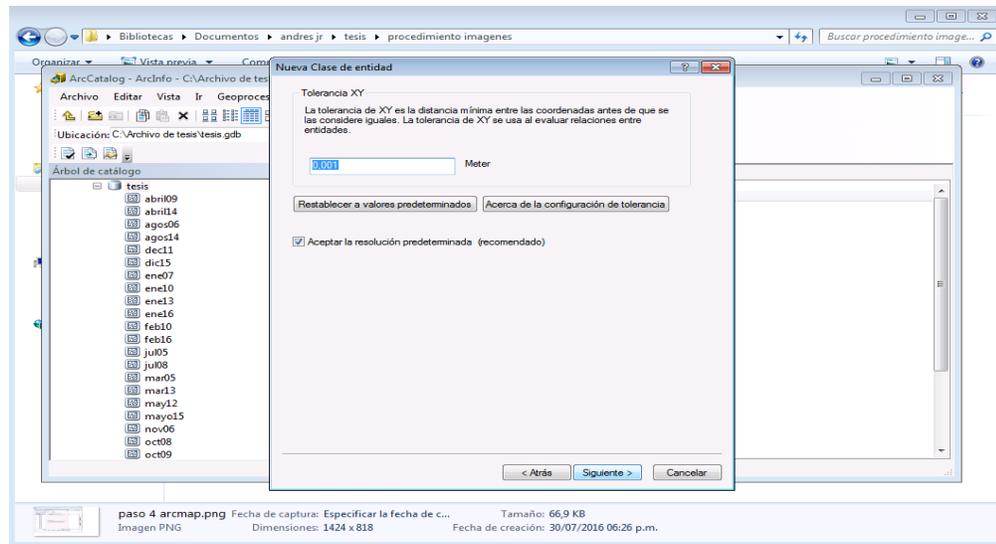


Figura 3.22.

PASO 11:

Especificar la configuración de almacenamiento de la base de datos, usar valor predeterminado.

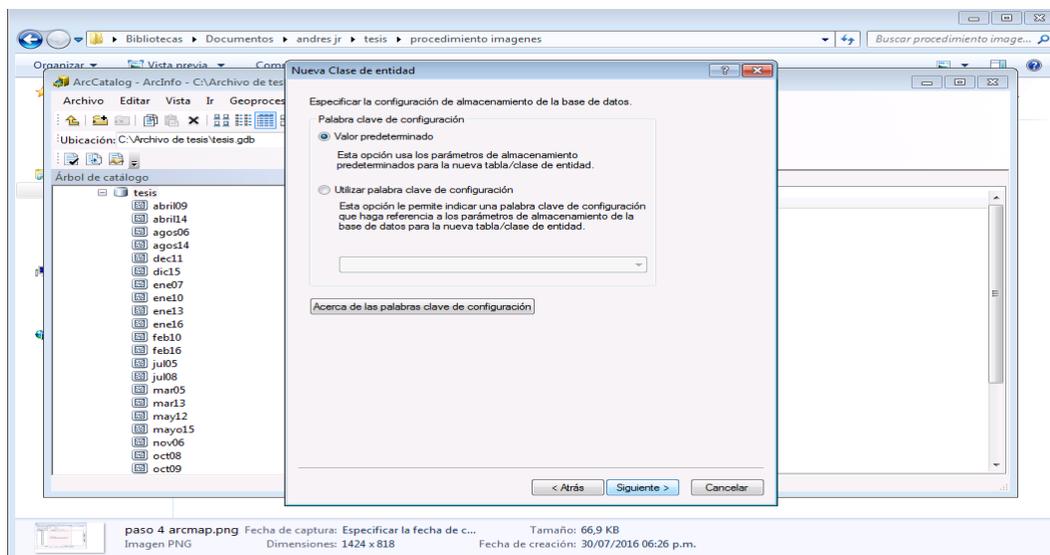


Figura 3.23.

PASO 3:

En el cuadro Añadir datos. Seleccionar los archivos Mayo15 (imagen) y Mayo15 (Geodatabase) , hacer click en Agregar

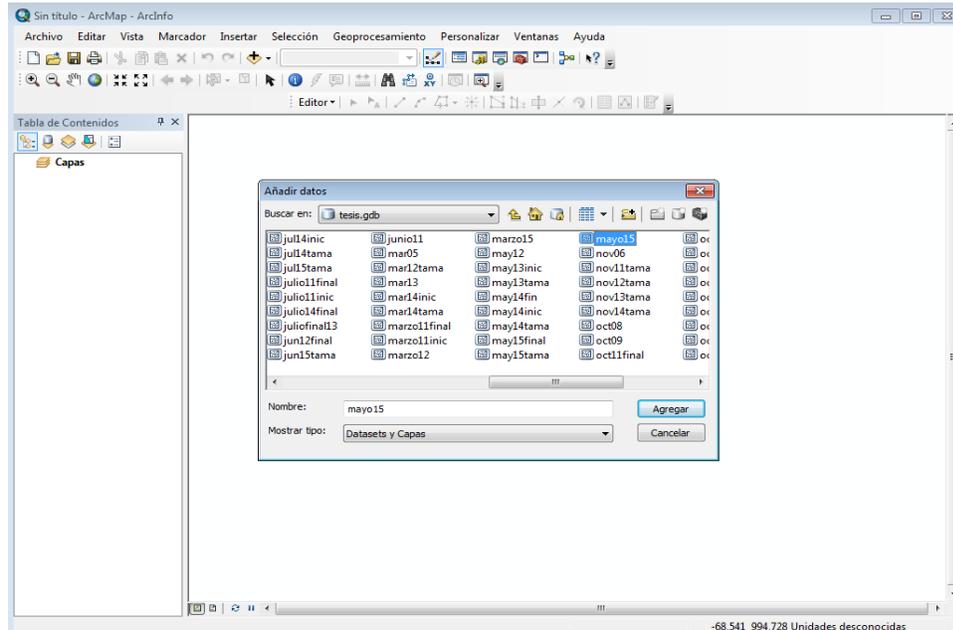


Figura 3.26.

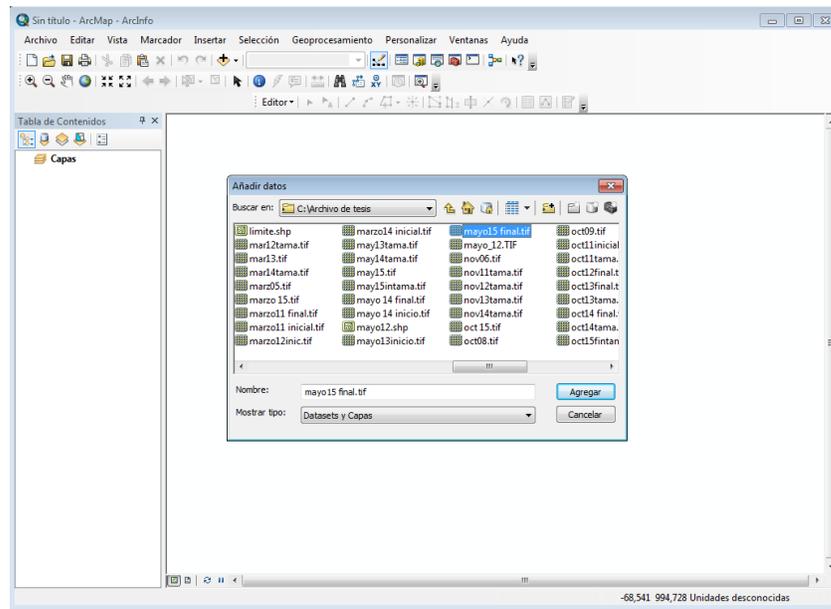


Figura 3.27.

PASO 4:

Hacer botón derecho sobre la capa Mayo15. Hacer click en “Acercar a la capa”.

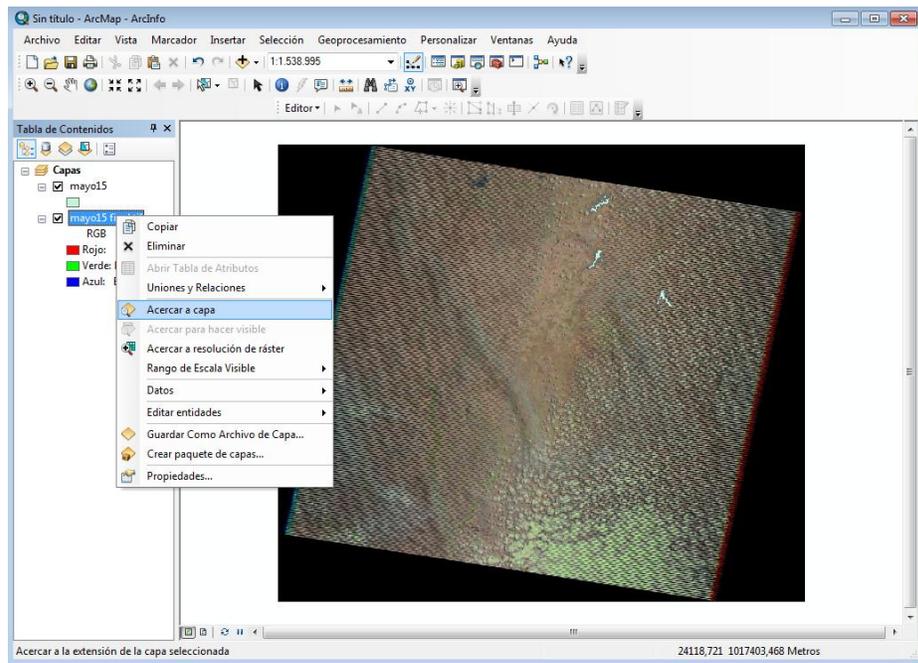


Figura 3.28.

PASO 5:

Se hace click en el Editor, una barra que se encuentra en la parte superior de la imagen, se selecciona comenzar la edición.

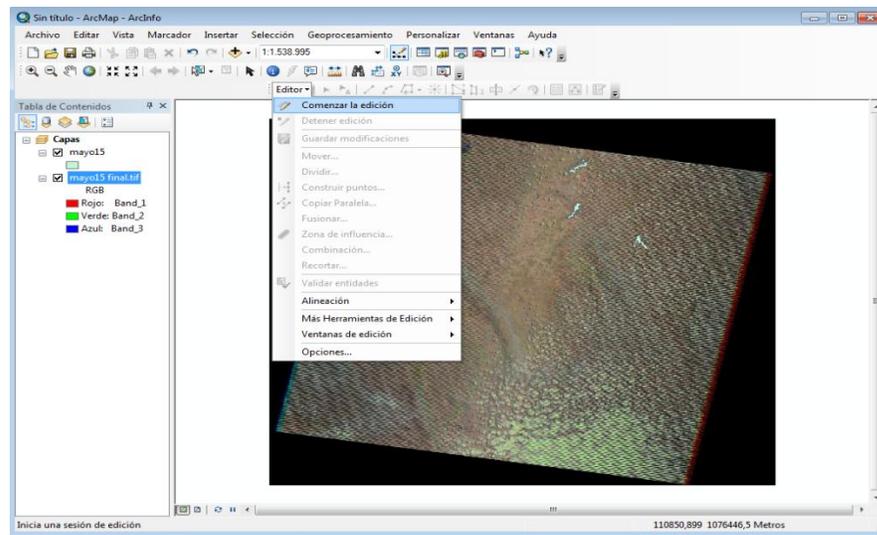


Figura 3.29.

PASO 6:

En el lado derecho aparecerá una barra de tareas, en la cual se debe hacer click a “mayo15”, luego se activara la opción “polígono” en la parte inferior derecha, selecciona esa opción.

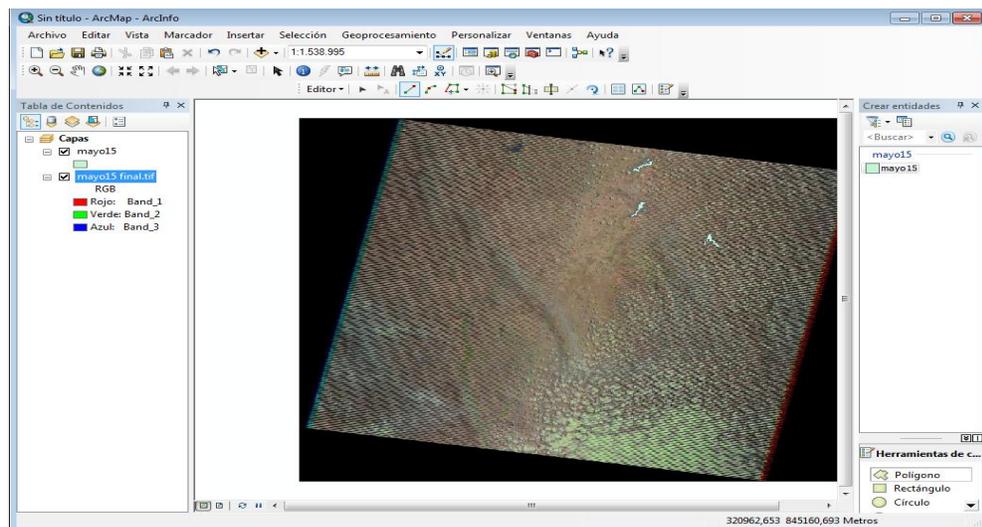


Figura 3.30.

PASO 7:

Se procede a digitalizar el área del embalse, haciendo una poligonal sobre su perímetro.

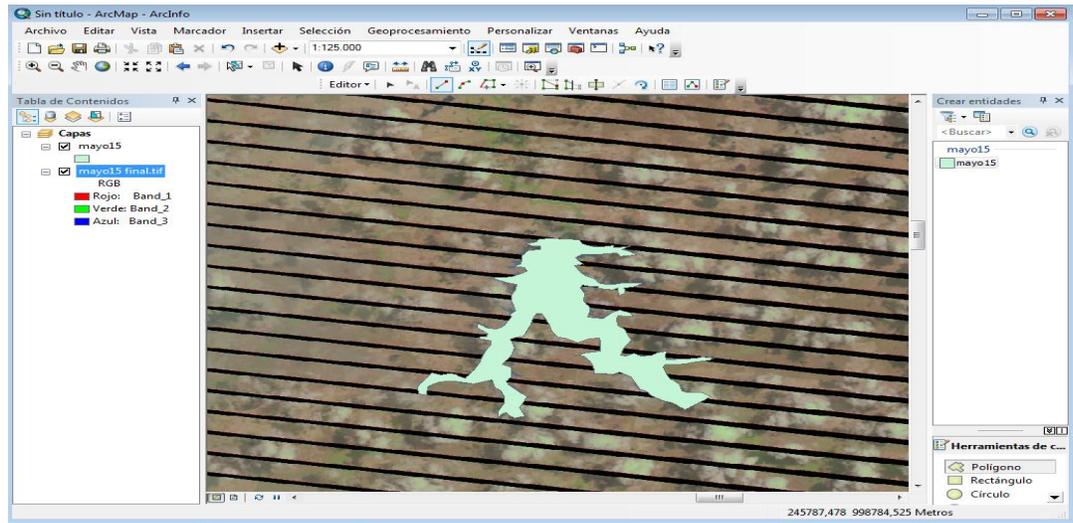


Figura 3.31.

PASO 8:

Se hace click derecho sobre Mayo15 (Geodatabase) → abrir tabla de atributos.

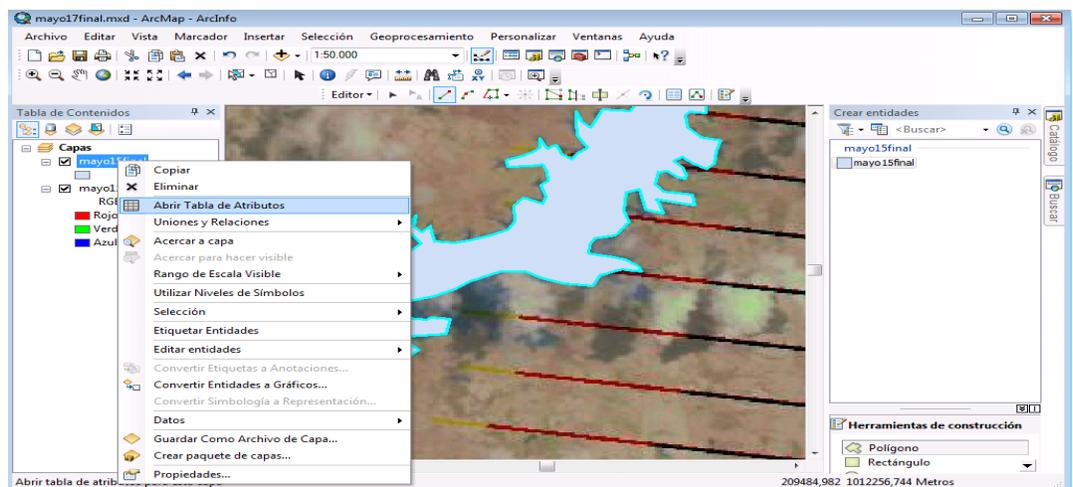


Figura 3.32.

PASO 9:

En la tabla que abrió se utilizara el valor de “SHAPE área”, que es el valor final buscado en este procedimiento.

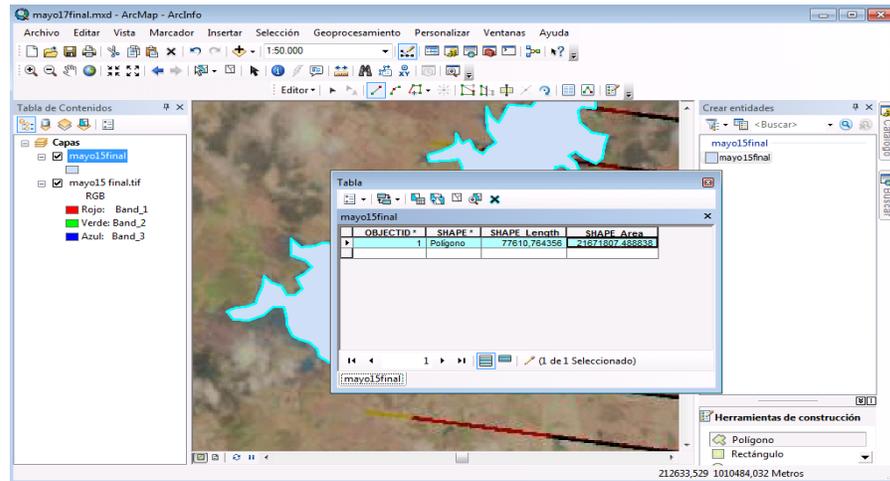


Figura 3.33.

Procedimiento para obtención de variables:

Para analizar la capacidad hidroenergética de los embalses a estudiar, se requiere estimar de manera aproximada la información básica sobre los recursos hidrológicos. La realización de un proyecto con recursos hidroenergéticos exige de una información seriada histórica. Analizar la capacidad hidroenergética de los embalses a estudiar, requiere estimar de manera aproximada la información básica sobre estos recursos hidrológicos.

La revisión, interpretación y análisis de estas series de registros permiten obtener una estimación de los rendimientos medios anuales y de los gastos medios diarios para cada uno de los embalses, a través de una serie de aproximadamente 16 años de valores anuales observados. Los valores del rendimiento medio obtenido de esta manera representan valores netos del gasto medio, ya que previamente han sido descontadas las

pérdidas por evaporación en el embalse y las pérdidas por infiltración por la presa misma, por las fundaciones y por los estribos.

A continuación se describe paso a paso el procesamiento de los datos en el programa.

Inicio del programa

- 1) Se inicia el programa y en la ventana de bienvenida se selecciona “Introducir nuevos datos o importarlos de una fuente externa” tal como se muestra en la Figura 3.1. Posteriormente emerge otra ventana donde se debe seleccionar la fuente de la cual provienen los datos, ya sea de una base de datos existente, una fuente de datos asociada con un statfolio, etc. y se escoge la opción que convenga. En este caso, como los datos están contenidos en excel, se elige la opción “Introducir nuevos datos o importarlos de una fuente externa”.

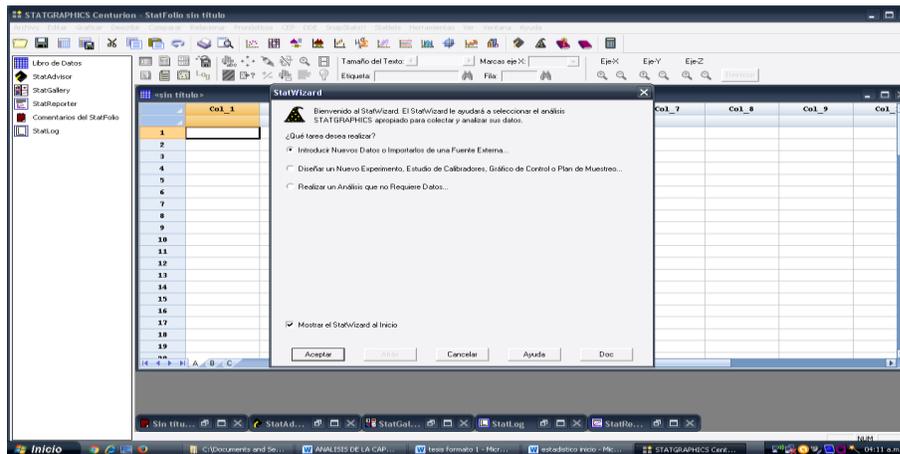


Figura 3.34. StatWizard

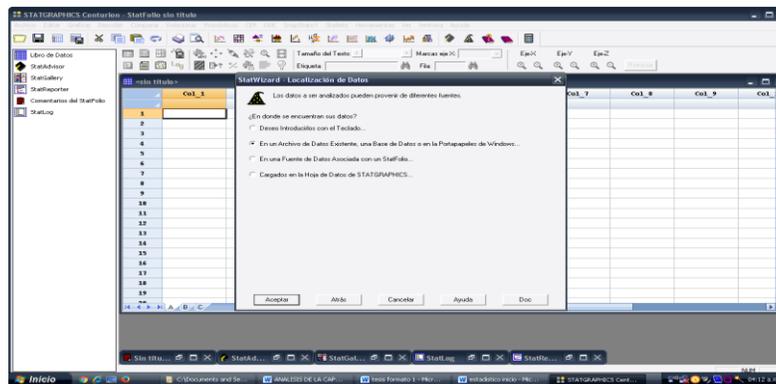


Figura 3.35. Localización de datos

- 2) Seguidamente, aparece una nueva ventana de nombre “Propiedades del libro de datos”, donde se selecciona la opción “Archivo de datos externos”. Luego de aceptar, se elige el archivo de Excel donde se encuentra la información y se despliega un libro de datos en el cual se muestran los 3764 datos, tal como se observa en la Figura 3.3.

	año	mes	area (Ro2)	area (Ha)	Nivel de agua (mm)	Volumen (lit)	Volumen (m3)	Diferencia volumen
1	2015	enero inicio	25,173	2517,3	134,25	57	5700000	1000000
2		enero final	25,885	2588,5	134,4	58	5800000	
3		febrero inicio	25,327	2532,7	134,35	58	5800000	1000000
4		febrero final	24,578	2457,8	134,2	57	5700000	
5		marzo inicio	24,172	2417,2	134	57	5700000	1000000
6		marzo final	22,982	2298,2	133,6	47	4700000	
7		abril inicio	23,253	2325,3	133,8	54	5400000	6000000
8		abril final	22,745	2274,5	133,7	48	4800000	
9		mayo inicio	22,189	2218,9	133,5	48	4800000	1000000
10		mayo final	21,692	2169,2	133,7	47	4700000	
11		junio inicio	20,112	2011,2	133,2	48	4800000	1000000
12		junio final	19,448	1944,8	133,1	39	3900000	
13		julio inicio	20,283	2028,3	133,2	48	4800000	1000000
14		julio final	20,753	2075,3	133,3	41	4100000	
15		agosto inicio	20,384	2038,4	133,2	48	4800000	1000000
16		agosto final	20,758	2075,8	133,3	41	4100000	
17		septiembre inicio	20,329	2032,9	133,2	48	4800000	0
18		septiembre final	19,858	1985,8	133,1	48	4800000	
19		octubre inicio	20,534	2053,4	133,2	41	4100000	2000000

Figura 3.36. Libro de datos

Análisis estadístico

- 1) Luego de desplegar el libro de datos, se inicia con el análisis estadístico para cada una de las variables en estudio. En la barra de herramientas se selecciona la pestaña que tiene por nombre “Describir”. Se muestran varias opciones, se selecciona “datos numéricos” y luego “análisis de una variable”. Posteriormente, aparece una ventana que muestra todas las variables, se selecciona la que se desea estudiar y se presiona aceptar, tal como lo muestra la Figura 3.4.

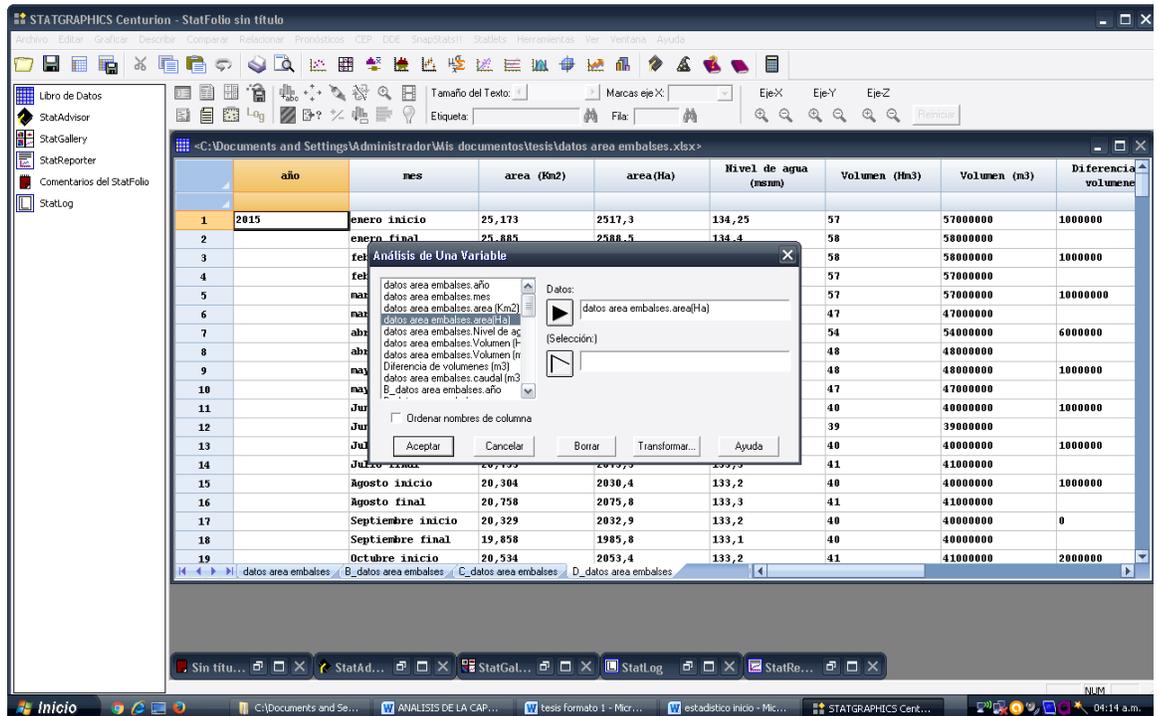


Figura 3.37. Análisis de una variable

- 2) Luego de seleccionar la variable que se desea estudiar, se despliega un resumen estadístico y varios gráficos representativos en la estadística descriptiva, tal como se muestra en la Figura 3.5

Análisis de series de tiempo

- 1) Si se desea estudiar la serie de tiempo de cada una de las variables, para detectar si existe o no tendencia, ciclicidad, estacionalidad y componente irregular en la misma, se procede de la siguiente manera tal como se aprecia en la Figura 3.7.

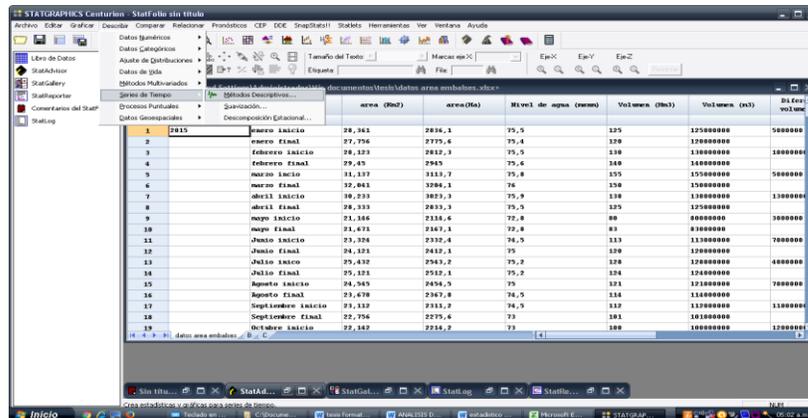


Figura 3.40. Series de tiempo. Método descriptivo

- 2) Se selecciona el método descriptivo para generar las series de tiempo, iniciando el 01/05/05 con un intervalo de muestreo uno cada uno, ya que se cuenta con un registro diario de datos. A continuación en la Figura 3.8, se visualiza lo descrito anteriormente.

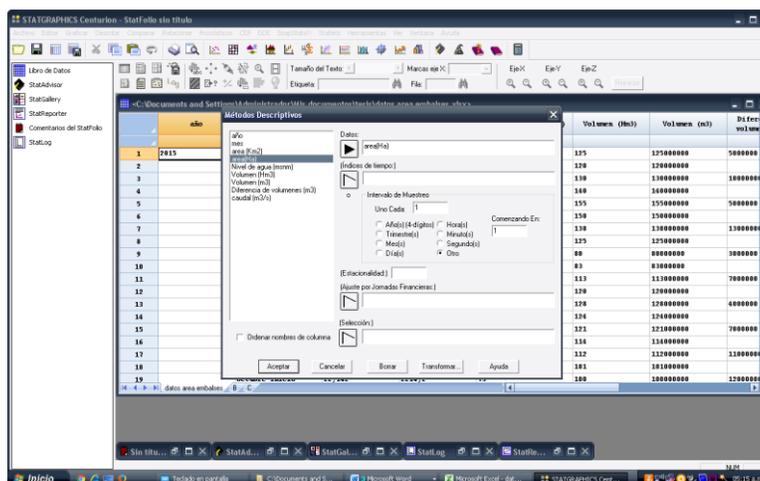


Figura 3.41. Series de tiempo. Método descriptivo

3) Luego de introducir los datos necesarios para describir la serie de la variable seleccionada, se da click en “Aceptar” y rápidamente se muestra el gráfico de serie de tiempo y las autocorrelaciones estimadas para la variable. La Figura 3.9 muestra de que manera se presentan los resultados del análisis.

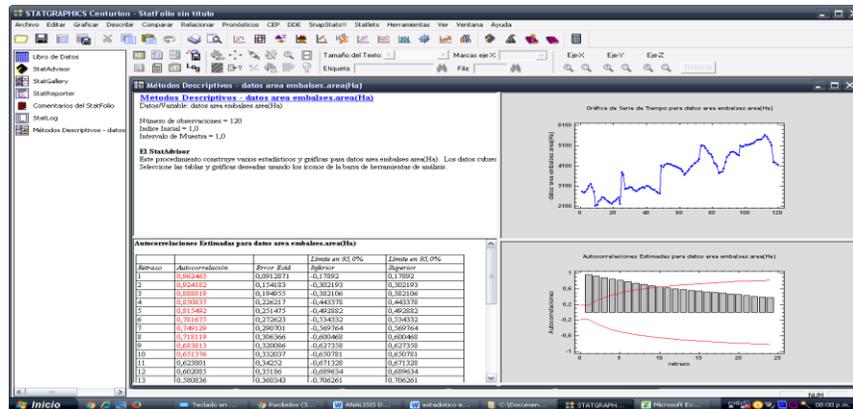


Figura 3.42. Métodos descriptivos. Series de tiempo

Ajuste de distribuciones

Para determinar a qué distribución se ajusta cada variable hidroenergética del embalse, se procede de la siguiente manera:

1) En la barra de herramientas se selecciona la pestaña que tiene por nombre “Describir” y luego se da click en “Ajuste de distribuciones”. Inmediatamente se despliega una serie de opciones para el ajuste y se escoge “Ajuste de Datos No Censurados”. Este procedimiento se aprecia en la Figura 3.13.

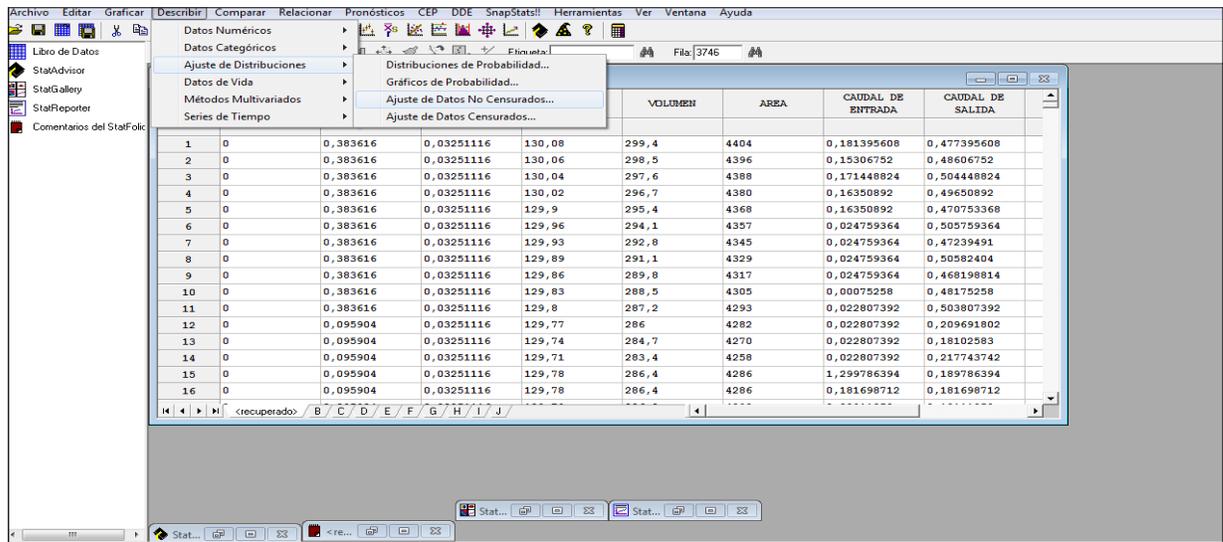


Figura 3.43. Ajuste de distribuciones

2) Luego de seleccionar “Ajustes de Datos No Censurados”, aparece una ventana de opciones de ajuste de distribuciones, donde se escoge a que distribución se desea ajustar la variable. En este caso, se escogieron solo cuatro distribuciones (Normal, Weibull, Valor Extremo Más Pequeño y Laplace) para realizar las comparaciones respectivas entre ellas, para luego escoger la que se adapte mejor a los datos. Se muestra un ejemplo en la Figura 3.44.

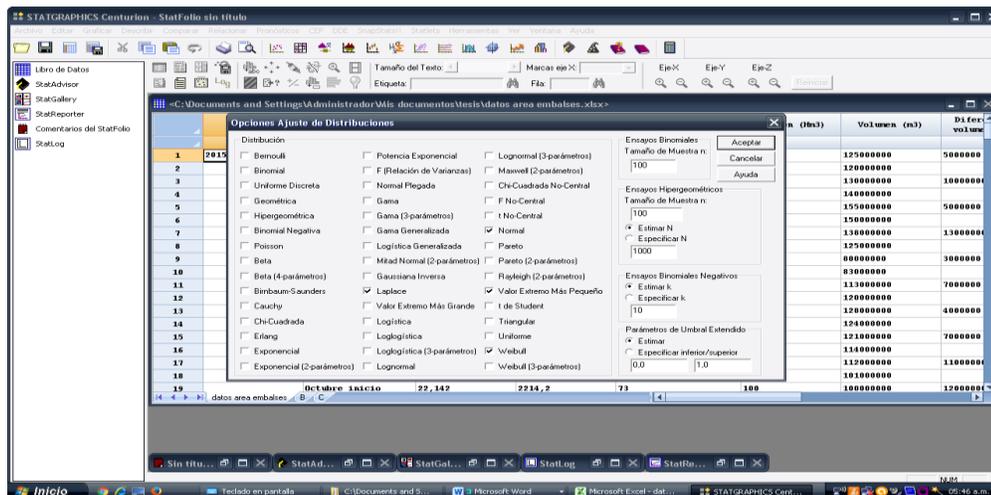


Figura 3.44. Opciones de ajuste de distribución

3) Luego de seleccionar las distribuciones para el ajuste de la variable, se despliegan dos gráficas y tres Tablas por defecto. La primera gráfica es la utilizada para este estudio, que lleva por nombre “Histograma de Nivel”. Allí se superponen todas las distribuciones seleccionadas, tal como se muestra en la Figura 3.45.

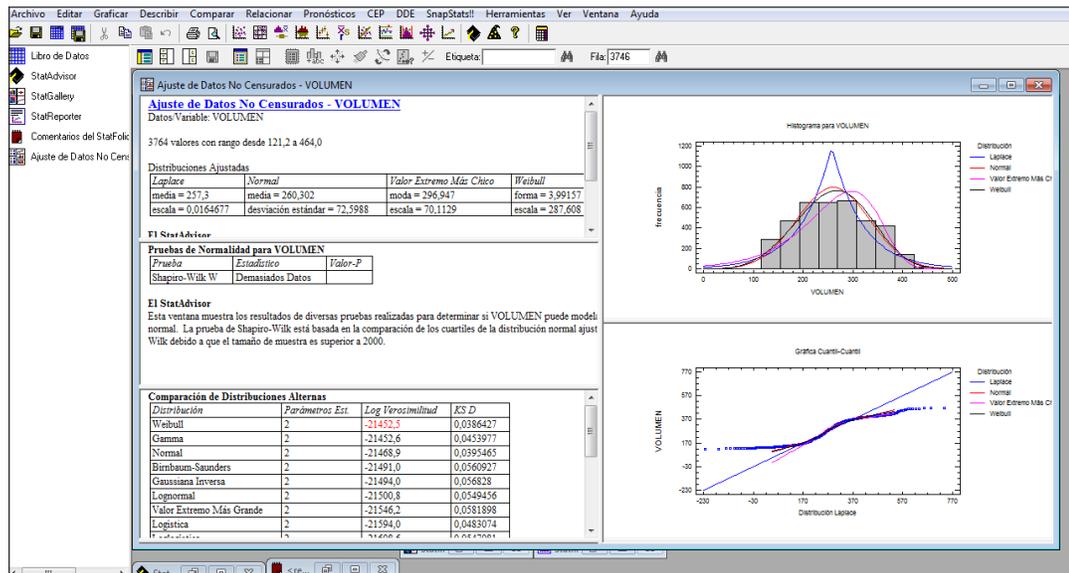


Figura 3.45. Opciones de ajuste de distribución

4) En base a la información contenida en la Tabla “Comparación de Distribuciones Alternas” (ver Figura 3.24), se muestran todas las distribuciones ajustadas a la variable. Esta Tabla compara la bondad de ajuste cuando varias distribuciones se ajustan a la variable en estudio. La distribución que mejor se ajuste será aquella que presente un estadístico log verosimilitud destacado en color rojo en el programa utilizado.

Etapa V: diseño preliminar de las pequeñas centrales hidroeléctricas de acuerdo a las variables de los embalses

Esta etapa abarca todo el pre-diseño de las pequeñas centrales hidroeléctricas, de acuerdo a las variables del embalse, la selección de la turbina idónea.

El objetivo básico de estos estudios es determinar la potencia teórica o bruta de los embalses en estudio. La potencia aprovechable de un embalse, es la potencia máxima que se puede producir en el sitio de manera ininterrumpida. La potencia aprovechable es la máxima que se puede generar con el caudal mínimo esperado, para una altura neta determinada o dada.

La National Rural Electric Cooperative (NREC) (1980) estima que la potencia disponible o que puede generar un río o embalse, se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$P_d = 9.81 \times Q_e \times H$$

Ecuación 3.1

De donde:

P_d = Potencia disponible (KW)

Q_e = Caudal del embalse (m³/s)

H = Caída aprovechable (m)

Para estimar la potencia generada por la turbina se tiene que considerar la efectividad de esta, la cual varía entre un 70% y un 92%.

$$P_t = e \times P_d$$

Ecuación 3.2

e = efectividad de la turbina (70% - 92%)

DISEÑO DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

A continuación se describe paso a paso la metodología empleada para el diseño del conjunto de obras civiles que conforman parte del sistema de generación hidroeléctrica para cada una de las alternativas planteadas en este trabajo de investigación, iniciando desde el punto de captación hasta la restitución del agua. Asimismo se señalan los criterios utilizados para la selección de la turbina de la central.

Las obras civiles que conforman este diseño son:

- Túnel de conducción
- Cámara de carga
- Tubería Forzada
- Turbina
- Casa de máquinas
- Túnel de desagüe

Determinación de la potencia disponible

1. En primer lugar se determina el salto neto. El salto neto viene dado por la altura útil menos las pérdidas totales que se presentan en la tubería, las cuales se dan por rugosidad y por accesorios.
2. La altura útil se obtiene mediante el trazado en el plano de las obras de conducción del sistema, ubicando de esta manera cada obra,

donde resulte más conveniente según la configuración del terreno. Se parte desde la obra de toma hasta llegar a la disposición final del agua turbinada, buscando que esta última descargue por encima del nivel del río. Adicionalmente se busca obtener la menor pendiente en la conducción para así evitar en la medida de lo posible las pérdidas de carga.

3. Ya que la central se clasifica en central hidroeléctrica de regulación por derivación de las aguas, con el caudal de diseño, la altura útil, y la eficiencia se obtiene la potencia disponible o aprovechable del sitio de estudio.

Diseño de túnel de conducción y túnel de desagüe

1. Se propone el concreto como material de construcción del túnel, el cual posee una rugosidad de 0.012. La pendiente y longitud del túnel vienen dados por la configuración del terreno, ajustándolos a los niveles del terreno.
2. Para la determinación del diámetro de diseño se impone un diámetro comercial, el cual debe ser mayor a la profundidad normal (y_o) del agua en el túnel, de no ser así, se aumenta el diámetro hasta que cumpla con lo antes establecido.

La obtención de y_o se realiza por medio de la gráfica de “profundidad crítica y profundidad normal de secciones circulares”, y haciendo uso del caudal de diseño, de la rugosidad, pendiente longitudinal y el diámetro de tanteo. Se lee la relación y_o/d y de allí se despeja y_o .

3. Se procede al cálculo de los elementos geométricos del túnel tales como: espejo de agua, área, perímetro, radio hidráulico, y profundidad hidráulica. Para el cálculo del área, perímetro y radio hidráulico se

necesita el valor del ángulo θ , el cual se obtiene con las ecuaciones de trigonometría de los elementos geométricos haciendo uso de altura del triángulo, y_0 , y D .

4. Para conocer el comportamiento que lleva el agua en el túnel, se calcula la velocidad del agua, el número de froude y energía específica haciendo uso de las ecuaciones descritas en el marco teórico.

Diseño de la tubería forzada

1. La longitud y pendiente de la tubería forzada se obtiene al igual que el túnel, por la configuración del terreno y la ubicación de las obras que le siguen a esta.
2. El diámetro interior de la tubería forzada se calcula por una ecuación que involucra el caudal de diseño y la altura última, la cual se estima con la ubicación de la cámara de carga, el túnel de desagüe, y la altura por efecto del golpe de ariete. Se recomienda un valor de altura por efecto del golpe de ariete del 30% de la altura útil.
3. Posteriormente se calcula el espesor de la tubería, donde la presión es la altura a la que se encontrará la tubería forzada. Dicha presión es igual a la altura última, la cual se encuentra por encima de la tubería.
4. Se calcula el fenómeno del golpe de ariete, ya que se generan sobrepresiones dentro de la tubería por el cierre repentino de válvulas las cuales pueden destruir a la tubería.
5. Seguidamente se calcula el espesor mínimo que debe tener la tubería para que no ocurra el fenómeno de golpe de ariete, y por último se compara el espesor de la tubería antes calculado, con el espesor correspondiente al golpe de ariete, siendo el espesor seleccionado, el

mayor de los dos, asegurando de esta manera la protección de la tubería.

6. El diámetro externo de la tubería forzada será la suma del espesor seleccionado previamente, con el diámetro interno de la tubería.

Diseño de la cámara de carga

1. Con la obtención del diámetro interno de la tubería forzada, se calcula la altura mínima de agua sobre la misma, donde la velocidad se determina con la ecuación de continuidad, siendo el área de la sección transversal la correspondiente a una sección circular.
2. Posteriormente, se establece la altura necesaria que evita el ingreso de sedimentos a la cámara de carga. Se recomienda que la altura de los sedimentos se encuentre en un rango entre 0,3 y 0,5 m. Como criterio, para la altura de los sedimentos se tomó el valor promedio del rango.
3. Con la altura mínima de agua sobre la tubería de presión, más el valor de la altura necesaria que evita el ingreso de sedimentos a la cámara de carga y el diámetro externo de la tubería forzada, se obtiene la altura necesaria de la cámara de carga.
4. Con el caudal de diseño, la longitud de la tubería forzada, la altura necesaria en la cámara de carga, la altura bruta, la altura por golpe de ariete y por el diámetro interior de la tubería de presión, se procede a calcular la longitud necesaria de la cámara de carga, valor que se compara con la longitud en diseño de la caída vertical. Se selecciona la mayor.
5. Para el cálculo de la longitud horizontal de la rejilla que irá en la cámara de carga, se determina hace uso de funciones

trigonométricas, partiendo de la longitud total y el ángulo de inclinación de la rejilla.

6. Ya obtenidos la longitud necesaria del tanque y la longitud horizontal de la rejilla, se determina la longitud total de la cámara de carga.
7. Se calcula la altura total de la cámara de carga, donde se asume para la altura del vertedero, un valor igual al diámetro del túnel de conducción de agua hacia la cámara de carga.
8. Por último se calcula el volumen y el ancho de la cámara de carga, por medio

Diseño de la turbina

1. Teniendo el valor de la potencia aprovechable (kW), con el salto neto y el caudal de diseño se entra a la “Gráfica de campo de utilización de los diferentes tipos de turbina” y se selecciona la más adecuada.
2. Se procede con el dimensionamiento de los componentes de la turbina, tales como el rodete, carcaza y tubería de aspiración. Previo a esto, se determinan las variables necesarias para el cálculo de las dimensiones de los componentes de la turbina, como la velocidad específica y el diámetro de descarga del rodete.
3. La velocidad específica se determina por medio de la gráfica de “Límites de velocidad específica para las turbina axiales y Francis” entrando con la altura neta de diseño, sin embargo tiene un ajuste debido a la selección del número de pares de polos (p) del alternador.
4. Para obtener el número de pares de polos del alternador, se calcula la velocidad síncrona de rotación y con una frecuencia de 60 Hz (frecuencia en turbinas aplicadas en Venezuela), se determina el número de pares de polos; estos se llevan a un valor múltiplo de 4 por encima, para facilitar la construcción. Debido a lo antes mencionado

se produce un ajuste en el cual se determina nuevamente el cálculo de la velocidad síncrona y finalmente se determina la velocidad específica de diseño.

5. El diámetro de la descarga del rodete, se determina haciendo uso de la velocidad específica de diseño y el coeficiente de la velocidad periférica.
6. Finalmente se calcula las dimensiones de los componentes de las turbinas, los cuales dependen de los valores de la velocidad específica y el diámetro de descarga del rodete.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se ubica la cámara de carga y el túnel de desagüe, y con el apoyo de los perfiles longitudinales se obtiene la altura útil para la turbina.

7. Posteriormente se calculan las pérdidas totales, la cual es igual a la sumatoria de las pérdidas primarias y secundarias. En las pérdidas primarias se obtiene el coeficiente de fricción del diagrama de Moody. Dicho coeficiente se lee interceptando el valor de la relación de rugosidad relativa y diámetro, con el número de Reynolds.
8. Para determinar las pérdidas secundarias en rejillas, se obtiene un coeficiente de pérdida. Se utilizó el tipo de rejillas finas, siendo estas las más usuales y con un tipo de limpieza mecánica que ofrece una inclinación de la rejilla entre 70° y 56° .
9. Para obtener el coeficiente de pérdidas en los codos, se selecciona el valor correspondiente de codos pocos pronunciados y se selecciona las válvulas de compuerta con un valor de k para válvulas abiertas.

Etapa VI: La factibilidad técnico económica del estudio

En esta penúltima fase se evaluará la factibilidad económica de implementar pequeñas centrales hidroeléctricas a los embalses de la cuenca

del río Unare para ser incorporadas como fuentes alternas de generación y distribución de energía a fin de satisfacer la demanda energética.

Fase III: Resultados.

Etapas VII: Análisis y conclusiones

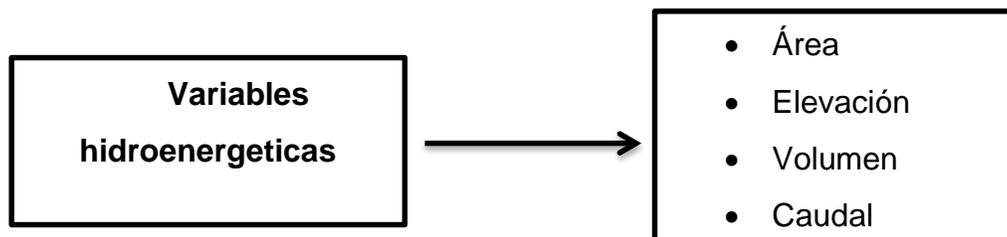
Esta última etapa se analizarán todas las previas fases que se originaron en esta investigación y se procederá a dar las conclusiones respectivas, estas involucran el diseño final de las pequeñas centrales hidroeléctricas en los embalses más factibles para su instalación.

CAPITULO IV

ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

La cuenca del rio Unare cuenta con una gran cantidad de embalses, pero en este trabajo de grado solo se tomaran en cuenta 3 embalses, debido a sus características, que son más propicias para la implementación de las PCH, estos embalses son

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES HIDROENERGETICAS



En este apartado se muestran y discuten los resultados obtenidos de la descripción de las variables hidroenergéticas del embalse, acordes a la fase metodológica 3 descrita en el capítulo III.

El análisis estadístico se efectúa para las variables: área, elevación, volumen y caudal

Debido a la gran cantidad de variables a estudiar, en este capítulo se presentan y discuten los resultados obtenidos para el análisis de la capacidad hidroenergética del embalse el pueblito, estado Anzoategui.

Se eligió el embalse el pueblito por ser el embalse con mayor caudal y el más óptimo, se harán todos los cálculos pertinentes para aplicar la PCH en el mismo.

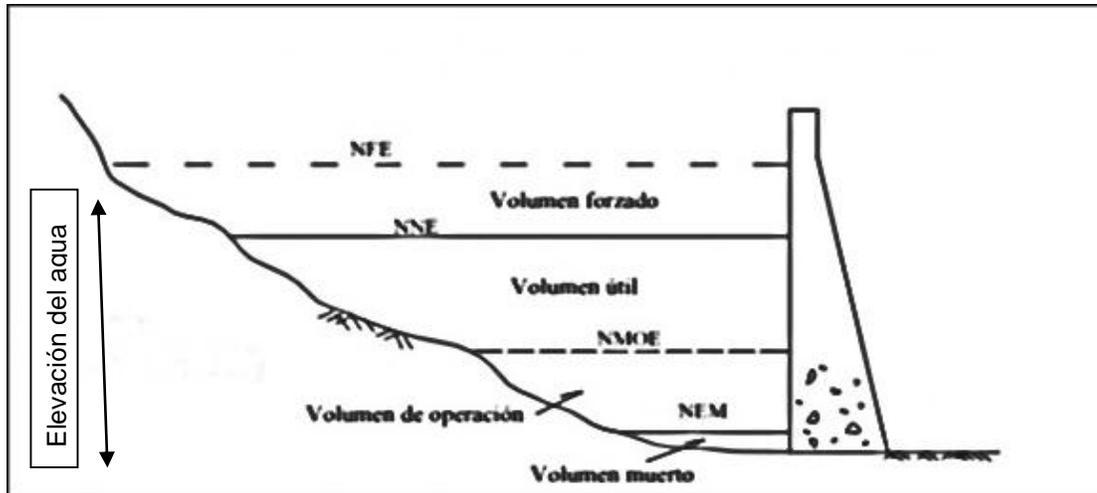
Descripción de las variables hidroenergéticas del embalse El pueblito

En este apartado se muestran y discuten los resultados obtenidos de la descripción de las variables hidroenergéticas del embalse El pueblito, estado Anzoategui, acordes a la fase metodológica 3 descrita en el capítulo III.

El análisis estadístico se efectúa para las variables: elevación, volumen, área; cada una de ellas cuenta con un total de 120 datos, definidos estadísticamente con un nivel de confianza del 95%. El período de estudio abarca 5 años, iniciando en enero de 2011 hasta diciembre de 2015.

Descripción estadística para la variable elevación de agua en el embalse El pueblito, Estado Anzoátegui

A continuación se describe la variable elevación de agua en el embalse. El análisis de esta variable es importante ya que con su estudio se podrá estimar la carga de agua con la que contará la turbina para su



funcionamiento

Figura 4.1. Elevación del agua en un embalse

Tabla 4.1:

Resumen estadístico para la variable elevación de agua. Embalse El pueblito (2011-2015).
Coordenadas: N 9°35'39.3" 68°09'27.1" W. Elevación de fondo: 112 m.s.n.m

Elevación de agua (m.s.n.m)	
Recuento	120
Promedio	77,7617
Mediana (P ₅₀)	77,8
Desviación Estándar	2,51515
Coefficiente de Variación	3,23443%
Mínimo	72,8
Máximo	84,0
Rango	11,2
Sesgo Estandarizado	1,59161
Curtosis Estandarizada	-0,686494
Primer Cuartil (P ₂₅)	75,7
Tercer Cuartil (P ₇₅)	78,8
Nivel de Confianza	95%

De acuerdo a la Tabla 8, para la variable elevación, se obtiene un valor promedio de 77,7617 m.s.n.m con variabilidad de 2,51515 m. Entre la elevación mínima y elevación máxima de aguas registrada en el embalse, existe una diferencia de 11,2 m. Se observa además, que el 50% de los datos están comprendidos entre el primer cuartil (P₂₅) igual a 127,65 m.s.n.m, y el tercer cuartil (P₇₅) igual a 130,50 m.s.n.m.

Los valores mínimos y máximo de la elevación de agua registrada en la Tabla 8 reflejan la poca variabilidad que existe en los niveles del embalse, ya que el rango de movimiento de la variable es de apenas 11,2 m en el período de estudio.

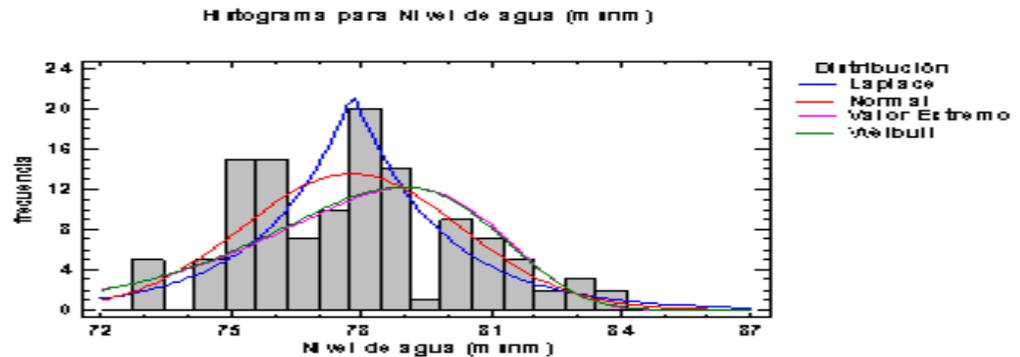


Figura 4.2. Ajuste de distribuciones para la variable elevación de agua.

Embalse El Pueblito

Tabla 4.2:

Comparación de distribuciones alternas para la variable elevación de agua. Embalse El Pueblito

*Nota: *Distribución que más se ajusta a la variable*

En la Figura 44 se observa que la distribución de probabilidad que más se ajusta al comportamiento de la variable elevación, es la distribución normal, ya que presenta un estadístico log verosimilitud igual a -7702,4 de acuerdo a la Tabla 9.

A continuación, se muestra de que manera están distribuidos los datos y con qué frecuencia ocurren:

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud	KS D
*Normal	2	-7702,4	0,0455508
Valor Extremo Más Chico	2	-7748,28	0,0473787
Weibull	2	-7813,67	0,0661894
Laplace	2	-8045,56	0,0646547

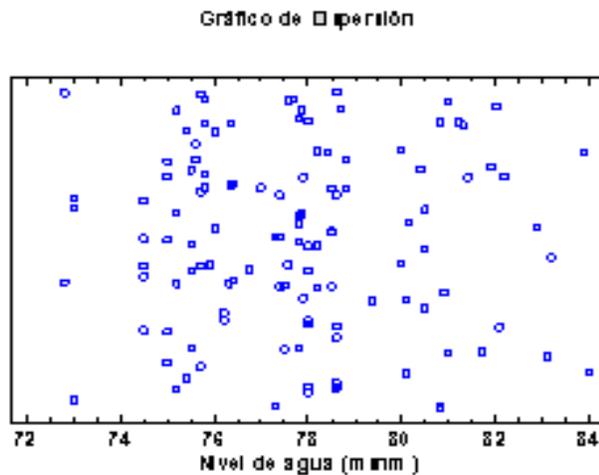


Figura 4.3 *Dispersión para la variable elevación.*
Embalse El pueblito

En la Figura 45 se observa un poco la dispersión de datos respecto del valor promedio. Para respaldar esta afirmación se tiene, que el valor del coeficiente de variación es igual a 3,23443% en base al resumen estadístico presentado para la variable elevación.

De acuerdo a Maneiro y Mejías (2010), cuanto mayor es el coeficiente de variación, mayor es la dispersión de los datos y menor la representatividad de la media. En este caso, se tiene un coeficiente de variación muy pequeño, es decir, que la desviación estándar equivale a 1,45% del valor promedio ($Cv = 0,0145$); por ende la distribución es homogénea y además la media es un valor representativo del conjunto de datos.

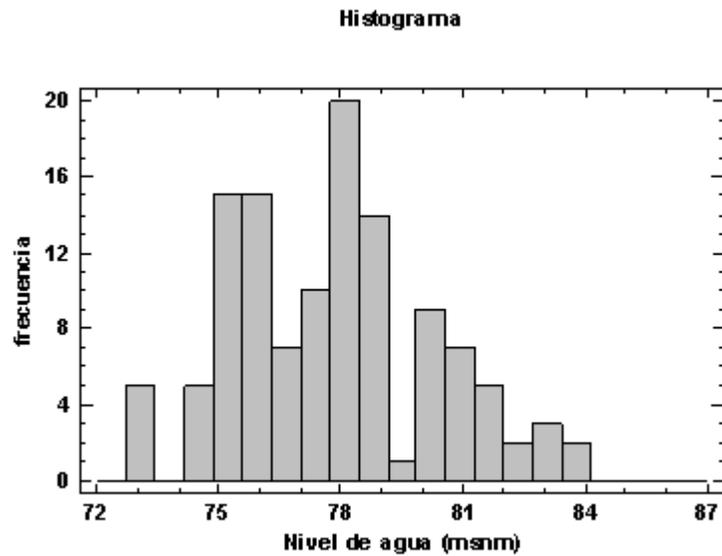


Figura 4.4 Histograma de frecuencia relativa para variable elevación.
Embalse El Pueblito

Tabla 4.3:

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa
	Menor o igual	72		0	0
1	72	72,7143	72,3571	0	0,0000
2	72,7143	73,4286	73,0714	5	0,0417
3	73,4286	74,1429	73,7857	0	0,0000
*4	74,1429	74,8571	74,5	5	0,0417
*5	74,8571	75,5714	75,2143	15	0,1250
6	75,5714	76,2857	75,9286	15	0,1250
7	76,2857	77,0	76,6429	7	0,0583
8	77	77,7143	77,3571	10	0,0583
	mayor de	87		0	0

Frecuencia relativa de la variable elevación. Embalse El Pueblito

*Nota: *Valores que ocurren con mayor frecuencia*

En base a la información mostrada en la Figura 46 y en la Tabla 10, las elevaciones que se presentan con mayor frecuencia, están por debajo del nivel máximo de aguas del embalse igual a 132,50 m.s.n.m. Estos valores se encuentran dentro de la clase que va desde 129,0 m.s.n.m hasta 130,25 m.s.n.m, sin incluir este último. Se dan con una frecuencia absoluta de 878 y frecuencia relativa del 23,33% durante el período de estudio.

Descripción estadística para la variable volumen de agua del embalse El Pueblito, Estado Anzoategui

A continuación se describe la variable volumen de agua. Esta variable representa los millones de metros cúbicos de agua que contiene el embalse.

Tabla 4.4:

Resumen estadístico para la variable volumen. Embalse El Pueblito (2011-2015).

Volumen (Hm³)	
Recuento	120
Promedio	239,783
Mediana (P ₅₀)	240,0
Desviación Estándar	100,929
Coefficiente de Variación	42,0917%
Mínimo	80,0
Máximo	420,0
Rango	340,0
Sesgo Estandarizado	0,684727
Curtosis Estandarizada	-3,03502
Primer Cuartil (P ₂₅)	141,0
Tercer Cuartil (P ₇₅)	334,5
Nivel de Confianza	95%

Coordenadas: N 9°35'39.3" 68°09'27.1" W

De acuerdo la información presentada en la Tabla 12, se tiene un volumen de agua embalsada promedio igual a $239,783 \text{ Hm}^3$, con una variabilidad de $100,929 \text{ Hm}^3$. Entre el volumen mínimo y el volumen máximo registrado, existe una diferencia de $340,0 \text{ Hm}^3$. Se observa además, que el 50% de los datos se encuentran entre $205,55 \text{ Hm}^3$ y $318,20 \text{ Hm}^3$.

El valor máximo de volumen registrado en la Tabla 12 supera en $44,34 \text{ Hm}^3$ al volumen que corresponde al actual nivel máximo operacional del embalse, el cual es $419,66 \text{ Hm}^3$, según la ficha técnica del embalse El Pueblito, corroborando una vez más, la ocurrencia de eventos máximos en el periodo de estudio.

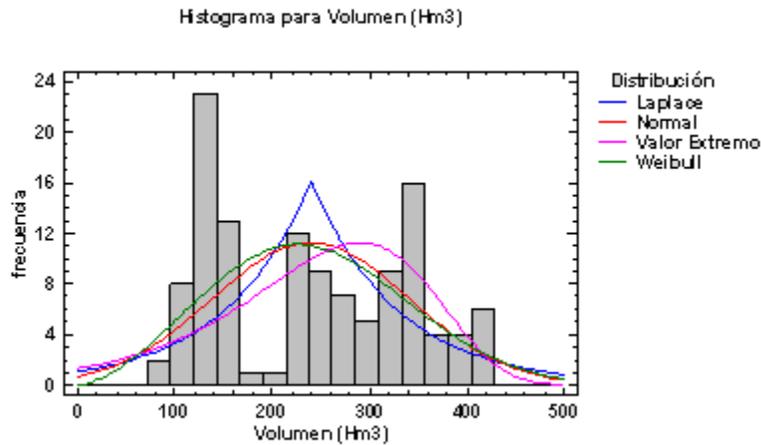


Figura 4.5. Ajuste de distribuciones para la variable volumen
Embalse El Pueblito

Tabla 4.5:

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud	KS D
*Weibull	2	-21452,5	0,0386427
Valor Extremo Más Chico	2	-21728,7	0,0823902
Normal	2	-21468,9	0,0395465
Laplace	2	-21829,3	0,0677692

Comparación de distribuciones alternas para la variable volumen. Embalse El Pueblito

*Nota: *Distribución que más se ajusta a la variable*

En la Figura 49 se observa que la distribución de probabilidad que más se ajusta al comportamiento de la variable volumen, es la distribución weibull, ya que presenta un estadístico log verosimilitud igual a -0,0386427 de acuerdo a la Tabla 13.

Esta distribución está descrita según el parámetro de forma igual a 3,99157 y el parámetro escala igual a 287,608 y es una alternativa a la distribución normal, en caso de que existan datos asimétricos, como ocurren en este caso.

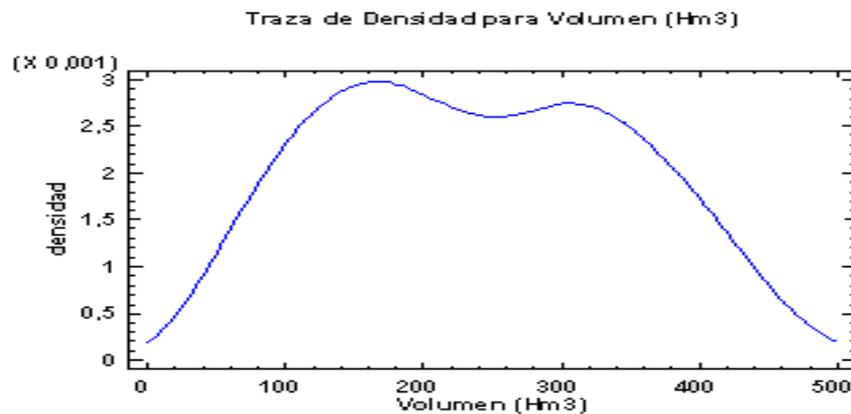


Figura 4.6. *Distribución normal y distribución weibull para la variable volumen Embalse El Pueblito*

La distribución weibull que se ajusta a la variable volumen, presenta asimetría positiva. La distribución no se comporta de manera normal en su totalidad, pero se aproxima mucho a ella.

A continuación, se muestra de que manera están distribuidos los datos y con qué frecuencia ocurren:

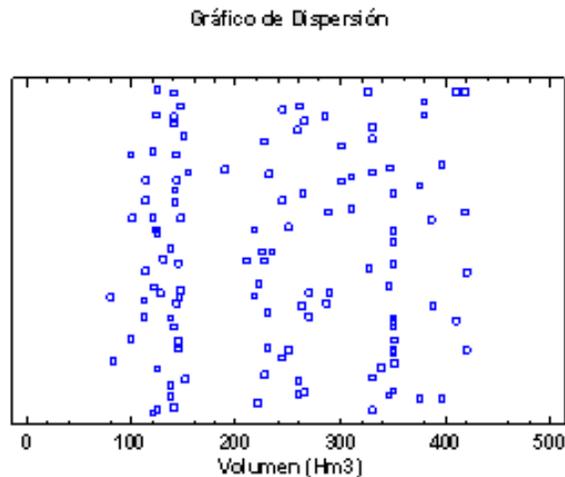


Figura 4.7. Gráfico de dispersión para la variable volumen.

Embalse El Pueblito

En la Figura 4.7 se observa mayor concentración de datos por debajo del volumen promedio; por encima de él, existe una considerable dispersión, es decir, existe heterogeneidad.

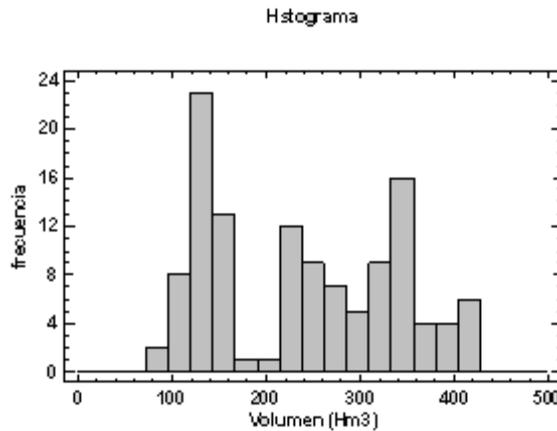


Figura 4.8. Histograma de frecuencia relativa para la variable volumen
Embalse El Pueblito.

Tabla 4.6:

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa
	Menor o igual	0		0	0
1	0	23,8095	11,9048	0	0
2	23,8095	47,619	35,7143	0	0,0000
3	47,619	71,4286	59,5238	0	0,0000
4	71,4286	95,2381	83,3333	2	0,0167
*5	95,2381	119,048	107,143	8	0,0667
6	119,048	142,857	130,952	23	0,1917
7	142,857	166,667	154,762	13	0,1083
8	166,667	190,476	178,571	1	0,0083
	mayor de	500		0	0

Histograma de frecuencia relativa para la variable volumen. Embalse El Pueblito

*Nota: *Valores que ocurren con mayor frecuencia*

Según la Figura 4.8 y la Tabla 14, es frecuente encontrar volúmenes embalsados de agua que van desde 250,0 Hm³ a 312,5 Hm³, sin incluir éste último. Esta clase presenta una frecuencia absoluta de 1032 y frecuencia relativa del 27,42%. El valor promedio se encuentra dentro de los valores que ocurren con mayor frecuencia.

Descripción estadística para la variable área del embalse *El Pueblito*, Estado Anzoátegui

A continuación se describe la variable área del embalse. Esta variable representa el área inundada o también llamada espejo de agua del embalse.

Tabla 4.7:

Resumen estadístico para la variable área. Embalse El Pueblito (2011 - 2015).

Área (Ha)	
Recuento	120
Promedio	3854,56
Mediana (P ₅₀)	4023,75
Desviación Estándar	1005,5
Coefficiente de Variación	26,086%
Mínimo	2114,6
Máximo	5634,1
Rango	3519,5
Sesgo Estandarizado	-0,0725444
Curtosis Estandarizada	-2,73495
Primer Cuartil (P ₂₅)	2949,9
Tercer Cuartil (P ₇₅)	4693,55
Nivel de Confianza	95%

Coordenadas: N 9°35'39.3" 68°09'27.1" W

De acuerdo a la Tabla 15 se obtiene para el área inundada del embalse, un valor promedio igual a 3854,56 Ha, con una variabilidad de 1005,5 Ha. Entre el área mínima y el área máxima registrada existe una diferencia de 3519,5 Ha. Se observa además que el 50% de los valores se encuentran entre 3497 Ha y 4572 Ha.

Se evidencia en la Tabla 15 que el área promedio se aproxima al valor máximo de la variable, indicando de esta manera, un área inundada cercana al área que corresponde al nivel máximo operacional del embalse, siendo esta igual a 5700 Ha, según la ficha técnica del embalse *El Pueblito*.

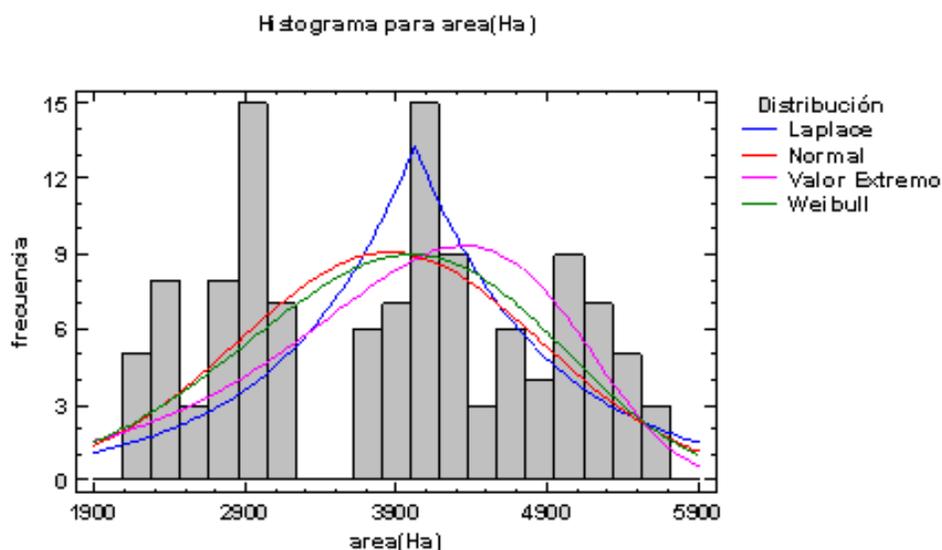


Figura 4.9 Ajuste de distribuciones para la variable área.
 Embalse El Pueblito

Tabla 4.8:

Comparación de distribuciones alternas para la variable volumen. Embalse El Pueblito

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud	KS D
*Normal	2	-29988,7	0,0423129
Weibull	2	-30003,5	0,0392842
Valor Extremo Más Chico	2	-30145,2	0,0637376
Laplace	2	-30346,8	0,062056

*Nota: *Distribución que más se ajusta a la variable*

En la Figura 4.9 se observa que la distribución de probabilidad que más se ajusta al comportamiento de la variable área, es la distribución normal, ya que presenta un estadístico log verosimilitud igual a -29988,7 de acuerdo a la Tabla 16.

A continuación, se muestra de que manera están distribuidos los datos y con qué frecuencia ocurren

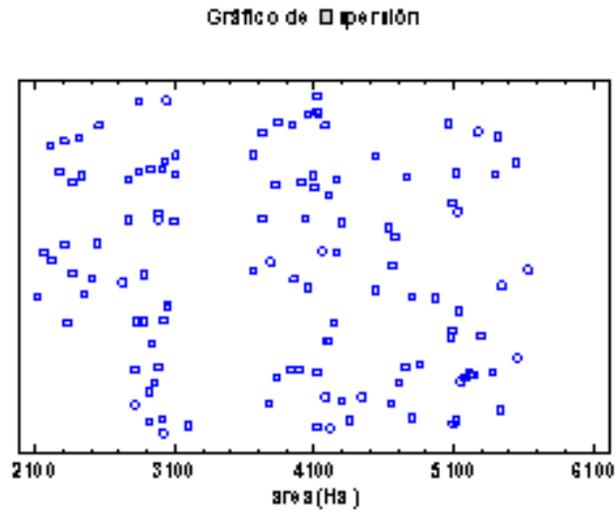


Figura 4.10 *Dispersión para la variable área.*

Embalse El Pueblito

En la Figura 4.10 se observa una leve dispersión de datos por encima del valor promedio. Para respaldar esta afirmación se tiene que el valor del coeficiente de variación es igual a 17,43% de acuerdo al resumen estadístico presentado para la variable área.

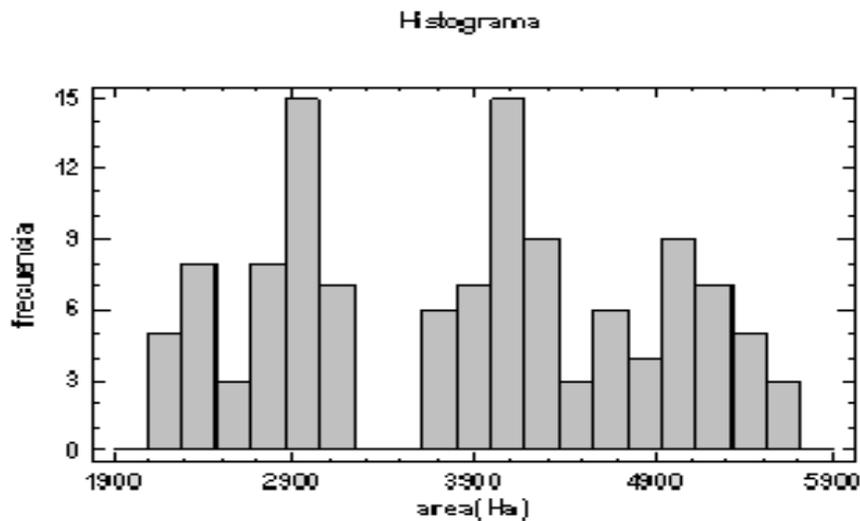


Figura 4.11 relativa para Histograma de frecuencia la variable área.

Embalse El Pueblito

Tabla 4.9.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa
	menor o igual	1900		0	0
1	1900	2090,48	1995,24	0	0,0321
2	2090,48	2280,95	2185,71	5	0,0417
3	2280,95	2471,43	2376,19	8	0,1083
*4	2471,43	2661,9	2566,67	3	0,1333
5	2661,9	2852,38	2757,14	8	0,2000
6	2852,38	3042,86	2947,62	15	0,3250
7	3042,86	3233,33	3138,1	7	0,3833
8	3233,33	3423,81	3328,57	0	0
	mayor de	5900		0	0

Histograma de frecuencia relativa para la variable área. Embalse El Pueblito

*Nota: *Valores que ocurren con mayor frecuencia*

De acuerdo a la Tabla 17, los valores de área inundada del embalse que se registran con mayor frecuencia, van desde 3800 Ha hasta 4300 Ha, sin incluir este último. Se dan con una frecuencia absoluta de 956 y frecuencia

relativa de 25,40%. El valor promedio se encuentra dentro de la clase que ocurre con mayor frecuencia.

Descripción estadística para la variable Caudal del embalse *El Pueblito*, Estado Anzoátegui

A continuación se describe la variable caudal de entrada del embalse. Este caudal es el aportado por las lluvias y por los afluentes del embalse

Tabla 4.10:

Resumen estadístico para la variable Caudal. Embalse El Pueblito (2011 - 2015).

Caudal (m³/s)	
Recuento	60
Promedio	4,55247
Mediana (P ₅₀)	1,92901
Desviación Estándar	5,89086
Coficiente de Variación	129,399%
Mínimo	0
Máximo	23,9198
Rango	3519,5
Sesgo Estandarizado	5,90416
Curtosis Estandarizada	4,62246
Primer Cuartil (P ₂₅)	0,7716059
Tercer Cuartil (P ₇₅)	5,59414
Nivel de Confianza	95%

Coordenadas: N 9°35'39.3" 68°09'27.1" W

De acuerdo con la Tabla 19, el caudal promedio que ingresa al embalse es igual a 4,55247 m³/s con una variabilidad de 5,89086 m³/s. Entre el caudal mínimo de entrada y el caudal máximo de entrada registrado existe una diferencia de 3519,5 m³/s. Se observa además que el 50% de los caudales que ingresan diariamente al embalse se encuentran por debajo de 0,46 m³/s asimismo, estos están comprendidos entre los valores 0,19 m³/s y 1,20 m³/s.

Se evidencia que la desviación estándar es mucho mayor al valor promedio, esto sugiere que durante el período de estudio, se presentaron gran cantidad de caudales extremos.

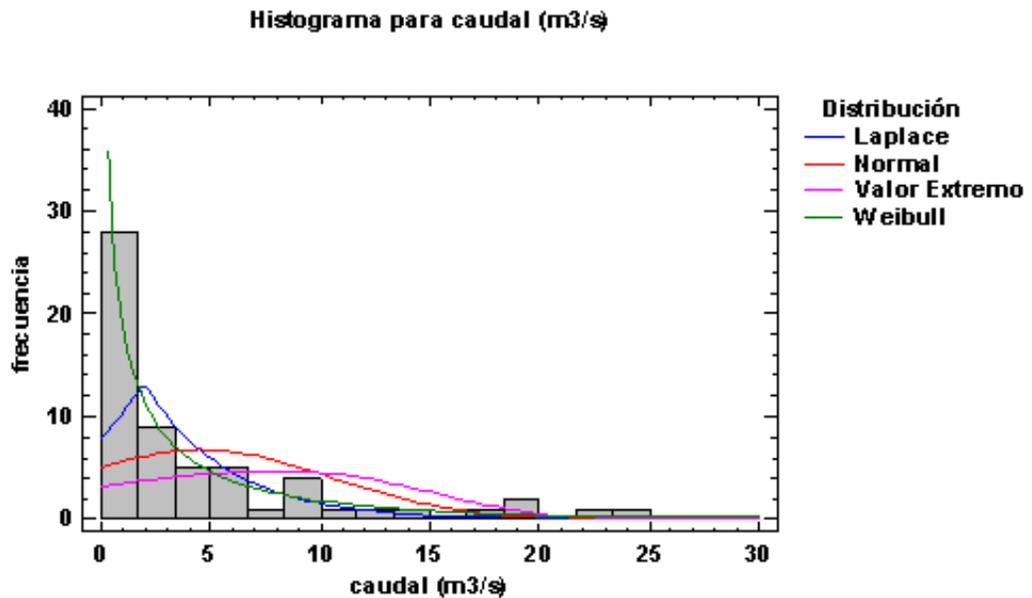


Figura 4.12. Ajuste de distribuciones para la variable área.
Embalse El Pueblito

En la Figura 53 se observa que la distribución de probabilidad que más se ajusta al comportamiento de la variable caudal de entrada, es la distribución weibull, ya que presenta un estadístico log verosimilitud igual a -3150,05 de acuerdo a la Tabla 20.

Esta distribución está descrita según el parámetro de forma igual a 0,913289 y el parámetro escala igual a 0,817027 y es una alternativa a la distribución normal, en caso de que existan datos asimétricos, como ocurren en este caso.

Traza de Densidad para caudal (m³/s)

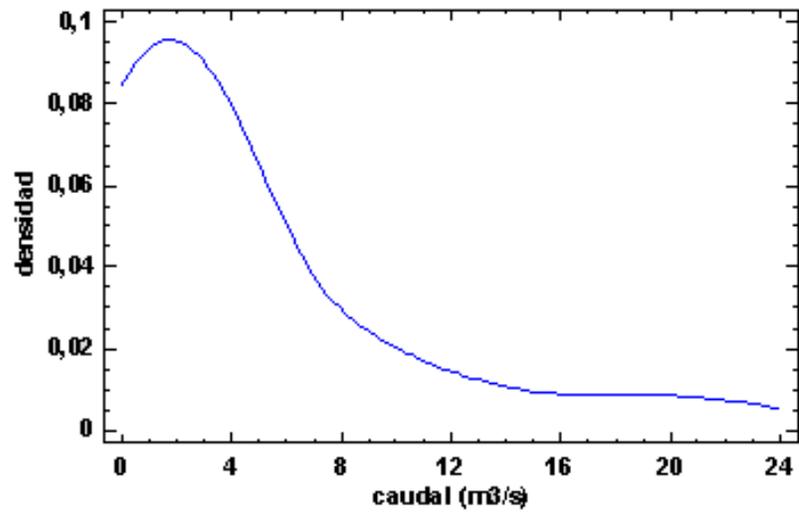


Figura 4.13 Densidad para la variable caudal de entrada.
Embalse El pueblito

Tabla 4.11:

Comparación de distribuciones alternas para la variable caudal. Embalse El Pueblito

Distribución	Parámetros Est.	Log Verosimilitud	KS D
*Normal	2	-29988,7	0,0423129
Weibull	2	-30003,5	0,0392842
Valor Extremo Más Chico	2	-30145,2	0,0637376
Laplace	2	-30346,8	0,062056

*Nota: *Distribución que más se ajusta a la variable*

A continuación, se muestra de que manera están distribuidos los datos y con qué frecuencia ocurren

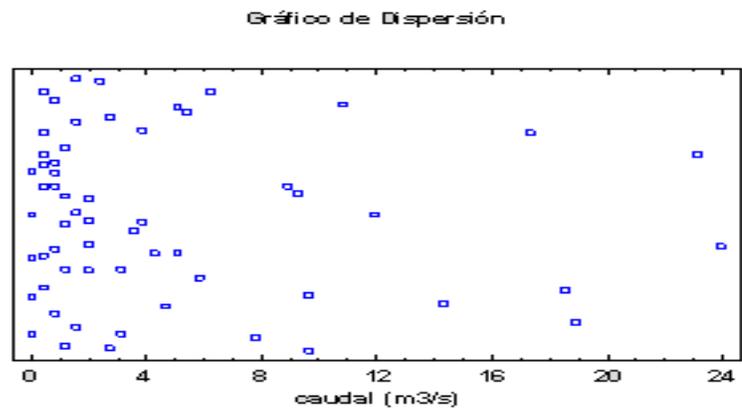


Figura 4.14. *Dispersión para la variable caudal.*

Embalse El Pueblito

En la Figura 54 se observa una leve dispersión de datos por encima del valor promedio. Para respaldar esta afirmación se tiene que el valor del coeficiente de variación es igual a 17,43% de acuerdo al resumen estadístico presentado para la variable area.

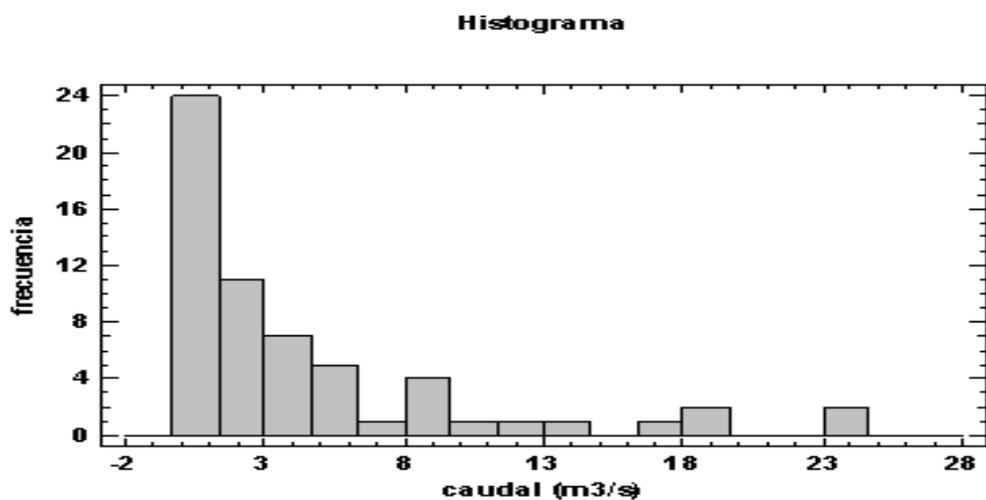


Figura 4.15. *Histograma de frecuencia relativa para la variable caudal.*

Embalse El Pueblito

Tabla 4.12.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa
	menor o igual	1900		0	0
1	1900	2090,48	1995,24	0	0,0321
2	2090,48	2280,95	2185,71	5	0,0417
3	2280,95	2471,43	2376,19	8	0,1083
*4	2471,43	2661,9	2566,67	3	0,1333
5	2661,9	2852,38	2757,14	8	0,2000
6	2852,38	3042,86	2947,62	15	0,3250
7	3042,86	3233,33	3138,1	7	0,3833
8	3233,33	3423,81	3328,57	0	0
	mayor de	5900		0	0

Histograma de frecuencia relativa para la variable área. Embalse El Pueblito

*Nota: *Valores que ocurren con mayor frecuencia*

De acuerdo a la Tabla 17, los valores de área inundada del embalse que se registran con mayor frecuencia, van desde 3800 Ha hasta 4300 Ha, sin incluir este último. Se dan con una frecuencia absoluta de 956 y frecuencia relativa de 25,40%. El valor promedio se encuentra dentro de la clase que ocurre con mayor frecuencia.

Análisis comparativo

A continuación se realiza un análisis comparativo estadístico entre las variables elevación, volumen y área del embalse *El Pueblito*.

Tabla 4.12:

Comparación de coeficientes de variación de las variables nivel, volumen y área.

VARIABLE	Media (\bar{X})	Mediana (P_{50})	Desviación estándar (S)	Coeficiente de Variación	Coeficiente de Variación (%)
ELEVACION (m.s.n.m)	77,7617	77,8	2,51515	0,0145	3,23443%
VOLUMEN (Hm ³)	239,783	240,0	100,929	0,2789	42,0917%
AREA (Ha)	3854,56	4023,75	1005,5	26,086%	26,086%

En la Tabla 18 se observa que la desviación estándar de la variable volumen equivale al 27,89% del promedio, mientras que para la variable área, su desviación estándar es el 17,43% de su valor promedio; asimismo sucede con la variable elevación, donde la desviación estándar es solo el 1,45% de su valor medio.

De acuerdo a los coeficientes de variación, el volumen y el área presentan mayor dispersión en sus datos respecto al valor promedio. Esto evidencia la heterogeneidad de ambas variables, generada en parte por la pérdida de millones de metros cúbicos en capacidad de almacenamiento de agua en el embalse, que se produce cada año a causa de la sedimentación. Es decir, se produce una reducción del área inundada del embalse, por lo tanto, se reduce la capacidad útil del mismo.

A pesar de que los coeficientes de variación de volumen y de área son elevados, el promedio sigue siendo un valor representativo de cada variable, ya que no existen valores aberrantes que puedan distorsionar la media, como se aprecia en la Figura 56.

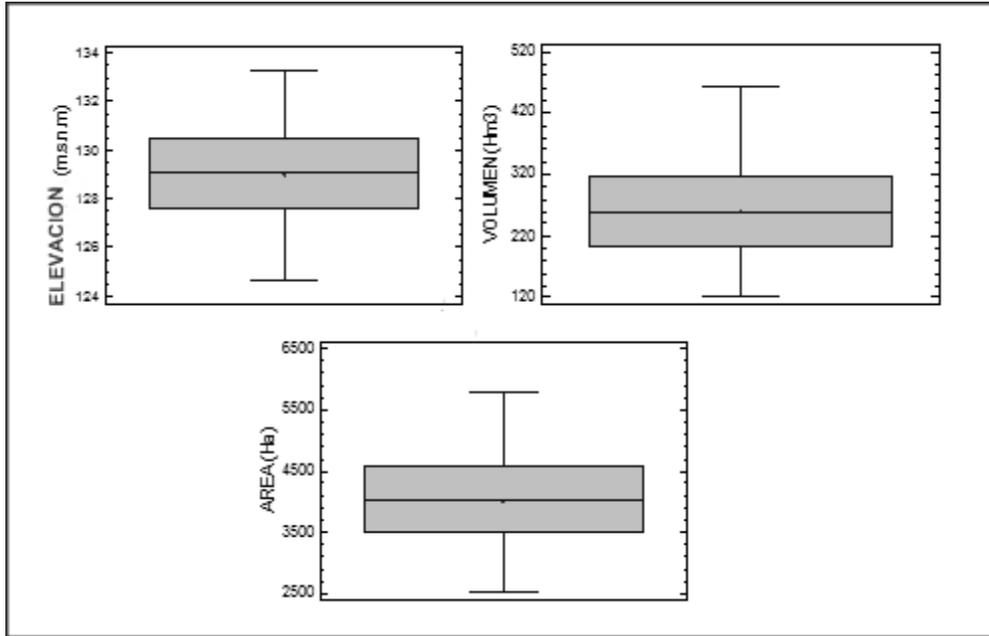


Figura 4.16. Diagrama de caja y bigotes para las variables elevación, volumen y área.

Embalse El Pueblito

Series de tiempo para las variables hidroenergéticas

A continuación se describen las series de tiempo para las variables hidroenergéticas del embalse El Pueblito, Estado Anzoátegui.

-Serie de tiempo para las variables elevación, volumen y área

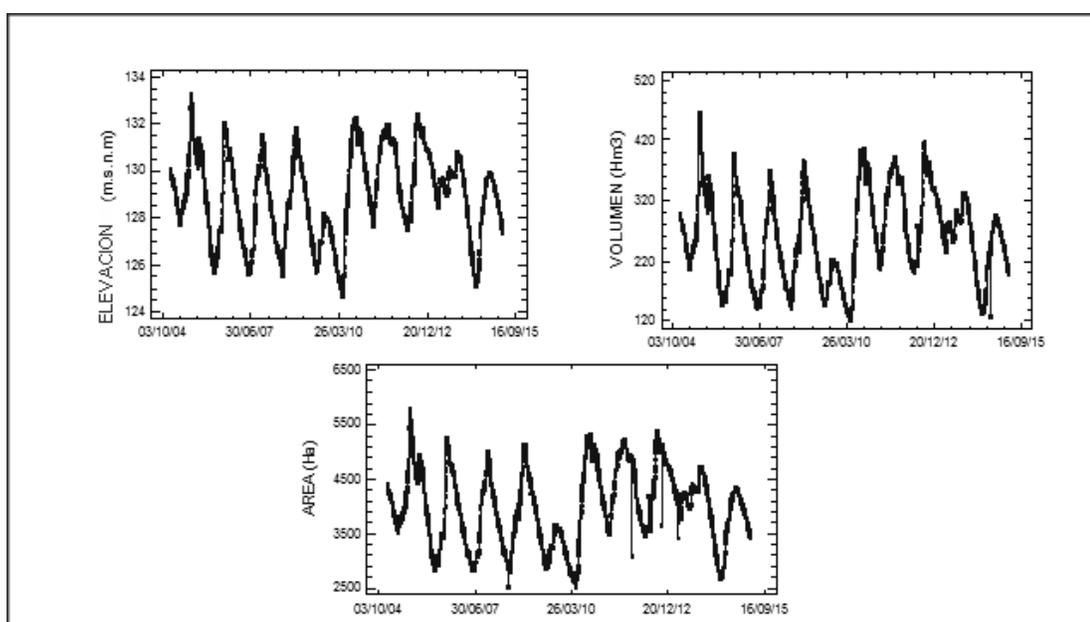


Figura 4.17 *Serie de tiempo para las variables elevación, volumen y área.
Embalse El Pueblito (2011-2015).*

De acuerdo a la Figura 81, no se podría hablar de una tendencia marcada ni al alza ni a la baja de las series, sin embargo, se tiene un comportamiento estacional traducido en subidas y bajadas que se repiten en un período de tiempo asociado a las estaciones del año. Se observa que para los meses entre julio y agosto se dan los valores más elevados de la

serie, mientras que para el primer trimestre del año se producen caídas considerables, donde se generan los picos más bajos.

Además de la componente estacional presente en las series, se evidencia una componente cíclica que inicia aproximadamente a mitad del año 2009 y se extiende hasta mitad del año 2010, este comportamiento se repite entre los años 2014 y 2015. Para estos períodos se observa que a mitad de año, se alcanzan los niveles mínimos aumentando muy poco en los meses de invierno, muy por debajo del nivel normal del embalse.

Otra característica importante de las series de tiempo mostradas, es que en general se mantienen cercana a su valor promedio. A partir de julio de 2010 hasta principios del 2014 se evidencia poca variabilidad en los datos comparados con los años anteriores

Resumen estadístico para las variables hidroenergéticas del embalse El Pueblito Estado Anzoátegui

Tabla 4.13. Resumen estadístico para las variables hidroenergéticas. Embalse El Pueblito

Variable	Promedio	Mediana	Valor Representativo	Valor Max	Valor Min	Frecuencia de valores iguales o mayores al valor representativo
<i>NIVEL(m.s.n.m)</i>	128,95	129,07	128,95	133,27	124,66	841/3764
<i>VOLUMEN(Hm3)</i>	260,30	257,30	260,30	464,00	121,20	1032/3764
<i>AREA(Ha)</i>	4005,44	4012	4005,44	5788	2525	956/3764
<i>CAUDAL DE ENTRADA(m3/s)</i>	0,86	0,46	0,46	28,84	0,00045	3696/3764

Potencial Hidroeléctrico

Caudal disponible

El embalse El Pueblito dispone de caudales que pudiesen usarse para la generación de energía eléctrica. Estos caudales son: caudal ecológico, caudal de extracción y caudal de alivio.

Según HIDROCENTRO, el caudal de extracción equivale al 77% del caudal regulado del embalse el cual es igual a 9,8 m³/s mientras que el caudal ecológico representa solo el 21%. El caudal de alivio no se considera en este estudio, ya que solo ocurre en épocas lluviosas, cuando el nivel de la cresta del vertedero es superado por el nivel de aguas del embalse.

Según la empresa HIDROCENTRO desde el año 2001 se está extrayendo hasta 7,5 m³/s para cumplir con el propósito principal del embalse, el cual es abastecer de agua a la región central del país. Además se informa que se tiene proyectado incrementar la extracción hasta 15 m³/s, ya que se espera aumentar la capacidad mecánica de los equipos de bombas. Es por esta razón, que se descarta su uso.

En este estudio se plantean dos alternativas que solo toman en cuenta el caudal ecológico como referencia para obtener un caudal de diseño.

Con el apoyo de la Tabla de frecuencia relativa de caudal ecológico (Ver Tabla 29) y la gráfica 83 se escoge un caudal de 1 m³/s para la primera alternativa. Para la segunda alternativa es el mismo caudal, solo que por tratarse de una bifurcación que se genera en la tubería de gasto ecológico, el

caudal se divide en dos: $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ sigue por la tubería de gasto ecológico y $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ que sigue hacia la turbina.

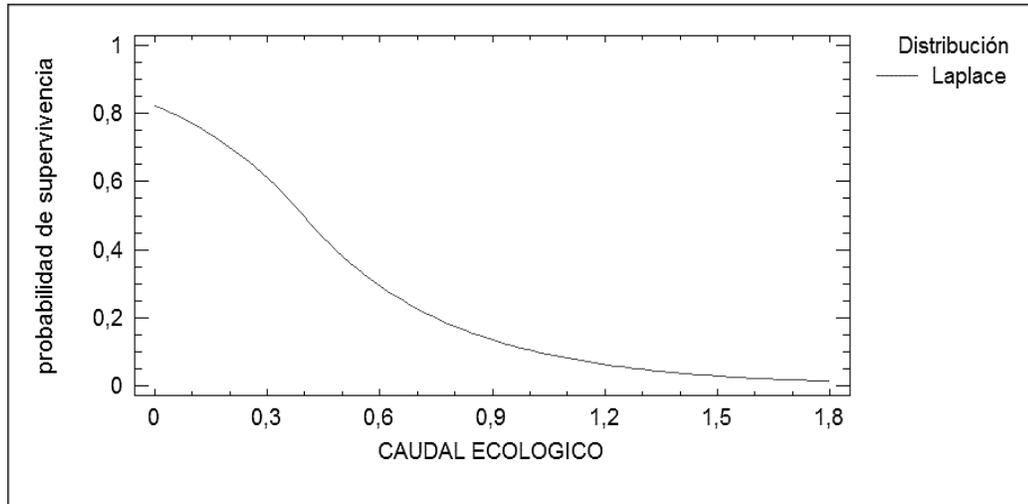


Figura 4.18. *Función supervivencia para la variable caudal ecológico.*
Embalse El Pueblito.

Para seleccionar la elevación o nivel en donde será dispuesto el túnel de conducción para la alternativa I y, con quien se establecerá referencia para obtener el salto de diseño en la alternativa II, se hace un estudio de supervivencia de la variable elevación para saber qué nivel presenta un alto porcentaje de supervivencia en el tiempo. En este trabajo de investigación se seleccionó la elevación 127 m.s.n.m, pues a pesar de que no se trata de la elevación promedio de aguas del embalse, presenta un porcentaje alto de supervivencia, ocurre con mucha frecuencia y además el pronóstico para la variable es favorable, obteniendo valores futuros superiores a él, con un nivel de confianza del 95%. En la Figura 84 se observa el pronóstico realizado para esta variable.

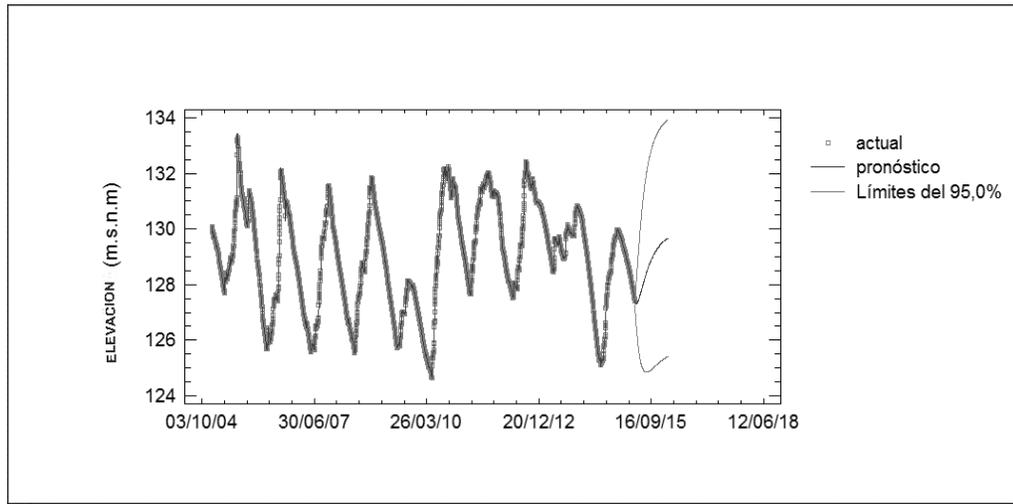


Figura 4.19 *Pronósticos para la variable elevación*
Embalse El Pueblito

Diseño de las obras civiles del sistema de generación hidroeléctrica en el Embalse El Pueblito, Estado Anzoátegui

En este trabajo de investigación se presentan dos alternativas de diseño de un sistema de generación hidroeléctrica, cada una de ellas viene acompañada con el trazado y ubicación de las obras civiles que la conforman.

ALTERNATIVA I

En esta alternativa se realiza el diseño de un sistema de generación hidroeléctrica del tipo “Centrales de embalse o regulación, por derivación de las aguas”.

El trazado y la ubicación de las obras a diseñar para esta alternativa, se muestran en la figura 86.



Figura 4.20. Ubicación de las obras civiles en el Embalse El Pueblito. Alternativa I

A continuación se presentan los resultados obtenidos del diseño de cada uno de los elementos que conforman el sistema de generación hidroeléctrica del embalse El Pueblito, asociados a la alternativa I.

Diseño del Túnel de Conducción

El túnel de conducción representa el canal que conducirá el agua necesaria del embalse El Pueblito, hacia la cámara de carga. El material de construcción del mismo es de concreto con acabado liso, con una rugosidad de 0,012.

La elevación del túnel de conducción en la entrada es de 127 m.s.n.m, ya que es un valor que tiene alto porcentaje de permanencia en el tiempo. De

esta manera se asegura la elevación del agua en la cámara de carga, de donde parte la turbina forzada que llegara a la turbina

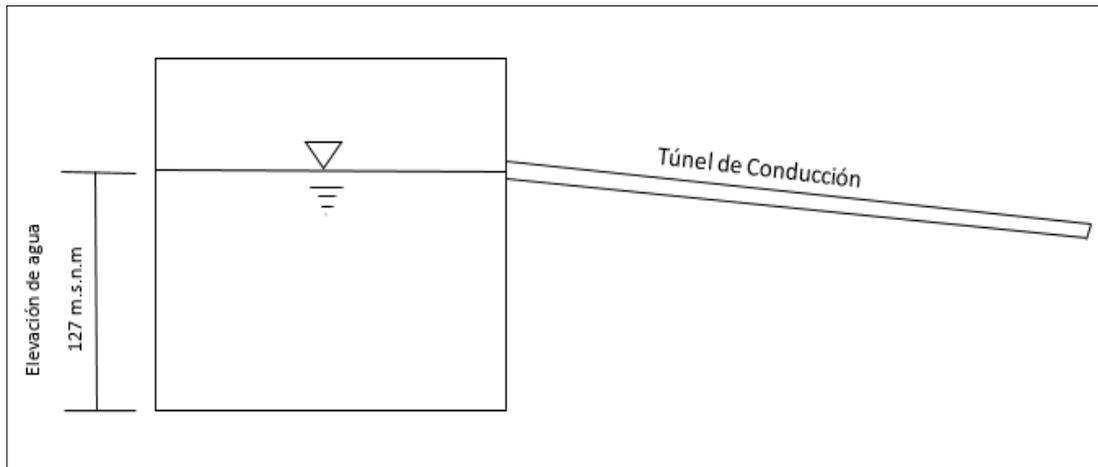


Figura 4.21. Elevación de diseño del túnel de conducción

Las Tablas 34, 35 y 36 que se muestran a continuación, presentan las dimensiones y elementos geométricos del túnel de conducción, así como también las características del flujo en el canal.

Tabla 4.14:

Dimensiones del túnel de conducción

Diámetro (m)	1,070
Longitud (m)	129,850
Pendiente, i (%)	0,200

Según Castro (2006), los túneles o canales de conducción deben ser construidos con muy poca pendiente ya que el agua debe trasladarse a baja velocidad para evitar al máximo pérdidas de carga.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se tiene una pendiente de diseño del túnel de conducción igual a 0,20% de acuerdo con la Tabla 34, lo que indica que las pérdidas a generarse son bastante bajas, ya que no se produce una fricción considerable entre las partículas del agua y las paredes del túnel. Esto se debe también a la poca velocidad que lleva el fluido dentro del túnel.

Tabla 4.15:

Elementos geométricos del túnel de conducción

Profundidad Normal, y_0 (m)	0,671
Espejo de agua, T (m)	1,035
Área, A (m^2)	0,594
Perímetro, P (m)	1,957
Radio Hidráulico, R (m)	0,304
Borde Libre, F (m)	0,399

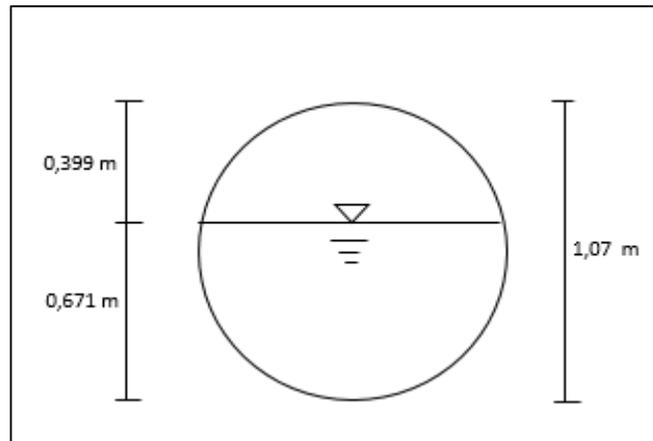


Figura 4.22. *Diámetro, profundidad del agua y borde libre del túnel de conducción*

El borde libre, según Sparrow (2008), debe ser siempre superior a los 30 cm para los canales más pequeños y hasta 1,20 m en canales donde transite caudales de hasta 85 m³/s.

El borde libre de diseño en el túnel, señalado en la Tabla 35, se encuentra dentro del rango establecido por Sparrow, con un valor de 0,3985 m. Esto indica que no existe rebose de agua que ocasione daños al terreno.

Por su parte, Llamozas (2010) recomienda un borde libre mínimo y máximo en función del gasto, donde indica un mínimo de 20 cm y un borde máximo de 50 cm cuando el caudal es de 1 m³/s. El borde libre calculado también entra en este rango de diseño, ya que para esta alternativa se cuenta con un caudal igual a 1 m³/s

Tabla 4.16:

Características del flujo en el túnel de conducción

Velocidad V (m/s)	1,683
Número de Froude, F	0,709
Energía Especifica, E (m-kg/kg)	0,816

Según Bolinaga (1985) “El flujo critico es aquel en el cual las fuerzas de gravedad y de inercia ($F = 1$) están en equilibrio. El régimen subcritico ($V < V_c$) corresponderá a valores de $F < 1$ (fuerzas gravitatorias mayor que las de inercia) y el supercrítico ($V > V_c$) corresponderá a valores de $F > 1$ (fuerzas de inercia mayor que la gravedad)”

En la Tabla 36, se obtiene un valor de número de froude igual a 0,7093 y una velocidad de 1,683 m/s. De acuerdo a estos valores el flujo clasifica en subcritico, donde la velocidad por ser pequeña (característica de este flujo), no ocasiona erosión sobre los canales de concreto, siendo la velocidad

máxima admisible para canales de hormigón igual a 5 m/s y la velocidad mínima de 0,75 m/s, según Llamozas (2010).

El número de froude además de estar relacionado con la velocidad, también se encuentra relacionado con la energía específica. Bolinaga (2010) comenta que “Un aumento de la energía específica produce efectos contrarios en las profundidades para cada tipo de flujo; en subcrítico aumentan, mientras que en supercrítico disminuyen”.

El valor de la energía específica igual a 0,8159 m – kg/kg, presentada en la Tabla 36, corresponde al igual que la velocidad y el número de froude, a un flujo subcrítico con una profundidad que supera a la crítica.

Diseño de la cámara de carga

Posteriormente, el túnel de conducción llevará el agua captada del embalse a la cámara de carga, donde se manejará la elevación del agua para obtener la altura necesaria, y así desarrollar la máxima potencia en la turbina.

Las dimensiones de la cámara de carga se presentan en la Tabla 37, mientras que las variables que se manejan para su obtención se muestran en las Tablas 38, 39, 40 y 41.

Tabla 4.17:

Dimensiones de la cámara de carga

Volumen Total , Vt (m ³)	51,190
Ancho, B (m)	7,996
Longitud total, Lt (m)	6,334
Altura total, ht (m)	3,534

A continuación se describe cada una de las variables necesarias para la obtención de las dimensiones antes señaladas.

Tabla 4.18:

Variables para determinar el volumen de la cámara de carga

Caudal de diseño, Qd (m ³ /s)	1,000
Área del túnel de conducción, A (m ²)	0,690
Pendiente del túnel de conducción, i	0,002

Tabla 4.19:

Variables para la determinación de la longitud total de la cámara de carga

Longitud necesaria, L1 (m)	5,873
Longitud por caída vertical, L1' (m)	4,731
Longitud horizontal de la rejilla, L2 (m)	0,461

Según Farinango (2013), la longitud necesaria debe ser comparada con el valor de la longitud por caída vertical del agua, adoptando como valor de longitud de diseño, el mayor. En este caso, la longitud mayor corresponde a la longitud necesaria L1 igual a 5,873 m de acuerdo con Tabla 39. Por lo tanto, L1 se adopta como longitud de diseño.

Las rejillas que se colocan en la cámara de carga son rejillas finas con una inclinación de 75° con respecto al eje de la tubería forzada, recomendado por Farinango (2013).

Tabla 4.20:

Variables para la obtención del ancho de la cámara de carga

Volumen total, V_t (m^3)	51,190
Altura mínima, h_1 (m)	0,801

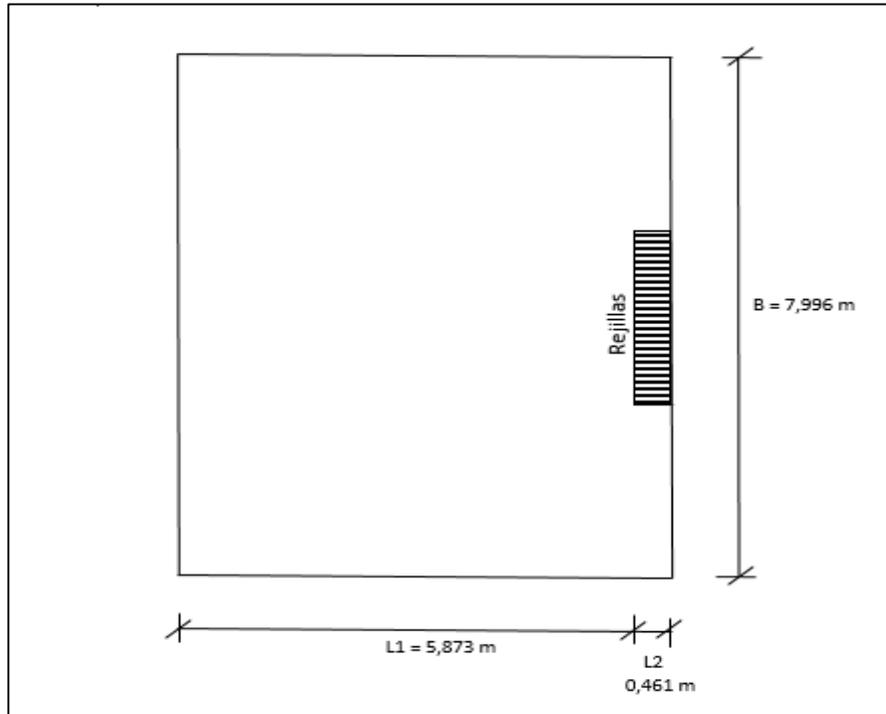


Figura 4.23. *Sección en planta de la cámara de carga*

Tabla 4.21:

Variables para la obtención de la altura total de la cámara de carga

Altura necesaria que evita el ingreso de sedimentos, a_1 (m)	0,400
Diámetro interno de la tubería de presión, D (m)	0,908
Altura mínima de agua sobre el túnel de conducción, h_1 (m)	0,801
Altura del agua en el desborde, h_v (m)	1,070
Borde Libre, B (m)	0,357

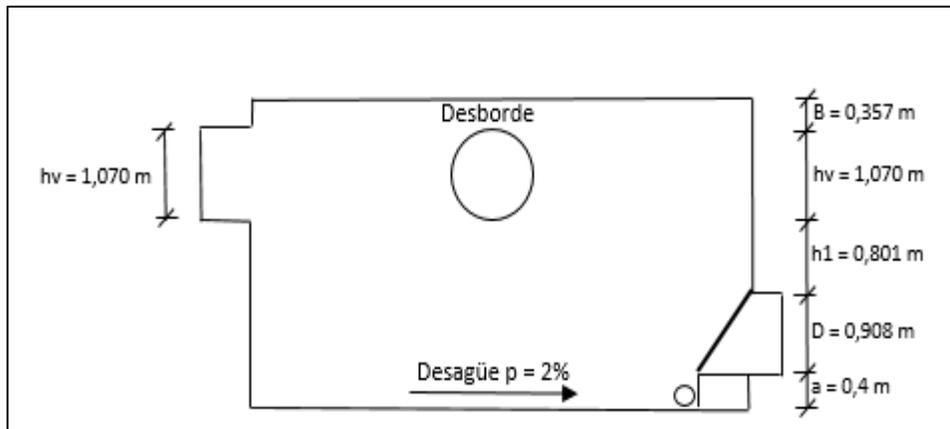


Figura 4.24. Sección en elevación de la cámara de carga

Farinango (2013) recomienda una altura necesaria que evita el ingreso de sedimentos entre un rango de 0,3 y 0,5 m, debido a esto se toma el promedio del rango recomendado con un valor de 0,4 expresado en la Tabla 41

De acuerdo con la Tabla 41, el valor de borde libre es igual a 0,357 m. Este valor es 1/3 de la altura bruta de acuerdo a Farinango (2013)

Diseño de la Tubería Forzada

El conducto por el cual el agua es conducida desde la cámara de carga hasta la turbina, se denomina tubería forzada.

Este tipo de tubería se diseña con un material de acero comercial, siendo este el más común en la elaboración de tuberías forzadas, ya que las pérdidas de carga son bajas y además soportan altas presiones.

A continuación, se presentan las dimensiones de la tubería forzada en la Tabla 42

Tabla 4.22:*Dimensiones de la tubería forzada*

Diámetro Interno, d (m)	0,907
Diámetro Externo, D (m)	0,908
Longitud, L (m)	117,121
Espesor, e (mm)	1,465

Los valores de espesor y diámetro externo presentados en la Tabla 42 son llevados a valores comerciales, quedando de esta manera una tubería forzada de diámetro comercial igual a 0,91 m (36") y espesor de 7,95 mm.

El espesor de la tubería forzada debe compararse con el espesor calculado para el fenómeno de golpe de ariete. A continuación en la tabla 43 se presentan las variables que intervienen en la obtención del espesor debido al golpe de ariete.

Tabla 4.23:*Variables para la obtención del diámetro interno de la tubería forzada*

Caudal de diseño, Q_d (m^3/s)	1,00
Altura Útil, H_u (m)	8,210
Altura por Golpe de ariete, h_s (m)	2,463

Se toma una altura por golpe de ariete del 30% de la altura útil, dando como resultado una altura de 2,463 m, señalado en la Tabla 43.

El criterio utilizado para hallar la altura por golpe de ariete, es expuesto por Farinango (2013), a diferencia de que él recomienda el 30% de la altura bruta. Debido a que se está diseñando una central hidroeléctrica de regulación por derivación de las aguas, la altura aprovechable es la útil, siendo la altura por golpe de ariete 30% de la altura útil.

Tabla 4.24.:

Variables para la obtención del espesor de la tubería forzada por golpe de ariete

Presión de Diseño, P (m.c.a)	8,210
Carga del trabajo del material, τ (Mpa)	98,100
Tolerancia o sobreespesor por corrosión, C	1,000
Sobrepresión por el Golpe de ariete, Δp (m.c.a)	10,569
Coeficiente de trabajo del acero, K (Kg/mm ²)	13,000
Espesor por el golpe de ariete, e (mm)	0,286

En la Tabla 44 se muestra un valor para la tolerancia o sobreespesor por corrosión igual a 1, y el espesor producido por el golpe de ariete igual a 0,286 mm.

La tolerancia por corrosión según Ruiz (2013), es clasificada según la forma de los tramos de la tubería forzada. Para tramos rectos $C = 1$ y para tramos curvos $C = 1,5$. En este caso, el valor de la tolerancia por corrosión corresponde a tramos rectos, por lo tanto $C = 1$.

Adicionalmente, Ruiz (2013) compara el espesor de la tubería por el golpe de ariete con el espesor de diseño, seleccionando el mayor de ellos. Ese espesor será quien va a resistir las sobrepresiones generadas en la tubería debido al fenómeno golpe de ariete. En este caso, el espesor de diseño es el mayor.

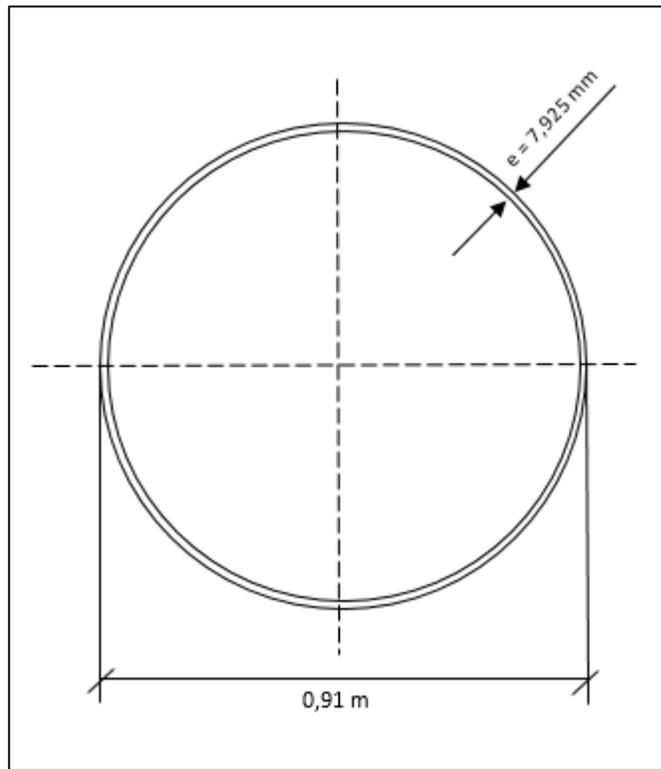


Figura 4.24. Sección transversal de la tubería forzada. Diámetro y espesor comercial

Tabla 4.25:

Pérdidas de carga en la tubería forzada

Pérdida por fricción (m)	0,205
Pérdida por codos (m)	0,024
Pérdida por válvulas (m)	0,066
Pérdida por rejillas (m)	0,031

La pérdida por fricción es de 0,205 m, de acuerdo a la Tabla 45. El valor de las pérdidas por fricción o pérdidas primarias para este caso se consideran bajas, esto se debe al tipo de material de la tubería forzada (acero comercial) y el régimen del flujo (turbulento).

En la Tabla 45 se presentan las pérdidas en la tubería por los siguientes accesorios: dos codos que producen una pérdida de 0,024 m, con un coeficiente de pérdida de 0,1 correspondiente a codos poco pronunciados; las rejillas con una pérdida de 0,031 m, y con separación entre barrotes de 30 mm y las pérdidas por válvulas de 0,066m con un coeficiente de pérdida 0,25.

Diseño del túnel de desagüe

El túnel de desagüe es el canal encargado de restituir el agua turbinada al Rio Pao. Al igual que el túnel de conducción, el material de construcción es de concreto con acabado liso.

A continuación en las tablas 46, 47 y 48 se muestran las dimensiones del túnel, elementos geométricos y las características del flujo.

Tabla 4.26:

Dimensiones del túnel de desagüe

Diámetro (m)	1,371
Longitud (m)	102,980
Pendiente, i (%)	0,150

Al igual que en el túnel de conducción, la pendiente del canal de desagüe es baja, con un valor de 0,15% de acuerdo a la Tabla 46. Por lo tanto, las pérdidas generadas son reducidas.

Tabla 4.27:

Elementos geométricos del túnel de desagüe

Profundidad Normal, yo (m)	0,617
Espejo de agua, T (m)	1,363
Área, A (m ²)	0,658
Perímetro, P (m)	2,036
Radio Hidráulico, R (m)	0,323
Borde Libre, F (m)	0,754

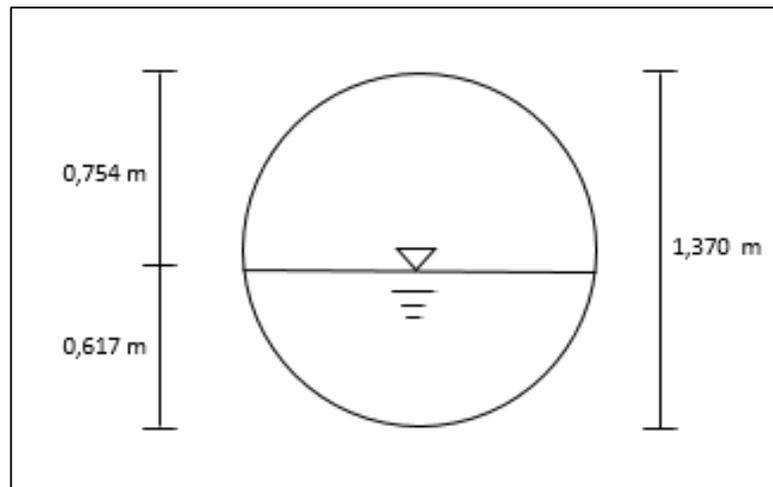


Figura 4.25. *Diámetro, profundidad del agua y borde libre del túnel de desagüe*

El borde libre es igual a 0,7535 m señalado en la Tabla 47. Este cumple con las restricciones de altura en el diseño de canales.

Tabla 4.28:

Características del flujo en el túnel de desagüe

Velocidad V (m/s)	1,520
Número de Froude, F	0,659
Energía Especifica, E (m-kg/kg)	0,745

Las características del flujo toman el mismo criterio descrito en el túnel de conducción. Los valores de velocidad, el número de froude y la energía específica clasifican al flujo como subcritico.

Adicionalmente, la velocidad de diseño cumple con las velocidades máximas y mínimas admisibles en canales revestidos con hormigón para que no ocurra erosión.

Diseño de la Turbina

✓ Selección de la Turbina

Los parámetros que deben tomarse en cuenta para la selección de la turbina son los mostrados en la Tabla 49

Tabla 4.29:

Parámetros para la selección de la Turbina

Altura Neta, Hn (m)	7,883
Caudal de Diseño, Qd (m ³ /s)	1,000
Eficiencia, e (%)	95,000
Potencia de Diseño, Pd (KW)	73,394

Por medio de la Figura 93, la turbina que se ajusta a una potencia de 73,394 kW, altura neta de 7,883 m y caudal de diseño de 1 m³/s, es la turbina Francis. Esta turbina opera en un rango que va desde los 50 kW hasta 2000 Kw.

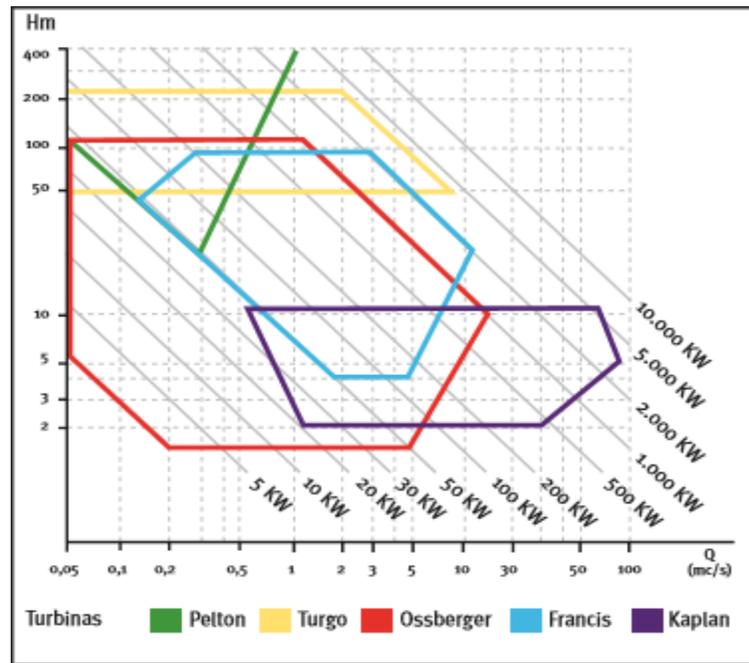


Figura 4.26. Campo de utilización de los diferentes tipos de turbinas
Fuente: Minicentrales hidroeléctricas (2006)

La turbina Francis según Valencia (2015), "... se diseñan de forma individual para cada aprovechamiento hidroeléctrico, a efectos de lograr el máximo rendimiento posible, habitualmente más del 90%". Bajo esta premisa, para esta alternativa se escoge la eficiencia de diseño de la turbina igual al 95%.

✓ *Parámetros para el diseño de la turbina*

A continuación, en la Tabla 50, se presentan los parámetros de diseño para los elementos que componen la turbina Francis.

Tabla 4.30:

Parámetros para el diseño de los elementos de la turbina

Velocidad Específica, n_s (rpm)	168,982
Velocidad Síncrona de rotación, n (rpm)	225,000
Frecuencia, f (Hz)	60,000
Número de Polos, P	16,000
Coefficiente de Velocidad Periférica, Φ	0,733

De la Tabla 50 se obtiene una velocidad específica igual a 168,982 rpm, clasificando a la turbina como una “Francis Normal”.

La velocidad síncrona de rotación de diseño expuesta en la Tabla 50, es de 225 rpm, esta velocidad de la turbina está relacionada con los 16 números de pares de polos, quienes hacen que la turbina gire a una frecuencia de 60 Hz (frecuencia usada en Venezuela)

✓ **Diseño de los elementos de la Turbina**

Los elementos a diseñar para la turbina Francis son: rodete, carcasa y el tubo de aspiración.

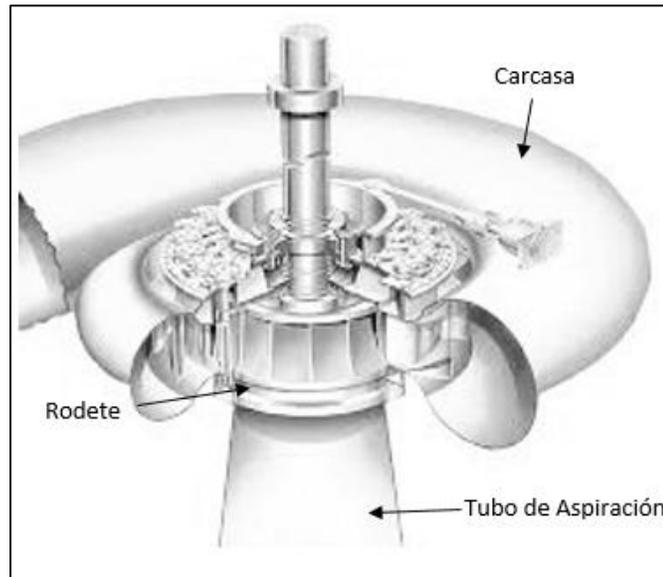


Figura 4.27. Montaje de los elementos a diseñar para la turbina Francis

- **Rodete**

Es el elemento que distribuirá el caudal de forma radial a axial por medio de los alabes o paletas de la turbina.

A continuación, en la Tabla 51 se muestran las dimensiones del rodete

Tabla 4.31:

Dimensiones del rodete

Diámetro de descarga, D3 (m)	0,772
Diámetro medio, D2 (m)	0,754
Diámetro de entrada, D1 (m)	0,741
Distancia de D1 al eje del distribuidor, H1 (m)	0,105
Distancia de D3 al eje del distribuidor, H2 (m)	0,263

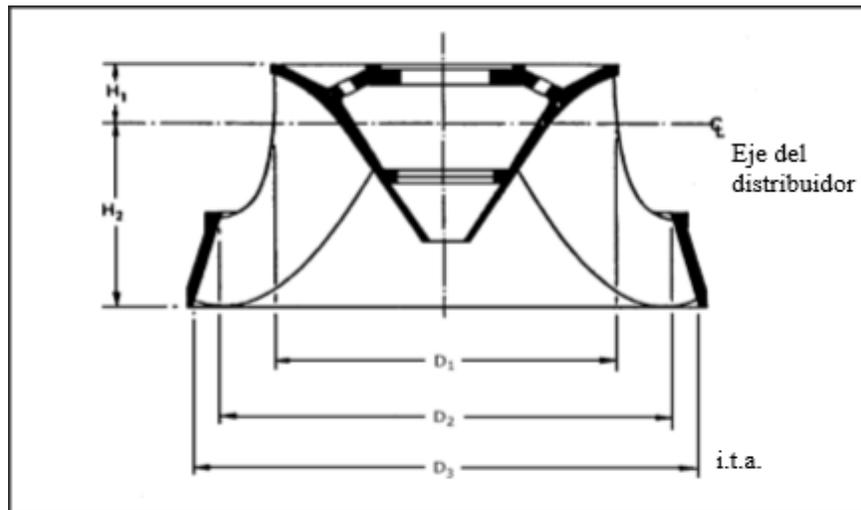


Figura 4.28. Dimensiones del Rodete

El diámetro de descarga D3, es una dimensión en común para el diseño del rodete, la carcasa y el tubo de aspiración.

- *Carcasa*

A través de este elemento ingresa el caudal de diseño a la turbina, haciendo que el flujo siga un comportamiento radial debido a su forma espiral.

Tabla 4.32.

Resumen de las dimensiones de la carcasa

A (m)	0,837
B (m)	1,100
C (m)	1,245
D (m)	1,382
E (m)	1,271
F (m)	1,373
G (m)	1,128
H (m)	0,984
I (m)	0,162
L (m)	0,744
M (m)	0,463

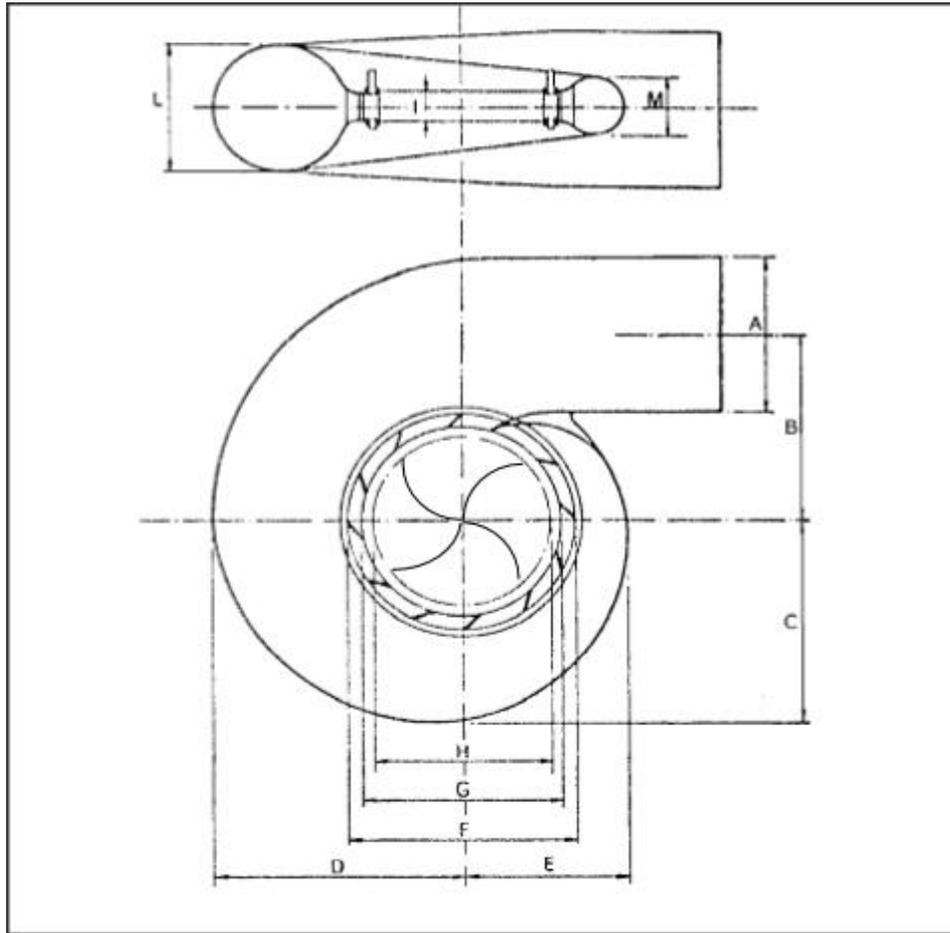


Figura 4.29: Dimensiones de la carcasa

El valor de la dimensión “A” igual a 0,837 m, corresponde al diámetro de entrada de la carcasa, la cual será conectada a la tubería forzada de diámetro 0,91 m.

Según García y Nava (2013), el diámetro de la tubería forzada debe ser mayor al diámetro de entrada de la carcasa de la turbina. La reducción del área transversal de la tubería forzada al entrar en contacto con la carcasa produce un efecto denominado “Efecto Venturi”, este consiste en el aumento

de la velocidad del fluido y disminución de la presión del mismo al pasar por una sección de menor área. Este efecto se basa en el principio del Teorema de Bernoulli el cual afirma que un flujo incomprensible y no viscoso se mantiene constante a lo largo de una línea de corriente, por lo tanto cuando la velocidad aumenta, se mantiene el equilibrio disminuyendo la presión, existiendo una compensación en el fluido.

En este caso, el incremento de la velocidad es favorable, ya que el agua experimenta una aceleración al pasar de un diámetro mayor a un diámetro menor, esto produce en los alabes una mayor velocidad y por ende un aumento en la eficiencia de la turbina.

- *Tubo de Aspiración*

Es el elemento que recupera la mayor parte posible de la energía cinética a la salida del rodete.

En la tabla 53 se muestran las dimensiones que requiere el tubo de aspiración para recuperar la energía cinética del agua.

N (m)	2,120
O (m)	1,284
P (m)	1,058
Q (m)	0,551
R (m)	1,235
S (m)	3,959
T (m)	1,183
U (m)	0,485
V (m)	1,095
Z (m)	2,186

Tabla 4.33: Dimensiones del tubo de aspiración

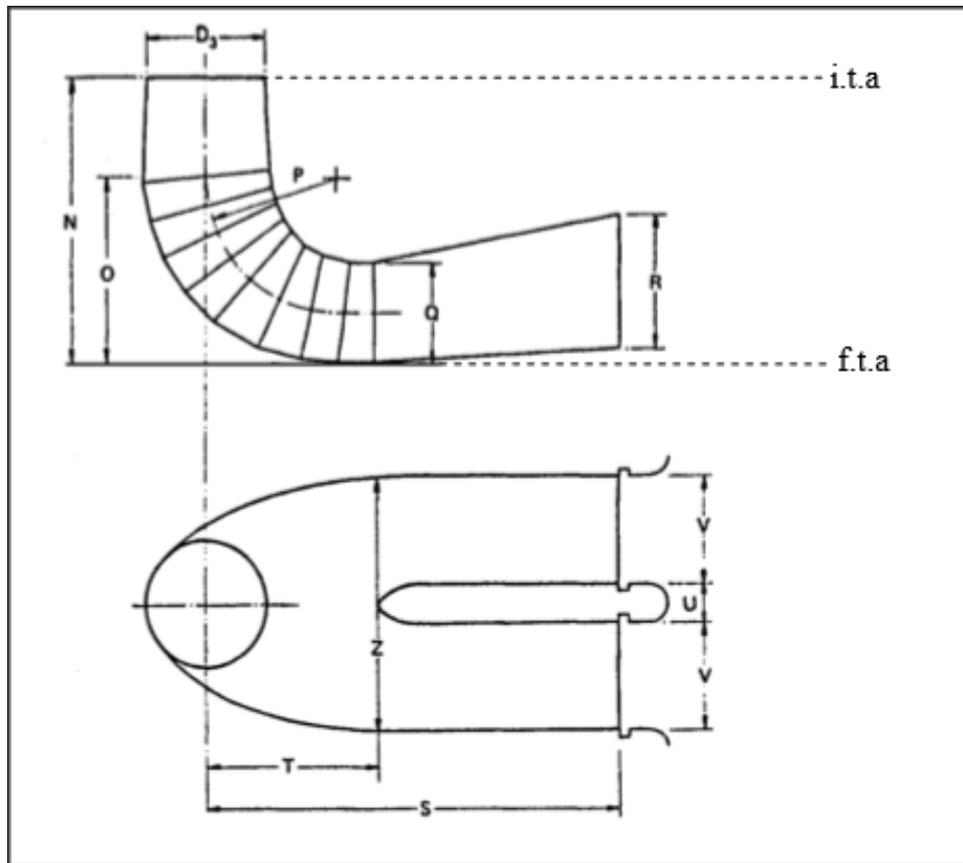


Figura 4.30: Dimensiones del tubo de aspiración

La tubería de aspiración que dispone el agua turbinada, tiene un diámetro de 1,235 m, mientras que el canal de desagüe que recibe este caudal tiene un diámetro de 1,37 m.

Para este caso, se usa el mismo principio de Bernoulli y Venturi en la unión tubería forzada – carcasa, con la diferencia de que en la unión tubería de aspiración – túnel de desagüe, aumenta el área de la sección transversal ocasionando una disminución de velocidad y un aumento en la presión en el agua.

La disminución de la velocidad evita que se produzca erosión en el canal aguas abajo

Dimensionamiento de la Casa de Maquinas

Las dimensiones de la casa de máquinas son determinadas tomando en cuenta la posición del eje de la turbina. Para esta alternativa se diseñó la turbina en posición del eje vertical.

Tabla 4.34:

Dimensiones de la casa de máquinas

Longitud (m)	9,000
Altura (m)	12,000
Ancho (m)	8,000
Área (m)	72,000

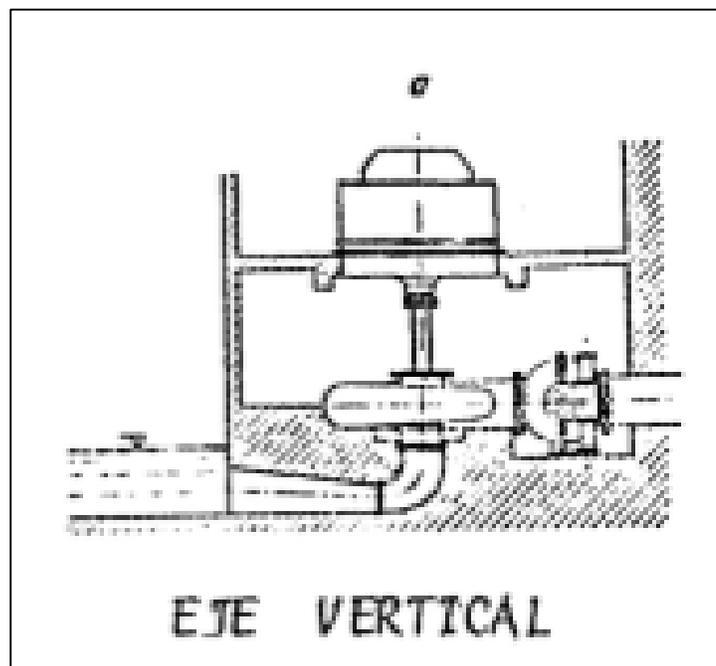


Figura 4.31: *Posición del sistema electromecánico en eje vertical*

ALTERNATIVA II

En esta alternativa se plantea el uso de la tubería de riego del embalse, como tubería forzada, mediante una bifurcación ó empalme con una tubería del mismo diámetro y material. De esta manera se direcciona parte del caudal ecológico hacia la turbina para la producción de energía eléctrica, y la otra parte continua por la tubería de riego.

Para ubicar el empalme en la tubería de riego, se toma como referencia la la bifurcación existente en la tubería de abastecimiento de agua, la diferencia radica en que la instalación de la tubería de empalme en la tubería de gasto ecológico tendrá una dirección de 90° con respecto al eje de la misma.

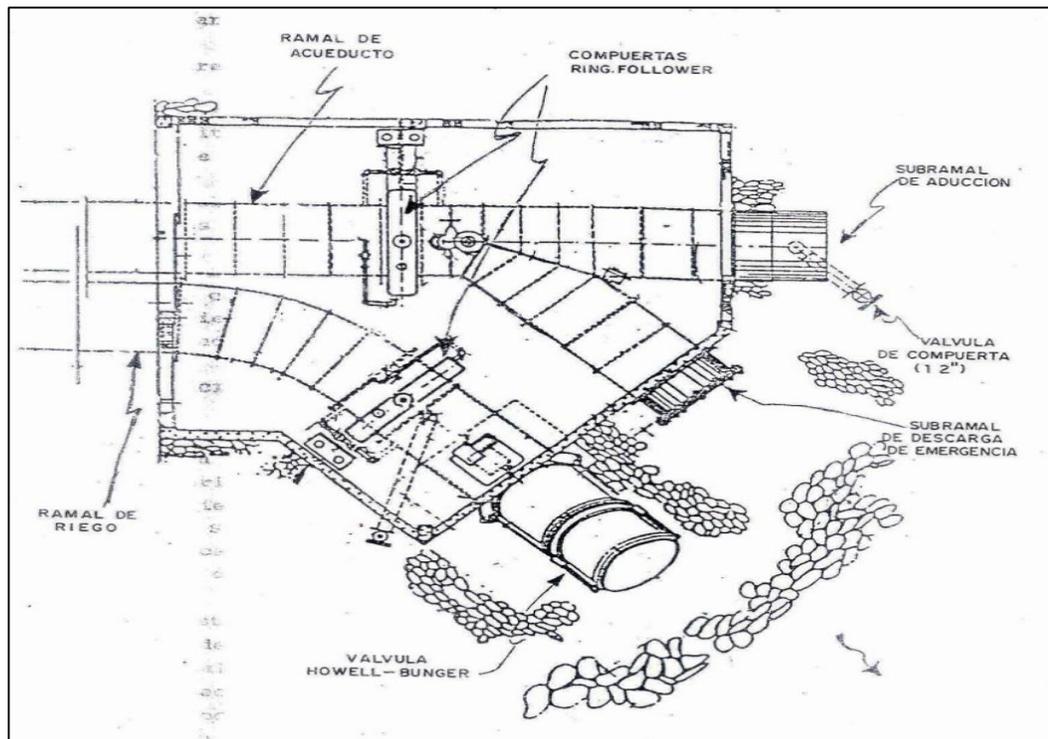


Figura 4.32 Representación de la bifurcación de la tubería de abastecimiento.

Embalse El Pueblito

En la Figura 100 se señala la ubicación de las obras civiles asociadas a esta alternativa.



Figura 4.33. *Ubicación de las obras civiles en el Embalse El Pueblito. Alternativa II*

Se observa que la tubería de empalme parte de la tubería de riego y sale a través de la casa de válvulas, para finalizar en la casa de máquinas donde se sitúa la turbina del sistema de generación hidroeléctrica propuesto.

Finalmente el agua turbinada es descargada al río Pao por medio del túnel de desagüe.

Diseño de la Tubería de empalme

La tubería de empalme se diseña con el mismo material de la tubería de riego, siendo este acero comercial.

En la Tabla 55 y 56, se muestran los parámetros para el diseño de la tubería de empalme como también las pérdidas de carga que se generan a lo largo de la tubería forzada.

Tabla 4.35:

Parámetros de dimensionamiento de la tubería de empalme

Longitud, LE (m)	13,500	
Diámetro, DE (m)	2,000	
Pendiente Longitudinal (%)	1,500	
Angulo de Bifurcación (grados)	90	
Caudal en el Empalme, QE (m ³ /s)	0,5	E

El diámetro de la tubería de empalme es de 2 m, señalado en la Tabla 55. Se diseña con un diámetro igual que la tubería seleccionada, con la finalidad de generar una repartición equitativa del caudal de diseño. Una vez que este caudal equivalente a 1 m³/s entra por la tubería de empalme, se divide en caudales de 0,5 m³/s.

Tabla 4.36:*Perdidas de carga en la tubería forzada*

Pérdida por fricción (m)	0,564
Pérdida por codos (m)	0,012
Pérdida por válvulas (m)	0,031
Pérdida por rejillas (m)	0,066
Pérdida por Bifurcación (m)	0,012

Las pérdidas en esta alternativa se calculan con una velocidad de 0,318 m/s, velocidad del flujo en la tubería forzada (unión de la tubería de riego con la tubería de empalme) y con los coeficientes de pérdidas correspondientes a los accesorios como: codos, válvulas y rejillas, usados en la alternativa I, dando como resultado las pérdidas señaladas en la Tabla 56.

La pérdida por bifurcación tiene un valor de 0,012 m, con K igual a 0,92 para la tubería de empalme y un valor de k igual a 0,01 para la rama que sigue la misma dirección de la tubería antes de la bifurcación.

Diseño del túnel de desagüe

A continuación se muestran las dimensiones del túnel de desagüe y elementos geométricos. El túnel es de concreto con acabado liso.

Tabla 4.37:*Dimensiones del túnel de desagüe*

Diámetro (m)	1,07
Longitud (m)	13,660
Pendiente, i (%)	0,15

De acuerdo con la Tabla 57, la pendiente del túnel de desagüe es igual a 0,15%. Esta pendiente es óptima en la construcción de canales, ya que se evita en la medida de lo posible las pérdida de carga.

Tabla 4.38:

Elementos geométricos del túnel de desagüe

Profundidad Normal, yo (m)	0,4805
Espejo de agua, T (m)	1,0644
Área, A (m ²)	0,3914
Perímetro, P (m)	1,5715
Radio Hidráulico, R (m)	0,2490
Borde Libre, F (m)	0,5895

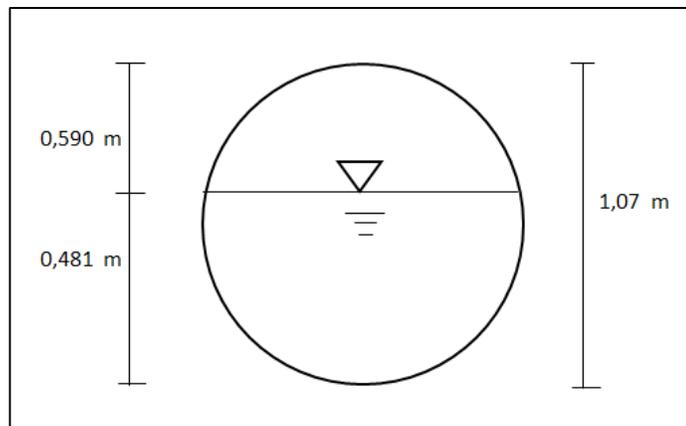


Figura 4.34. *Diámetro, profundidad del agua y borde libre del túnel de desagüe*

Llamozas (2010), establece valores de borde libre máximo y mínimo para varios caudales de diseño. Para un caudal de diseño de 0,5 m³/s, el mínimo de borde libre es de 0,15 m y el máximo de 0,4 m.

Para el túnel de desagüe, donde transita un caudal igual a 0,5 m³ /s, el borde libre de diseño es de 0,589 m presentado en la Tabla 58. Este valor no se encuentra dentro del rango establecido por Llamozas, sin embargo, está

por encima del valor máximo de borde libre, lo que ocasiona un sobredimensionamiento del canal haciendo que la altura de este aumente.

El sobredimensionamiento es premeditado, ya que por el diámetro de salida del tubo de aspiración, la altura del túnel está obligada a ser mayor para así disminuir la velocidad del agua a la salida de la turbina y no ocasionar socavamiento en el túnel.

Tabla 3.39:

Características del flujo en el túnel de desagüe

Velocidad V (m/s)	1,2775
Número de Froude, F	0,6727
Energía Especifica, E (m-kg/kg)	0,5637

Al igual que en la alternativa I, las características del flujo en el túnel de desagüe corresponden al tipo de flujo subcrítico. Además se cumple con las velocidades máximas y mínimas admisibles en canales revestidos con hormigón, indicado por Llamozas (2010).

Diseño de la Turbina

✓ Selección de la Turbina

En la siguiente tabla se muestran los parámetros que se requieren para la selección del tipo de turbina.

Tabla 4.40:

Parámetros para la selección de la turbina

Altura Neta, Hn (m)	15,872
Caudal de Diseño, Qd (m ³ /s)	0,500
Eficiencia, e	0,950
Potencia de Diseño, Pd (Kw)	73,884

La potencia de diseño es de 73,884 kW, expuesta en la Tabla 60, potencia que clasifica junto con el caudal y la altura neta de diseño, en una turbina Francis.

✓ *Parámetros para el diseño de la turbina*

Como se mencionó en la alternativa I, el diseño de la turbina viene dado por el diseño de cada uno de sus elementos.

Tabla 4.41:

Parámetros para el diseño de los elementos de la turbina

Velocidad Especifica, ns (rpm)	94,259	
Velocidad Síncrona de rotación, n (rpm)	300	
Frecuencia, f (Hz)	60	D
Numero de Polos, P	12	e
Coeficiente de Velocidad Periférica, Φ	0,552	acu

De acuerdo con la Tabla 61, la velocidad específica tiene un valor de 94,259 rpm, clasificando la turbina en “Francis Lenta”.

De acuerdo a la ecuación de la velocidad específica:

$$ns = \frac{\sqrt{P_{util}} \times n}{H_{neta}^{\frac{5}{4}}} \quad 4.1$$

se analiza que para alturas netas de gran magnitud, dada una potencia y velocidad síncrona de rotación, se requiere de una máquina de baja velocidad específica, mientras que para bajas alturas netas, se necesita una máquina de alta velocidad específica. En este caso, dado que la velocidad específica de diseño es baja, la altura neta es considerada de gran magnitud.

La velocidad síncrona de rotación de diseño de 300 rpm, junto a los 12 números de pares de polos mencionados en la Tabla 61, hacen que la turbina gire a la frecuencia de 60 Hz.

✓ *Diseño de los elementos de la turbina*

- *Rodete*

Tabla 4.42:

Dimensiones de rodete

Diámetro de descarga, D3 (m)	0,6085
Diámetro medio, D2 (m)	0,6105
Diámetro de entrada, D1 (m)	0,8374
Distancia de D1 al eje del distribuidor, H1 (m)	0,0719
Distancia de D3 al eje del distribuidor, H2 (m)	0,2336

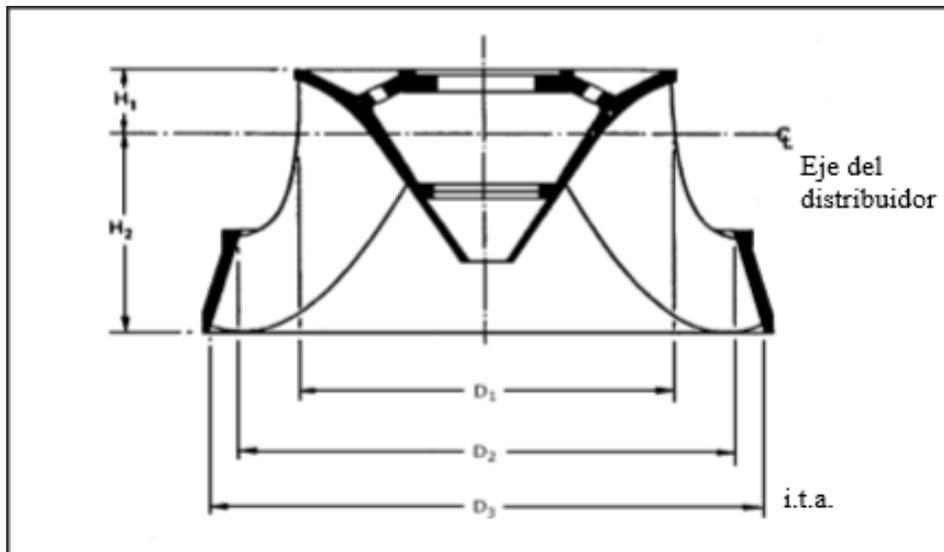


Figura 4.35: *Dimensiones del Rodete de la Turbina*

- *Carcasa*

Tabla 4.43:

Dimensiones de la carcasa

A (m)	0,6073
B (m)	1,0139
C (m)	1,1129
D (m)	1,2196
E (m)	1,3798
F (m)	1,4345
G (m)	1,1482
H (m)	0,9946
I (m)	0,0991
L (m)	0,5644
M (m)	0,3651

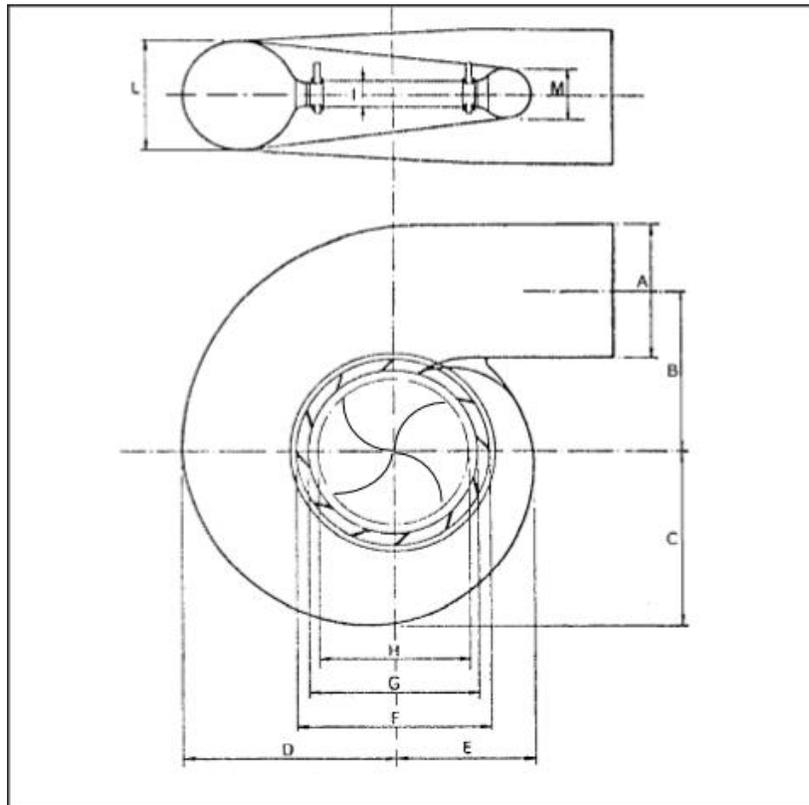


Figura 4.36. *Dimensiones de la Carcasa*

Al igual que en la alternativa I, el diámetro de entrada de la carcasa que corresponde al valor de “A” igual a 0,607 m es menor al diámetro de la tubería forzada igual a 2 m. Por lo tanto, esto hace que la velocidad aumente al pasar de la tubería forzada a la carcasa y disminuye la presión. También hace que la velocidad en los alabes del rodete sea aún mayor, y por consiguiente, se produzca un aumento en el rendimiento de la turbina.

- *Tubo de Aspiracion*

Tabla 4.44:

Dimensiones del tubo de aspiración

N (m)	2,2164
O (m)	1,3895
P (m)	0,8337
Q (m)	0,4950
R (m)	0,9736
S (m)	3,9480
T (m)	0,9240
U (m)	0,3516
V (m)	1,0069
Z (m)	1,8129

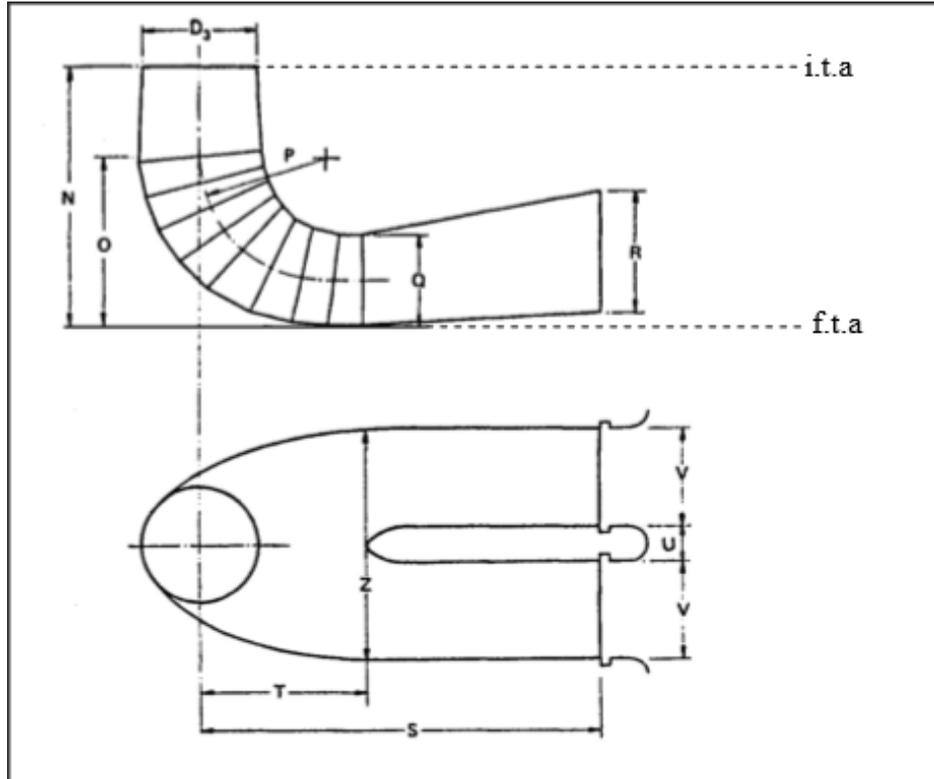


Figura 4.37. Dimensiones del tubo de aspiración

El diámetro de salida del tubo de aspiración es de 0,9736 m señalado en la Tabla 64. Por lo antes mencionado en el túnel de desagüe, se obliga a este ser diseñado con un diámetro mayor al de la salida del tubo de aspiración.

Diseño de la Casa de Maquinas

Al igual que en la alternativa I se dimensiona la casa de máquinas de acuerdo a la posición del eje de la turbina. En este caso de diseño, la turbina es posicionada en eje horizontal.

Tabla 4.45:

Dimensiones de la casa de máquinas

Longitud (m)	9
Altura (m)	5
Ancho (m)	9
Área (m)	81

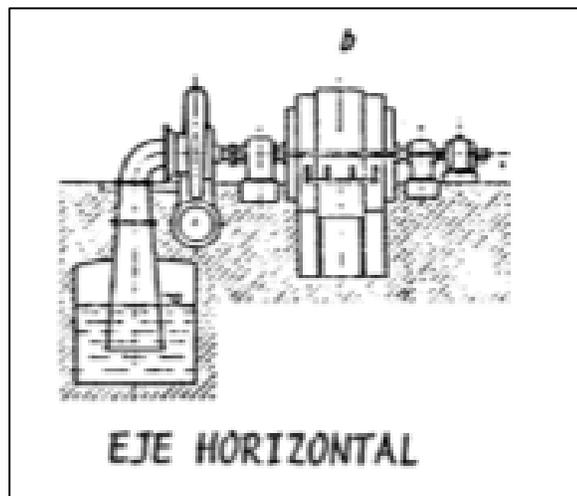


Figura 4.38. *Posición del sistema electromecánico en eje horizontal.*

Análisis de factibilidad del Sistema de generación Hidroeléctrica propuesto para el Embalse El Pueblito, Estado Anzoátegui

Toda propuesta debe ser analizada a profundidad con relación a los costos que la misma conlleva, en tal sentido, se debe incluir una evaluación económica con información básica, con la que se pueda determinar su factibilidad de acuerdo a la rentabilidad que se obtenga al ejecutarla.

En tal sentido se hace necesario comparar las alternativas descritas en este trabajo de investigación para determinar la factibilidad económica de ambas. El método escogido para realizar la comparación entre ambas alternativas es el valor presente ó valor actual (VA), quien expresa la rentabilidad de un proyecto de inversión.

Alternativa I

A continuación se presentan los resultados derivados del análisis de costos, realizado para la alternativa I. Todos los precios fueron calculados en base a la tasa SIMADI 437,51 Bs/\$ (Mayo 2016)

Tabla 4.46:

*Costos de equipos y obras civiles que componen el sistema de generación hidroeléctrica.
Alternativa I. Embalse El Pueblito.*

<i>CONCEPTO</i>	<i>COMPONENTES</i>	<i>PRECIO US\$</i>	<i>PRECIO BSF</i>
Equipo Turbo – Generador	Turbina francis, generador, tableros de control, mecanismos de regulación y control, válvulas de regulación, tubos de aspiración, etc.	152.639,439	66.781.281,080
Obras civiles	Excavaciones, senderos, casa de máquinas, obra de toma, accesorios, tubería forzada, túnel de conducción y túnel de desagüe	73.179,60	32.016.809,29

De acuerdo con la Tabla 66, los costos del equipo turbo – generador ascienden a 152.639,439\$ equivalente a 66.781.281,080 Bsf, mientras que el costo asociado a las obras civiles es igual a 73.179,60 US\$, equivalente a 32.016.809,29 Bsf.

Para la estimación de estos costos, que representan alrededor del 70% del presupuesto total, se hizo uso de una expresión matemática que involucra los principales parámetros de diseño de una minicentral hidroeléctrica, caudal, altura de diseño y potencia.

Esta fórmula que propone “North West Hydro Resource Model, Lancaster University” se aplica solo para turbinas Francis y trabaja con caudales que oscilen entre 0,5 m³/s y 2,5 m³/s.

Tabla 4.47:

Costos de transporte e instalación turbina Francis. Alternativa I. Embalse El Pueblito.

<i>CONCEPTO</i>	<i>COMPONENTES</i>	<i>PRECIO US\$</i>	<i>PRECIO BSF</i>
Transporte	Transporte, seguro y embalaje	3.050,40	1.334.580,504
Instalación	Montaje y puesta en servicio del equipo	4.000,00	1.750.040,000

En base a la Tabla 67, los costos por transporte e instalación son iguales a: 3.050,40 US\$ y 4.000 US\$ respectivamente. Estos costos fueron calculados tomando como referencia el proyecto de una P.C.H en el embalse dos cerritos, estado Lara, propuesta desarrollada por Rebolledo y González (2015).

El costo de transporte abarca el traslado hasta el sitio, de: materiales y consumibles de obra, del equipo electromecánico junto con los equipos y maquinaria de obra.

Tabla 4.48:

Costos de operación y mantenimiento Alternativa I. Embalse El Pueblito

<i>CONCEPTO</i>	<i>PRECIO US\$</i>	<i>PRECIO BSF</i>
Costos de operación y mantenimiento	6.986,083	3.056.481,248

La Tabla 68 muestra que los costos asociados a la operación y mantenimiento de los equipos, obras civiles, e instalaciones donde se encuentra ubicada la minicentral hidroeléctrica, ascienden a 6.986,083 US\$ equivalente a 3.056.481,173 Bsf.

Existe diversidad de maneras para estimar estos costos, ya sea por criterio derivado de la experiencia ó por el uso de una ecuación. De acuerdo al “Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial” (CIDIAT), para los costos de mantenimiento y operación se tomará el 3% del costo de la inversión inicial. Por otro lado “La Organización Latinoamericana De Energía” (OLADE) recomienda el uso de una ecuación, la cual depende solo de la potencia generada por la turbina.

Para estimar los costos de operación y mantenimiento en este trabajo de investigación, se tomó el 3% de la inversión inicial, ya que no solo depende de la potencia de la turbina, sino que también depende de los costos de los demás componentes del sistema de generación hidroeléctrica.

Tabla 4.49:

Total de inversión. Alternativa I. Embalse El Pueblito

<i>CONCEPTO</i>	<i>PRECIO US\$</i>	<i>PRECIO BSF</i>
Costo de turbina francis	152.639,439	66.781.281,080
Costo de obras civiles	73.179,60	32.016.809,29
Costo de transporte	3.050,40	1.334.580,504
Costo de instalación	4.000,00	1.750.040,000
TOTAL	232.869.439	101.882.708,3

De acuerdo con la Tabla 69, se deberá hacer una inversión total de 232.869.439 US\$ equivalentes a 101.882.708,3 Bsf, para llevar a cabo el sistema de generación hidroeléctrica que se propone en la alternativa I.

Tabla 4.50:

Ingresos anuales estimados. Alternativa I. Embalse El Pueblito

<i>CONCEPTO</i>	<i>PRECIO US\$</i>	<i>PRECIO BSF</i>
INGRESOS	37.144,26	16.250.985,19

La Tabla 70, muestra los ingresos estimados que se generan una vez transcurrido el primer año de funcionamiento de la minicentral hidroeléctrica. Estos ingresos anuales son iguales a: 37.144,26 US\$ equivalentes a 16.250.985,19 Bsf.

Para el cálculo de los ingresos anuales de la minicentral, se necesita conocer la energía media anual que será vertida a la red y el costo de 1 kWh, que en Venezuela es igual 3,1 cent US\$/kWh.

Tabla 4.51:

Rentabilidad con n= 25 años. Alternativa I. Embalse El Pueblito

Valor Actual (VA)	0
Tasa interna de retorno (TIR)	5%
Período de retorno de la inversión (n)	10

El análisis de rentabilidad aplicado a la alternativa I, da como resultado un valor actual igual a 0, con una tasa interna de retorno del 5% para un período de 25 años.

De acuerdo a estos resultados, los costos generados por el proyecto y los ingresos brutos, se igualan, es decir, no se producen ni excedentes ni déficit de los ingresos sobre los costos. Otro aspecto importante que se puede derivar de los resultados obtenidos es que cualquier valor imin comprendido entre 0% y 5%, reporta valores actuales positivos, tal como se ilustra en la Figura 106.

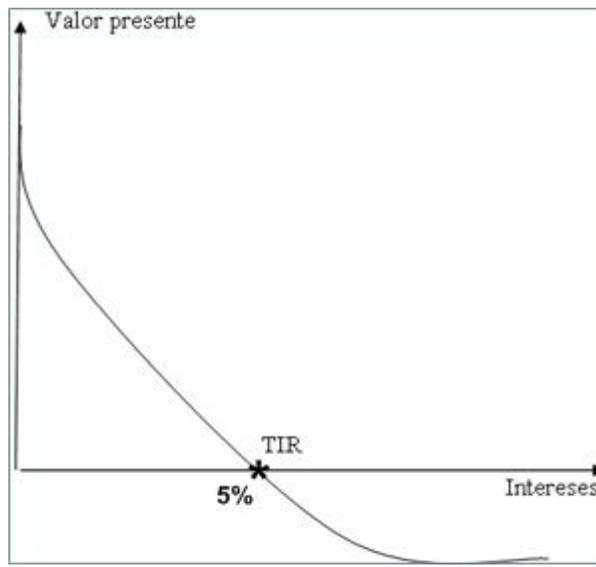


Figura 4.39. Valor actual vs tasa mínima de rendimiento para la alternativa I

CONCLUSIONES

- A pesar de que las variables hidroenergéticas del embalse El Pueblito han sido influenciadas por diversos factores a lo largo del período de estudio, las mismas, mantuvieron un comportamiento estable en el tiempo sin presentar tendencia alguna, con poca ocurrencia de eventos extremos.
- El análisis estadístico descriptivo realizado a la variable elevación del agua, demuestra que el embalse nunca llegó a niveles críticos durante el período de estudio.
- El embalse por lo general evacua más de lo que recibe. Esto quiere decir, que en época de sequía muy marcada, debe disponer del caudal de reserva para cumplir con el riego y el abastecimiento de agua.
- Mediante el estudio realizado para la alternativa I se determinó, que el caudal de diseño sería igual a $1 \text{ m}^3/\text{s}$ de acuerdo a los criterios empleados para su selección, tomando como valor de referencia el gasto ecológico, el cual posee una supervivencia del 23%.
- La potencia de diseño en la alternativa I , es de 73,394 Kw respectivamente, dicha potencias entran en el rango de selección de la turbina Francis, también clasifica el tipo de central en una minicentral hidroeléctrica, la cual puede generar una potencia de 50 a 500 Kw.
- Se seleccionan canales tipo túnel, ya que son los que mejor se adaptan al terreno.
- Las pendientes en los túneles de conducción y/o desagüe en ambas alternativas son de 0,20% y 0,15%, lo que reduce las pérdidas de carga y disminuye la velocidad del fluido, clasificando el flujo como subcritico, además evita la erosión en los túneles.

- Para el cálculo de la sobrepresión máxima producida en la tubería forzada de la alternativa I, se desarrolla la expresión de Michaud, llegando a un valor de 10,568 m.c.a. La tubería debe tener un espesor de 0,2863 mm para soportar el golpe de ariete, sin embargo, el espesor de diseño ya cumple con el mínimo para soportar estas presiones, arrojando un valor de 1,4648 mm.
- Se ha elegido acero comercial como material para la tubería forzada y de empalme en la alternativa I, ya que este material genera pérdidas menores que otros.
- La turbina Francis en la alternativa I tiene una velocidad de rotación de 225 rpm,
- Implementar dicha alternativas en el embalse El Pueblito es factible económicamente, ya que recupera la inversión inicial en un tiempo menor a la vida útil de la minicentral hidroeléctrica.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pronósticos para todas las variables hidroenergéticas, con el fin de predecir su comportamiento a futuro.
- Se recomienda hacer un estudio minucioso del caudal de alivio, con el fin de determinar si valdría la pena diseñar una obra de toma que aproveche este caudal en conjunto con el caudal ecológico, en épocas lluviosas.
- Se recomienda realizar un estudio geotécnico en el sitio donde estarán ubicadas la cámara de carga y la casa de máquinas, con el fin de garantizar la estabilidad de las mismas.
- Se recomienda excavar en la cámara de carga, entre las progresivas 0+129,85 y 0+136,22 al nivel superior de la cámara de carga.
- Debido a que la cámara de carga se encuentra enterrada por la misma configuración del terreno, se recomienda implementar un canal tipo túnel para el agua en desborde.
- Se recomienda realizar un estudio de las tensiones dentro de la tubería forzada.
- Se recomienda realizar mantenimiento a las obras civiles que conforman el sistema de generación hidroeléctrico.
- Revisar el estado de la carcasa de la turbina periódicamente, para evitar que se corroa.
- Se recomienda indicarle al fabricante los datos exactos de caída neta, caudal máximo y mínimo, tipo de generador y sistema de acople con la turbina, si se desea obtener un diseño óptimo de la misma.

- Se recomienda que el mantenimiento del equipo de generación sea realizado por personal altamente capacitado, con el fin de obtener eficiencia en los trabajos.
- Se recomienda hacer un estudio de demanda eléctrica en la población elpueblito, para determinar si la minicentral es capaz de absorberla.
- Se recomienda instalar un multiplicador de velocidad entre la turbina y el rotor, para aumentar la velocidad de giro de este último. Si se coloca este aparato, el tamaño del generador disminuye y también su coste, ya que los polos del generador disminuyen.
- En canales se recomienda colocar un espesor de recubrimiento máximo de 0,08 metros en los lados y 0,10 metros en el fondo.
- Se recomienda continuar y desarrollar a mayor profundidad la alternativa II de este trabajo de investigación
- Se recomienda realizar el diseño con el caudal completo y no con un tercio de capacidad para probar si se puede lograr un mayor aprovechamiento con otra turbina, la cual podría ser el caso de la Kaplan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Internacional de la Energía. www.IEA.org
- Arias, F. (2006). El Proyecto de Investigación. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. Pp 24, 83, 85.
- Arreaza, A. (2008) Estudio de factibilidad para la instalación de generación distribuida en la electricidad de Caracas. Universidad Central de Venezuela.
- Lozada, R. y Parente F. (2015). Análisis comparativo de la capacidad de almacenamiento de los embalses de la cuenca del río Unare, estado Anzoátegui. Universidad de Carabobo
- Barrero. M., Galarza. L y Romero, G. (1985) Manual de diseño de pequeñas centrales eléctricas, volumen iii. Bucaramanga, Colombia.
- Betancourt M. Departamento de investigación. Noticias24. (Caracas, 19 de mayo 2014). (<http://www.noticias24.com/venezuela/noticia/239938/venezuela-es-el-pais-con-mayor-consumo-de-energia-electrica-en-latinoamerica/>).
- Camacho. G. y Carrillo A. (2000) Estudio de factibilidad de instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas en el estado Amazonas: Universidad Central de Venezuela.
- Gonzales C. y Rebolledo M. (2015). Analisis de capacidad Hidroenergética de los embalses del estado Lara. Universidad de Carabobo.
- Ministerio del poder popular para Ecosocialismo y Aguas. (2016) www.minea.gob.ve
- Terra. R. y Schenzer. D. (2013) Factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas en presas multipropósito. Uruguay.

- Torres. F. (2006) Dimensionamiento de una microcentral hidroeléctrica. Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Unesco (1997) Taller sobre microcentrales eléctricas en Sudamérica.

Lista de referencias

- Andrews, S. Fastqc, (2010). A quality control tool for high throughput sequence data.
- Augen, J. (2004). Bioinformatics in the post-genomic era: Genome, transcriptome, proteome, and information-based medicine. Addison-Wesley Professional.
- Blankenberg, D., Kuster, G. V., Coraor, N., Ananda, G., Lazarus, R., Mangan, M., ... & Taylor, J. (2010). Galaxy: a web-based genome analysis tool for experimentalists. *Current protocols in molecular biology*, 19-10.
- Bolger, A., & Giorgi, F. Trimmomatic: A Flexible Read Trimming Tool for Illumina NGS Data. URL <http://www.usadellab.org/cms/index.php>.
- Giardine, B., Riemer, C., Hardison, R. C., Burhans, R., Elnitski, L., Shah, P., ... & Nekrutenko, A. (2005). Galaxy: a platform for interactive large-scale genome analysis. *Genome research*, 15(10), 1451-1455.

**APÉNDICE
(CALCULOS)**

Diseño del sistema de generación hidroeléctrica

Obras Civiles

Túnel de Conducción

Datos:

Caudal (Q) = 1,5 m³/s

Material = Concreto

Rugosidad (n) = 0,012

Pendiente (s) = 0,0028

Diámetro = 1,07 m (Por tanteo)

$$\frac{Q \times n}{S_o^{\frac{1}{2}} \times d^{8/3}} = \frac{1,5 \times 0,012}{0,0028^{\frac{1}{2}} \times 1,07^{8/3}} = 0,028$$

- Profundidad Normal (yo)

$$y_o = 0,674 \text{ m}$$

- Espejo de Agua (T)

$$T = 2 \cdot \sqrt{y_o(D - y_o)} = 2 \cdot \sqrt{0,674(1,07 - 0,674)} = 1,033 \text{ m}$$

- Área (A)

$$A = \frac{1}{8}(\theta - \text{Sen}\theta)D^2 = \frac{1}{8}(4,154 - \text{Sen}(238,031)) \cdot 1,07^2 = 0,690 \text{ m}^2$$

- Perímetro (P)

$$P = \frac{1}{2} \cdot D \cdot \theta = \frac{1}{2} \cdot 1,07 \cdot 4,154 = 2,223 \text{ m}$$

- Radio Hidráulico (R)

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0,690}{2,223} = 0,310 \text{ m}$$

- Velocidad (V)

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} = \frac{0,310^{\frac{2}{3}} \times 0,0028^{\frac{1}{2}}}{0,012} = 2,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- Profundidad Hidráulica (Dh)

$$Dh = \frac{A}{T} = \frac{0,690}{1,033} = 0,668 \text{ m}$$

- Numero de Froude (Fr)

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot Dh}} = \frac{2,02}{\sqrt{9,81 \cdot 0,668}} = 0,789$$

- Energía Específica (E)

$$E = y_0 + \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2} = 0,674 + \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,690^2} = 0,676 \text{ m} - \frac{kg}{ka}$$

Cámara de Carga

Datos:

Altura necesaria que evita la entrada de sedimentos (a) = 0,4 m

Altura de agua en el desborde (h_v) = 1,07 m

Separación entre barrotes de la Rejilla (S) = 0,03 m

Longitud de la Rejilla = 0,5 m

Inclinación de la Rejilla = 75°

Área del túnel de Conducción (A) = 0,690 m²

Pendiente del Túnel de Conducción (i) = 0,0028

- Altura

Diámetro de la Tubería Forzada

$$d = 1,27 \cdot \frac{Q^{0,4268}}{(H_B + h_s)^{0,1423}} = 1,27 \cdot \frac{1,5^{0,4268}}{(5,5 + 2,463)^{0,1423}} = 0,496 \text{ m}$$

Dónde:

Altura por efecto del golpe de ariete: $h_s = 0,3 \cdot H_B = 2,463 \text{ m}$

Altura mínima de agua sobre la tubería forzada

$$h_1 = 0,543 \cdot V \sqrt{d} = 0,543 \cdot 3,881 \sqrt{0,496} = 1,48 \text{ m}$$

Dónde:

Velocidad en la tubería forzada

$$V = \frac{Q}{2\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{1,5}{0,386} = 3,881 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Altura necesaria de la Cámara de carga

$$h_2 = a_1 + D + h_1 = 0,4 + 0,908 + 1,48 = 2,78 \text{ m}$$

Dónde:

$$0,3 < a_1 < 0,5$$

Altura total de la Cámara de carga

$$h_t = a_1 + d + h_1 + h_v + B = 0,4 + 0,496 + 1,48 + 1,07 + 0,357 = 3,8$$

Dónde:

$$\text{Borde Libre: } B = \frac{1}{3} \cdot h_v = 0,357 \text{ m}$$

- Longitud

Longitud necesaria de la Cámara de carga

$$L_1 = 0,304 \cdot Q \cdot \frac{L \cdot \sqrt{h_2}}{(H_B + h_s) \cdot D^2} = 0,304 \cdot 1,5 \cdot \frac{71 \cdot \sqrt{2,78}}{(6 + 2,463) \cdot 0,908^2} = 7,736 \text{ m}$$

Longitud por caída vertical

$$L'_1 = \left[2,5 + 1,1 \cdot \frac{Y}{h_2} + 0,70 \left(\frac{Y}{h_2} \right)^3 \right] \sqrt{h_2 \cdot Y}$$

$$L'_1 = \left[2,5 + 1,1 \cdot \frac{1,07}{2,78} + 0,70 \left(\frac{1,07}{2,78} \right)^3 \right] \sqrt{2,78 \cdot 1,07} = 5,11 \text{ m}$$

Longitud Horizontal de la Rejilla

$$L_2 = \text{Cos}(75^\circ) \cdot 0,5 = 0,461 \text{ m}$$

Longitud Total de la Cámara de Carga

$$L_t = L_1 + L_2 = 7,736 + 0,461 = 8,197 \text{ m}$$

- Volumen

$$V_t = \frac{0,693 \cdot Q^2}{A \cdot i \cdot g} = \frac{0,693 \cdot 1,5^2}{0,690 \cdot 0,0028 \cdot 9,81} = 82,269 \text{ m}^3$$

- Ancho

$$B = \sqrt{\frac{V_t}{h_1}} = \sqrt{\frac{82,296}{1,48}} = 7,456 = \text{m}$$

Tubería Forzada

Datos:

Longitud = 71 m

Diámetro = 0,907 m

Velocidad = 1,549

Rugosidad Absoluta del Acero = 0,008 mm

Viscosidad del agua = 0,000001 m²/s

- *Espesor*

$$e = \frac{4,9 \cdot d \cdot 1,25P}{\tau} + C = \frac{4,9 \cdot 0,907 \cdot 1,25 \cdot 8,21}{98,1} + 1 = 1,465 \text{ mm}$$

Dónde:

Presión de Diseño (P) = 6 m.c.a

Carga d trabajo del Material (τ) = 98,1 MPa

Sobreespesor o Tolerancia para Corrosión (C) = 1; corresponde a tramos rectos

Golpe de Ariete

Cierre rápido pero no instantáneo de la válvula de compuerta $t_r > t_o > t_{iv}$

- Tiempo del Cierre de la Válvula (t_o)= 3,5 s

- Tiempo de residencia de la partícula (t_r)

$$t_r = \frac{\text{Longitud}}{\text{Velocidad}} = \frac{71}{1,549} = 45,836 \text{ s}$$

- Tiempo de las ondas de Presión (t_{iv})

$$t_{iv} = \frac{2 \cdot \text{Longitud}}{C} = \frac{2 \cdot 71}{526,659} = 0,26 \text{ s}$$

Dónde:

Celeridad de propagación de la sobrepresión (C)

$$C = \sqrt{\frac{a^2}{1 + \frac{a^2 \cdot \rho \cdot D}{e \cdot E}}} = \sqrt{\frac{1400^2}{1 + \frac{1400^2 \cdot 1000 \cdot 0,907}{1,465 \cdot 2 \cdot 10^{11}}}} = 526,660 \text{ m/s}$$

Densidad del agua (ρ) = 1000 kg/m³

Módulo de elasticidad del material (E)

Velocidad de Propagación de las Ondas (a) = $\frac{E_0}{\rho}$

Presión por el Golpe de Ariete

$$\Delta p = \frac{2\rho Lv}{t_0} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 71 \cdot 1,549}{3,5} = 62845,142 \text{ Pa}$$

$\approx 6,4 \text{ m. c. a}$

Espesor por Golpe de Ariete

$$e = \frac{p \cdot D}{2 \cdot K} = \frac{(6 + 6,4) \cdot 0,907}{2 \cdot 13} = 0,432 \text{ mm}$$

Dónde:

Coeficiente de trabajo del Acero (K) = 13 kg/mm²

Espesor Seleccionado = **1,465 mm**

Perdidas en la Tubería Forzada

- Perdidas Primarias

$$H_{rp} = \frac{\lambda \cdot L \cdot V^2}{D \cdot 2g} = \frac{0,013 \cdot 71 \cdot 1,549^2}{0,907 \cdot 2 \cdot 9,81} = \mathbf{0,124 \text{ m}}$$

Rugosidad Relativa (ξ)

$$\xi = \frac{\text{Rugosidad Absoluta}}{D \cdot 1000} = \frac{0,08}{0,907 \cdot 1000} = 8,823 \cdot 10^{-5}$$

Número de Reynolds (Re)

$$Re = V \cdot \frac{D}{\nu} = 1,549 \cdot \frac{0,907}{0,000001} = 1404208,404$$

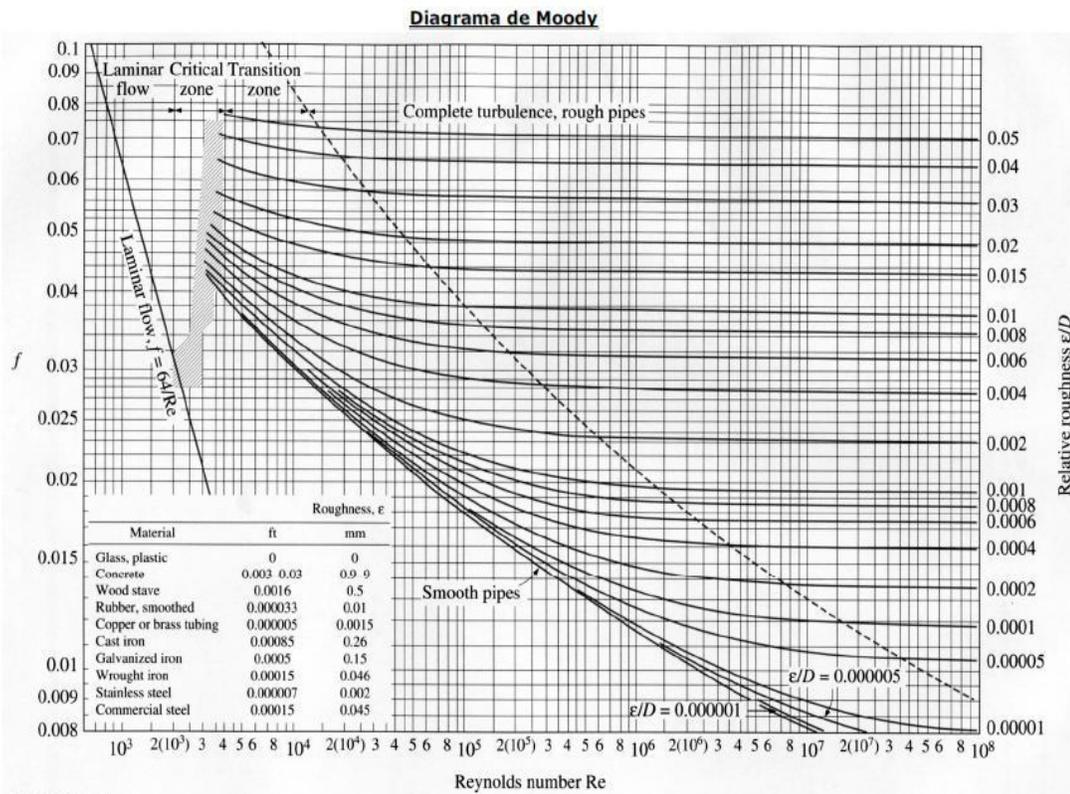
Relación ξ/D

$$\frac{\xi}{D} = \frac{8,823 \cdot 10^{-5}}{0,907} = 9,728 \cdot 10^{-5}$$

Coeficiente de Fricción

$$\lambda = 0,013$$

Se obtiene del Diagrama de Moody = $\xi/D \rightarrow$ Numero de Reynolds



- Perdidas Secundaria

$$H_{rs} = \frac{\sum k_i V^2}{2g} = \frac{[2(0,1) + 1(0,25) + 1(0,54)] \cdot 1,549^2}{2 \cdot 9,81} = 0,121 \text{ m. c. a}$$

Coeficientes de Perdidas (K)

- Codos = 0,1
- Válvulas de Compuerta = 0,25
- Rejillas = 0,54

Se obtiene al despejar K

$$h_r = \beta \cdot \left(\frac{s}{m}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \text{sen}(a) = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

Coeficiente de Forma (β) = 2,42

Espesor (s) = 10 mm

Separación entre barrotes (m) = 30 mm

Inclinación de Barrotes (α) = 75°

- Pérdidas Totales

$$H_r = H_{rp} + H_{rs} = 0,205 + 0,121 = \mathbf{0,327 \text{ m}}$$

Túnel de Desagüe

El mismo procedimiento de cálculo que el Túnel de conducción

Turbina

- Potencia de Diseño

$$P_d = 9,8 \cdot Q_d \cdot H_n \cdot e = 9,8 \cdot 1 \cdot 5,673 \cdot 0,95 = \mathbf{51,815 \text{ kW}}$$

Tipo de Turbina = Francis

- Velocidad Específica

$$n = 160 \text{ rpm} \quad (\text{figura 24})$$

- Velocidad Síncrona de Rotación

$$n = \frac{ns \times H n e t a^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{P u t i l}} = \frac{160 \cdot 5,673^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{51,815}} = 194,6 \text{ rpm}$$

Numero de Polos

$$p = \frac{f \cdot 60}{n} = \frac{60 \cdot 60}{194,6} = 18,4194,6$$

$$p = 20 \quad (\text{llevar a multiplo de 4})$$

- Velocidad de Rotación Síncrona de Diseño

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{60 \cdot 60}{20} = 180 \text{ rpm}$$

- Velocidad Específica de Diseño

$$ns = \frac{\sqrt{Putil} \times n}{Hneta^{\frac{5}{4}}} = \frac{\sqrt{51,815} \cdot 180}{5,673^{\frac{5}{4}}} = 147,99 \text{ rpm}$$

- Coeficiente de Velocidad Periférica

$$\Phi = 0,31 + 2,5 (10^{-3}) \cdot ns = 0,31 + 2,5 (10^{-3}) \cdot 147,99 = 0,679$$

- Rodete

Diámetro de descarga del Rodete

$$D_3 = \frac{84,5 \Phi \sqrt{Hn}}{n} = \frac{84,5 \cdot 0,679 \cdot \sqrt{5,673}}{180} = 0,75 \text{ m}$$

Diámetro de Entrada

$$D_1 = \left(0,4 + \frac{94,5}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(0,4 + \frac{94,5}{147,99}\right) \cdot 0,77 \text{ m}$$

Diámetro Medio

$$D_1 = \left(\frac{1}{0,96 + 0,00038 ns} \right) \cdot D_3 = \left[\frac{1}{0,96 + 0,00038(147,99)} \right] \cdot 0,75 = 0,73 m$$

Distancia del diámetro de entrada al eje del distribuidor

$$H_1 = (0,094 + 0,00025 ns) \cdot D_3 = (0,094 + 0,00025(147,992)) \cdot 0,75 = 0,098 m$$

Distancia del diámetro de descarga del rodete al eje del distribuidor

Si $110 < ns \leq 350$

$$H_2 = \left(\frac{1}{3,16 - 0,0013 ns} \right) \cdot D_3 = \left(\frac{1}{3,16 - 0,0013(147,992)} \right) \cdot 0,75 = 0,252 m$$

- Carcasa

$$A = \left(1,2 - \frac{19,56}{ns} \right) \cdot D_3 = \left(1,2 - \frac{19,56}{147,992} \right) \cdot 0,75 = 0,8 m$$

$$B = \left(1,1 + \frac{54,8}{ns} \right) \cdot D_3 = \left(1,1 + \frac{54,8}{147,992} \right) \cdot 0,75 = 1,100 m$$

$$C = \left(1,32 + \frac{49,25}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(1,32 + \frac{49,25}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,23 \text{ m}$$

$$D = \left(1,5 + \frac{48,8}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(1,5 + \frac{48,8}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,372 \text{ m}$$

$$E = \left(0,98 + \frac{63,6}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(0,98 + \frac{63,6}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,05 \text{ m}$$

$$F = \left(1 + \frac{131,4}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(1 + \frac{131,4}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,41 \text{ m}$$

$$G = \left(0,89 + \frac{96,5}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(0,89 + \frac{96,5}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,15 \text{ m}$$

$$H = \left(\frac{0,79 + 81,75}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(\frac{0,79 + 81,75}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 0,418 \text{ m}$$

$$I = (0,1 + 0,00065ns) \cdot D_3 = (0,1 + 0,00065(147,992)) \cdot 0,75 = 0,14 \text{ m}$$

$$L = (0,88 + 0,00049 ns) \cdot D_3 = (0,88 + 0,00049 (147,992)) \cdot 0,75 = 0,71 \text{ m}$$

$$M = \left(0,60 + \frac{0,000015}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(0,60 + \frac{0,000015}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 0,45 \text{ m}$$

- Tubo de Aspiración

$$N = \left(1,54 + \frac{203,5}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(1,54 + \frac{203,5}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 2,18 \text{ m}$$

$$O = \left(0,83 + \frac{140,7}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(0,83 + \frac{140,7}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,33 \text{ m}$$

$$P = \left(1,37 - \frac{0,00056}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(1,37 - \frac{0,00056}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,02 \text{ m}$$

$$Q = \left(0,58 + \frac{22,6}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(0,58 + \frac{22,6}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 0,549 \text{ m}$$

$$R = \left(1,6 - \frac{0,0013}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(1,6 - \frac{0,0013}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,19 \text{ m}$$

$$S = \left(\frac{ns}{-9,28 + 0,25 ns}\right) \cdot D_3 = \left(\frac{168,928}{-9,28 + 0,25(147,992)}\right) \cdot 0,75 = 4,57 \text{ m}$$

$$T = (1,50 + 0,00019 ns) \cdot D_3 = (1,50 + 0,00019 (147,992)) \cdot 0,75 = 1,14 \text{ m}$$

$$U = (0,51 + 0,0007 ns) \cdot D_3 = (0,51 + 0,0007(147,992)) \cdot 0,75 = 0,46 \text{ m}$$

$$V = \left(1,10 + \frac{53,7}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(1,10 + \frac{53,7}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 1,097 \text{ m}$$

$$Z = \left(2,63 + \frac{33,8}{ns}\right) \cdot D_3 = \left(2,63 + \frac{33,8}{147,992}\right) \cdot 0,75 = 2,14 \text{ m}$$

Análisis de costos

Costo equipo Turbo – Generador (Para caudales 0,5 – 2,5 m3/s)

$$\text{Costo}_{\text{equipo}} = 142000 \times (Q \times H^{0,5})^{0,07}$$

$$\text{Costo}_{\text{equipo}} = 142000 \times (1,5 \times 5,673^{0,5})^{0,07}$$

$$\text{Costo}_{\text{equipo}} = 155.238,050 \text{ US\$}$$

Costos de obras civiles

$$\text{Coc} = 4600 \times H^{0,08} / P^{0,55}$$

$$\text{Coc} = 4600 \times 5,673^{0,08} / 73,394^{0,55}$$

$$\text{Coc} = 73.179,60 \text{ US\$}$$

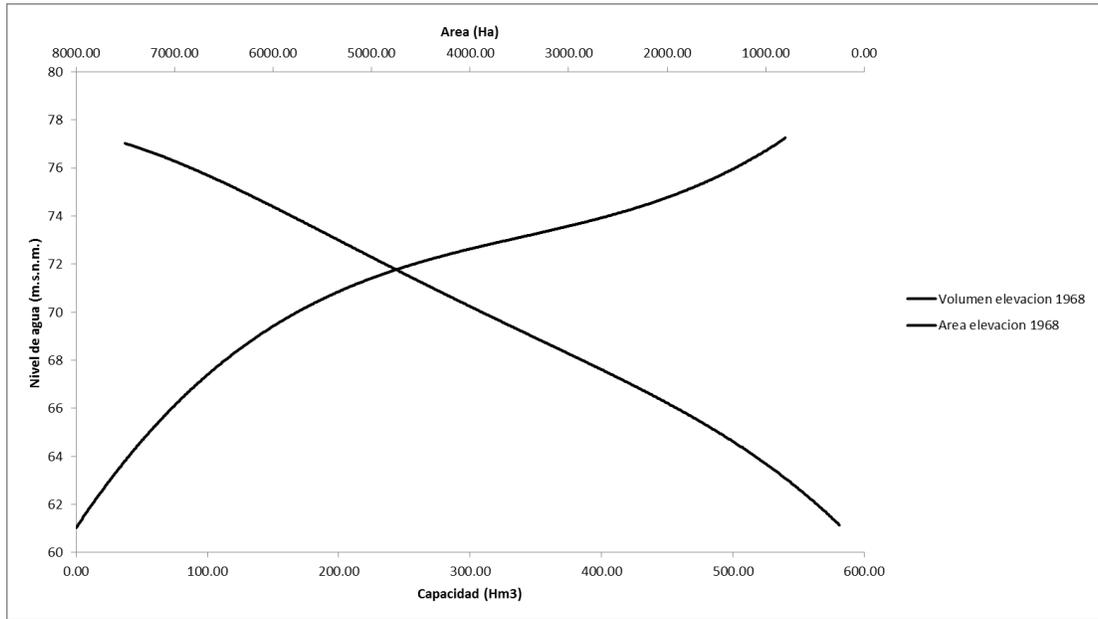
Costos de Mantenimiento

$$\text{Costo}_{\text{Mant}} = 3\% \text{ Inversión Inicial}$$

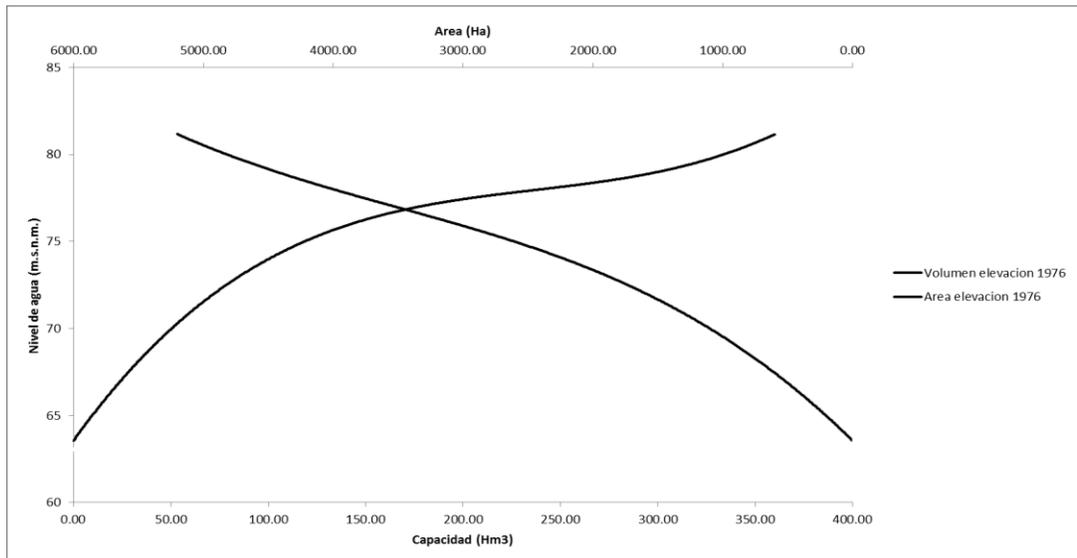
$$\text{Costo}_{\text{Mant}} = 3\% (232.869,439)$$

$$\text{Costo}_{\text{Mant}} = 6.986,083 \text{ US\$}$$

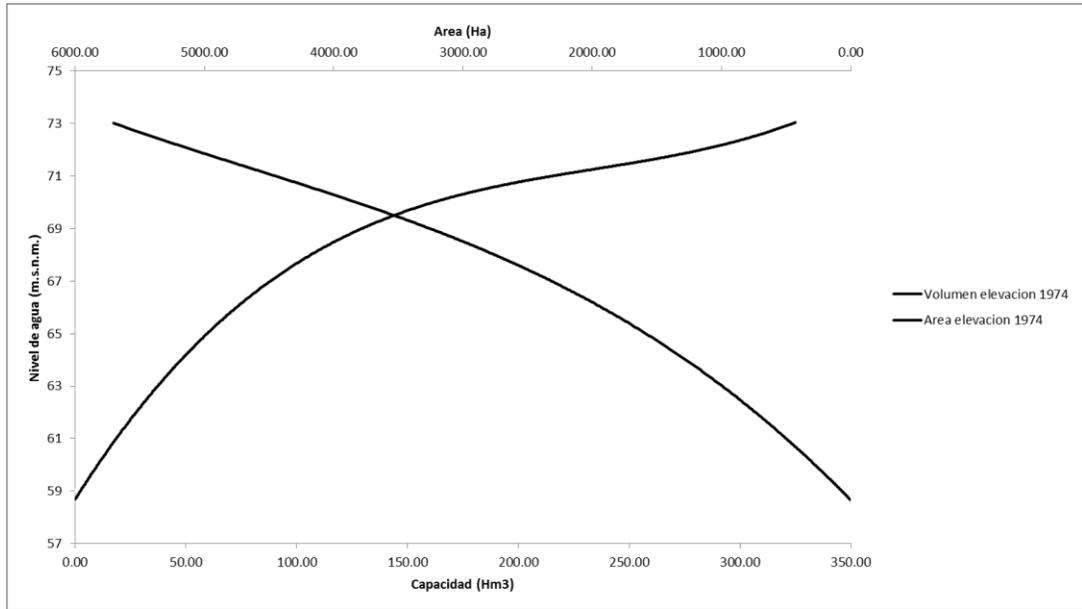
ANEXOS



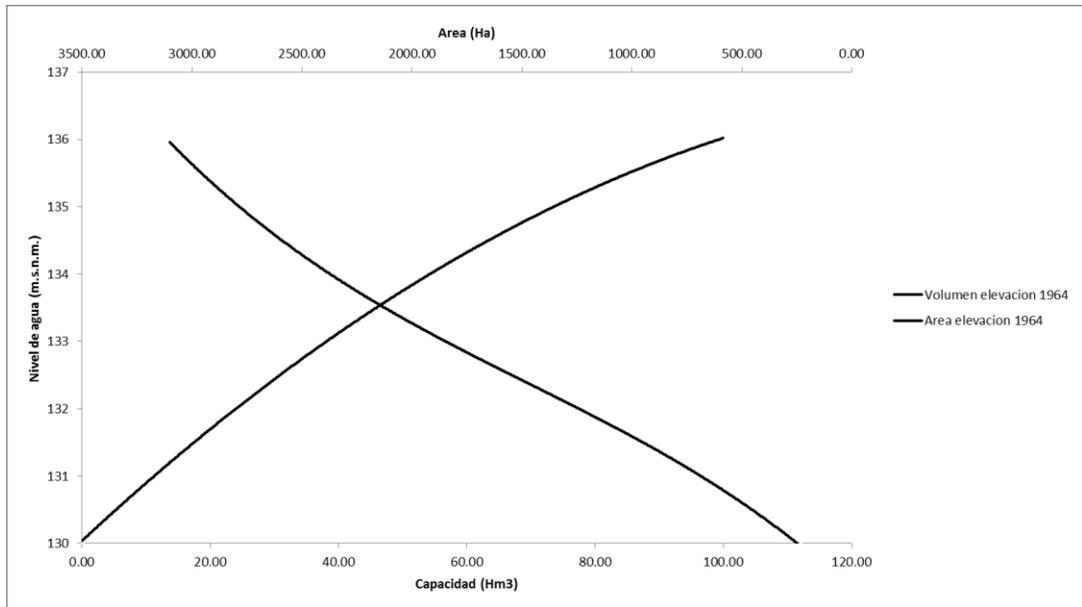
**Curva de elevación-área-capacidad La Becerra, Estado Guárico
(Fuente: MINAMB).**



**Curva de elevación-área-capacidad El Pueblito, Estado Guárico
(Fuente: MINAMB)**



**Curva de elevación-área-capacidad El Cigarrón, Estado Guárico
(Fuente: MINAMB).**



**Curva de elevación-área-capacidad Tamanaco, Estado Guárico
(Fuente: MINAMB)**

año	mes	area (Km2)	area(Ha)	Nivel de agua (msnm)	Volumen (Hm3)	Volumen (m3)	Diferencia de volúmenes	caudal (m3/s)
2015	15/01/2015	26,408	2640,8	67,8	100	100000000	6000000	2,314814815
	29/01/2015	26,994	2699,4	67,9	106	106000000		
	12/02/2015	24,985	2498,5	67	100	100000000	21000000	8,101851852
	27/02/2015	23,554	2355,4	66,9	79	79000000		
	05/03/2015	22,495	2249,5	66,8	77	77000000	5000000	1,929012346
	20/03/2015	21,979	2197,9	66,45	82	82000000		
	11/04/2015	22,372	2237,2	66,7	76	76000000	7000000	2,700617284
	21/04/2015	20,996	2099,6	65,8	69	69000000		
	01/05/2015	20,785	2078,5	65,9	69	69000000	6000000	2,314814815
	29/05/2015	21,252	2125,2	65,76	75	75000000		
	13/06/2015	21,754	2175,4	65,85	76	76000000	1000000	0,385802469
	30/06/2015	22,142	2214,2	66,1	77	77000000		
	05/07/2015	22,594	2259,4	66,7	78	78000000	2000000	0,771604938
	26/07/2015	22,998	2299,8	66,9	80	80000000		
	17/08/2015	23,463	2346,3	66,2	95	95000000	0	0
	28/08/2015	23,222	2322,2	67	95	95000000		
	10/09/2015	22,992	2299,2	67,9	103	103000000	5000000	1,929012346
	23/09/2015	23,451	2345,1	66,9	98	98000000		
	03/10/2015	20,553	2055,3	66,1	73	73000000	1000000	0,385802469
	22/10/2015	19,933	1993,3	66,2	72	72000000		
13/11/2015	20,465	2046,5	66	73	73000000	12000000	4,62962963	
24/11/2015	21,753	2175,300	66,8	85	85000000			
15/12/2015	22,193	2219,3	66,5	86	86000000	2000000	0,771604938	
29/12/2015	22,449	2244,9	66,8	88	88000000			

Embalse la becerra

2014	08/01/2014	20,182	2018,2	66	73	73000000	0	0
	24/01/2014	20,563	2056,3	66,1	73	73000000		
	12/02/2014	20,864	2086,4	65,9	75	75000000	2000000	0,771604938
	27/02/2014	21,149	2114,9	66,1	73	73000000		
	07/03/2014	21,372	2137,2	66,2	74	74000000	2000000	0,771604938
	20/03/2014	21,937	2193,7	66,15	76	76000000		
	11/04/2014	23,197	2319,7	67,2	80	80000000	24000000	9,259259259
	26/04/2014	16,23	1623	66,9	56	56000000		
	07/05/2014	16,45	1645	66,9	58	58000000	0	0
	25/05/2014	16,961	1696,1	66,5	58	58000000		
	13/06/2014	15,534	1553,4	64,85	50	50000000	4000000	1,543209877
	30/06/2014	14,954	1495,4	64,7	46	46000000		
	09/07/2014	14,239	1423,9	64,65	40	40000000	1000000	0,385802469
	26/07/2014	13,286	1328,6	64	39	39000000		
	17/08/2014	14,334	1433,4	64,65	40	40000000	12000000	4,62962963
	25/08/2014	15,239	1523,9	64,75	52	52000000		
	10/09/2014	19,223	1922,3	65	73	73000000	2000000	0,771604938
	28/09/2014	20,857	2085,7	65,5	75	75000000		
	03/10/2014	21,365	2136,5	66	74	74000000	4000000	1,543209877
	22/10/2014	22,635	2263,5	66,1	78	78000000		
13/11/2014	23,337	2333,7	66,9	84	84000000	6000000	2,314814815	
24/11/2014	24,442	2444,2	67,3	90	90000000			
15/12/2014	25,957	2595,7	67,55	106	106000000	4000000	1,543209877	
29/12/2014	26,132	2613,2	67,7	110	110000000			

Embalse la Becerra

2013	10/01/2013	30,725	3072,5	68,15	120	120000000	0	0
	25/01/2013	31,054	3105,4	68,2	120	120000000		
	12/02/2013	31,683	3168,3	68,35	120	120000000	5000000	1,929012346
	27/02/2013	32,342	3234,2	68,4	125	125000000		
	05/03/2013	43,821	4382,1	70,4	128	128000000	72000000	27,77777778
	20/03/2013	42,638	4263,8	70,35	200	200000000		
	11/04/2013	41,829	4182,9	70,4	199	199000000	1000000	0,385802469
	21/04/2013	40,542	4054,2	70,2	198	198000000		
	01/05/2013	38,111	3811,1	69,5	185	185000000	31000000	11,95987654
	29/05/2013	37,243	3724,3	69,4	154	154000000		
	13/06/2013	36,238	3623,8	69,4	152	152000000	1000000	0,385802469
	30/06/2013	35,978	3597,8	69,65	153	153000000		
	05/07/2013	22,834	2283,4	66,7	150	150000000	71000000	27,39197531
	26/07/2013	23,182	2318,2	67,2	79	79000000		
	17/08/2013	23,572	2357,2	67,7	78	78000000	0	0
	28/08/2013	23,941	2394,1	67,9	78	78000000		
	10/09/2013	24,185	2418,5	68	80	80000000	6000000	2,314814815
	23/09/2013	24,912	2491,2	68,2	86	86000000		
	03/10/2013	24,672	2467,2	67,1	87	87000000	3000000	1,157407407
	22/10/2013	24,068	2406,8	68	90	90000000		
13/11/2013	24,534	2453,4	68,1	90	90000000	1000000	0,385802469	
24/11/2013	25,132	2513,2	68,2	89	89000000			
15/12/2013	24,628	2462,8	68,1	89	89000000	0	0	
29/12/2013	24,224	2422,4	68,1	89	89000000			

Embalse la Becerra

2012	10/01/2012	32,143	3214,3	69	131	131000000	4000000	1,543209877
	25/01/2012	31,855	3185,5	68,6	127	127000000		
	12/02/2012	31,584	3158,4	68,5	127	127000000	8000000	3,086419753
	27/02/2012	30,992	3099,2	68,2	119	119000000		
	05/03/2012	30,471	3047,1	68	117	117000000	0	0
	20/03/2012	29,955	2995,5	68	117	117000000		
	11/04/2012	29,623	2962,3	68	116	116000000	0	0
	21/04/2012	30,132	3013,2	68	116	116000000		
	01/05/2012	28,993	2899,3	68	116	116000000	8000000	3,086419753
	29/05/2012	27,483	2748,3	67,8	108	108000000		
	13/06/2012	28,193	2819,3	67,85	106	106000000	6000000	2,314814815
	30/06/2012	28,644	2864,4	67,9	100	100000000		
	05/07/2012	29,523	2952,3	68,5	103	103000000	2000000	0,771604938
	26/07/2012	30,472	3047,2	68,7	105	105000000		
	17/08/2012	31,274	3127,4	68,9	130	130000000	66000000	25,46296296
	28/08/2012	41,662	4166,2	71	196	196000000		
	10/09/2012	43,372	4337,2	71,3	202	202000000	8000000	3,086419753
	23/09/2012	44,684	4468,4	71,55	210	210000000		
	03/10/2012	45,857	4585,7	71,65	218	218000000	2000000	0,771604938
	22/10/2012	46,37	4637	71,7	220	220000000		
13/11/2012	33,753	3375,3	69,1	163	163000000	16000000	6,172839506	
24/11/2012	32,543	3254,3	69	147	147000000			
15/12/2012	31,581	3158,1	68,95	132	132000000	2000000	0,771604938	
29/12/2012	30,248	3024,8	68,55	130	130000000			

Embalse la Becerra

2011	12/01/2011	48,824	4882,4	71,9	263	263000000	22000000	8,487654321
	25/01/2011	48,536	4853,6	71,8	241	241000000		
	02/02/2011	48,183	4818,3	71,7	250	250000000	0	0
	25/02/2011	47,948	4794,8	71,7	250	250000000		
	05/03/2011	47,538	4753,8	71,6	258	258000000	20000000	7,716049383
	20/03/2011	47,005	4700,5	71,5	238	238000000		
	11/04/2011	46,649	4664,9	71,4	237	237000000	1000000	0,385802469
	21/04/2011	45,442	4544,2	71,25	236	236000000		
	10/05/2011	44,973	4497,3	71	236	236000000	41000000	15,81790123
	29/05/2011	42,128	4212,8	70	195	195000000		
	15/06/2011	38,535	3853,5	69	175	175000000	5000000	1,929012346
	30/06/2011	37,985	3798,5	69,8	170	170000000		
	05/07/2011	37,732	3773,2	69,8	170	170000000	10000000	3,858024691
	26/07/2011	38,552	3855,2	69,9	180	180000000		
	17/08/2011	39,592	3959,2	69,9	178	178000000	0	0
	28/08/2011	40,122	4012,2	70	178	178000000		
	12/09/2011	41,593	4159,3	70,3	189	189000000	11000000	4,24382716
	28/09/2011	42,489	4248,9	71	200	200000000		
	03/10/2011	51,582	5158,2	72,3	275	275000000	31000000	11,95987654
	22/10/2011	52,956	5295,6	72,9	306	306000000		
03/11/2011	46,853	4685,3	71,9	240	240000000	21000000	8,101851852	
26/11/2011	45,325	4532,5	71,7	219	219000000			
13/12/2011	44,264	4426,4	71	200	200000000	4000000	1,543209877	
29/12/2011	43,843	4384,3	71,9	196	196000000			

Embalse la Becerra

año	mes	area (Km2)	area(Ha)	Nivel de agua (msnm)	Volumen (Hm3)	Volumen (m3)	Diferencia de volúmenes (m3)	caudal (m3/s)
2015	03/01/2015	28,361	2836	75,5	125	125000000	5000000	1,929012346
	22/01/2015	27,756	2776	75,4	120	120000000		
	12/02/2015	28,123	2812	75,5	130	130000000	10000000	3,858024691
	27/02/2015	29,45	2945	75,6	140	140000000		
	05/03/2015	31,137	3114	75,8	155	155000000	5000000	1,929012346
	20/03/2015	32,041	3204	76	150	150000000		
	11/04/2015	30,233	3023	75.9	138	138000000	13000000	5,015432099
	21/04/2015	28,333	2833	75,5	125	125000000		
	01/05/2015	21,146	2115	72,8	80	80000000	3000000	1,157407407
	29/05/2015	21,671	2167	72,8	83	83000000		
	13/06/2015	23,324	2332	74,5	113	113000000	7000000	2,700617284
	30/06/2015	24,121	2412	75	120	120000000		
	05/07/2015	25,432	2543	75,2	128	128000000	4000000	1,543209877
	26/07/2015	25,121	2512	75,2	124	124000000		
	17/08/2015	24,545	2455	75	121	121000000	7000000	2,700617284
	28/08/2015	23,678	2368	74,5	114	114000000		
	10/09/2015	23,112	2311	74,5	112	112000000	11000000	4,24382716
	23/09/2015	22,756	2276	73	101	101000000		
	03/10/2015	22,142	2214	73	100	100000000	12000000	4,62962963
	22/10/2015	23,161	2316	74,5	112	112000000		
13/11/2015	23,625	2363	74,5	114	114000000	9000000	3,472222222	
24/11/2015	24,342	2434	75	123	123000000			
15/12/2015	25,543	2554	75,2	125	125000000	25000000	9,645061728	
29/12/2015	22,185	2219	73	100	100000000			

Embalse el Pueblito

2014	08/01/2014	37,741	3774	77,5	230	230000000	2000000	0,771604938
	24/01/2014	36,576	3658	77,4	228	228000000		
	12/02/2014	29,548	2955	75,2	125	125000000	3000000	1,157407407
	27/02/2014	29,879	2988	75	122	122000000		
	07/03/2014	30,129	3013	75,7	138	138000000	2000000	0,771604938
	20/03/2014	30,563	3056	75,8	140	140000000		
	11/04/2014	30,268	3027	75,7	138	138000000	0	0
	26/04/2014	29,237	2924	75,6	138	138000000		
	07/05/2014	28,832	2883	75,5	140	140000000	1000000	0,385802469
	25/05/2014	28,394	2839	75,4	141	141000000		
	13/06/2014	29,236	2924	75,7	142	142000000	1000000	0,385802469
	30/06/2014	29,812	2981	75,8	143	143000000		
	09/07/2014	30,203	3020	76,75	144	144000000	1000000	0,385802469
	26/07/2014	30,524	3052	76,35	145	145000000		
	17/08/2014	30,129	3013	76,2	148	148000000	3000000	1,157407407
	25/08/2014	31,121	3112	76,4	151	151000000		
	10/09/2014	30,955	3096	76,4	148	148000000	1000000	0,385802469
	28/09/2014	30,469	3047	76,35	147	147000000		
	03/10/2014	29,825	2983	76,3	146	146000000	2000000	0,771604938
	22/10/2014	29,276	2928	76,2	144	144000000		
13/11/2014	28,884	2888	76	143	143000000	2000000	0,771604938	
24/11/2014	28,184	2818	75	141	141000000			
15/12/2014	27,763	2776	75,8	143	143000000	1000000	0,385802469	
29/12/2014	27,295	2730	75,7	142	142000000			

Embalse el Pueblito

2013	10/01/2013	41,191	4119	78	260	260000000	25000000	9,645061728
	25/01/2013	40,35	4035	77,8	235	235000000		
	12/02/2013	41,285	4129	78	261	261000000	40000000	1,543209877
	27/02/2013	41,853	4185	78	265	265000000		
	05/03/2013	42,037	4204	78,2	270	270000000	40000000	1,543209877
	20/03/2013	41,965	4197	78	266	266000000		
	11/04/2013	41,573	4157	78,6	264	264000000	50000000	1,929012346
	21/04/2013	41,197	4120	78	259	259000000		
	01/05/2013	40,875	4088	77,9	250	250000000	50000000	1,929012346
	29/05/2013	40,524	4052	77	245	245000000		
	13/06/2013	40,125	4013	77,5	228	228000000	30000000	1,157407407
	30/06/2013	39,835	3984	77,4	225	225000000		
	05/07/2013	39,446	3945	77,8	222	222000000	40000000	1,543209877
	26/07/2013	38,375	3838	77,85	218	218000000		
	17/08/2013	36,613	3661	77,3	190	190000000	20000000	7,716049383
	28/08/2013	37,249	3725	77,4	210	210000000		
	10/09/2013	38,356	3836	77,7	218	218000000	20000000	0,771604938
	23/09/2013	39,264	3926	77,6	220	220000000		
	03/10/2013	40,524	4052	77,8	245	245000000	15000000	5,787037037
	22/10/2013	41,204	4120	78,5	260	260000000		
13/11/2013	42,132	4213	78,5	285	285000000	20000000	0,771604938	
24/11/2013	42,608	4261	78,2	287	287000000			
15/12/2013	43,475	4348	78	290	290000000	60000000	23,14814815	
29/12/2013	44,324	4432	78,8	230	230000000			

Embalse el Pueblito

2012	10/01/2012	50,953	5095	80,5	350	350000000	0	0
	25/01/2012	51,235	5124	80,85	350	350000000		
	12/02/2012	50,845	5085	8,5	350	350000000	3000000	1,157407407
	27/02/2012	49,694	4969	8,4	347	347000000		
	05/03/2012	48,537	4854	8,1	346	346000000	16000000	6,172839506
	20/03/2012	47,128	4713	78,7	330	330000000		
	11/04/2012	46,632	4663	78,6	326	326000000	49000000	18,90432099
	21/04/2012	45,341	4534	78,5	375	375000000		
	01/05/2012	42,324	4232	78,2	350	350000000	62000000	23,91975309
	29/05/2012	41,836	4184	78	288	288000000		
	13/06/2012	40,954	4095	77,8	250	250000000	23000000	8,87345679
	30/06/2012	37,259	3726	77,3	227	227000000		
	05/07/2012	37,874	3787	77,55	232	232000000	13000000	5,015432099
	26/07/2012	38,198	3820	77,85	245	245000000		
	17/08/2012	39,564	3956	77,9	262	262000000	48000000	18,51851852
	28/08/2012	42,921	4292	78,4	310	310000000		
	10/09/2012	45,367	4537	77,8	375	375000000	45000000	17,36111111
	23/09/2012	46,532	4653	78,6	330	330000000		
	03/10/2012	47,625	4763	80	339	339000000	6000000	2,314814815
	22/10/2012	48,025	4803	80,15	345	345000000		
13/11/2012	47,921	4792	80	330	330000000	0	0	
24/11/2012	47,523	4752	79,4	330	330000000			
15/12/2012	46,743	4674	78,6	330	330000000	2000000	0,771604938	
29/12/2012	46,295	4630	78,6	328	328000000			

Embalse el Pueblito

2011	12/01/2011	50,893	5089	80,9	350	350000000	0	0
	25/01/2011	50,535	5054	81	350	350000000		
	02/02/2011	50,838	5084	80,5	350	350000000	0	0
	25/02/2011	51,398	5140	81	350	350000000		
	05/03/2011	51,127	5113	80,85	351	351000000	1000000	0,385802469
	20/03/2011	51,429	5143	81	350	350000000		
	11/04/2011	51,856	5186	81,2	351	351000000	28000000	10,80246914
	21/04/2011	52,112	5211	82	379	379000000		
	10/05/2011	52,356	5236	81,3	380	380000000	8000000	3,086419753
	29/05/2011	52,973	5297	81,7	388	388000000		
	15/06/2011	53,687	5369	82,1	411	411000000	8000000	3,086419753
	30/06/2011	53,931	5393	82,2	419	419000000		
	05/07/2011	54,132	5413	83,1	419	419000000	1000000	0,385802469
	26/07/2011	54,375	5438	83,2	420	420000000		
	17/08/2011	55,398	5540	83,9	396	396000000	14000000	5,401234568
	28/08/2011	56,341	5634	84	410	410000000		
	12/09/2011	55,484	5548	82,9	396	396000000	24000000	9,259259259
	28/09/2011	54,324	5432	81,9	420	420000000		
	03/10/2011	52,708	5271	81,4	387	387000000	37000000	14,27469136
	22/10/2011	51,125	5113	80,85	350	350000000		
03/11/2011	42,863	4286	78,8	310	310000000	10000000	3,858024691	
26/11/2011	42,587	4259	78,6	300	300000000			
13/12/2011	41,831	4183	78,6	300	300000000	31000000	11,95987654	
29/12/2011	41,278	4128	78,5	269	269000000			

Embalse el Pueblito

año	mes	area (Km2)	area(Ha)	Nivel de agua (msnm)	Volumen (Hm3)	Volumen (m3)	Diferencia de volúmenes	caudal (m3/s)
2015	10/01/2015	27,614	2761,4	67,75	120	120000000	11000000	4,24382716
	30/01/2015	26,783	2678,3	67,7	109	109000000		
	12/02/2015	26,284	2628,4	67,85	107	107000000	5000000	1,929012346
	27/02/2015	25,573	2557,3	67,25	102	102000000		
	05/03/2015	25,172	2517,2	67	100	100000000	1000000	0,385802469
	20/03/2015	24,817	2481,7	66,95	99	99000000		
	11/04/2015	25,368	2536,8	66,9	100	100000000	1000000	0,385802469
	21/04/2015	24,771	2477,1	66,9	101	101000000		
	01/05/2015	24,162	2416,2	66,88	100	100000000	5000000	1,929012346
	29/05/2015	23,963	2396,3	66,9	95	95000000		
	13/06/2015	24,286	2428,6	67	99	99000000	1000000	0,385802469
	30/06/2015	24,677	2467,7	67,1	100	100000000		
	05/07/2015	25,136	2513,6	67,5	100	100000000	0	0
	26/07/2015	25,582	2558,2	67,6	100	100000000		
	17/08/2015	25,996	2599,6	67,9	101	101000000	0	0
	28/08/2015	25,352	2535,2	67,5	101	101000000		
	10/09/2015	24,853	2485,3	67,4	99	99000000	3000000	1,157407407
	23/09/2015	24,475	2447,5	67,25	96	96000000		
	03/10/2015	23,912	2391,2	65	87	87000000	11000000	4,24382716
	22/10/2015	24,125	2412,5	67,1	98	98000000		
13/11/2015	24,873	2487,3	67,15	99	99000000	1000000	0,385802469	
24/11/2015	25,337	2533,7	67,35	100	100000000			
15/12/2015	25,885	2588,5	67,4	101	101000000	1000000	0,385802469	
29/12/2015	26,317	2631,7	67,9	102	102000000			

Embalse el cigarrón

2014	08/01/2014	20,195	2019,5	66,5	69	69000000	14000000	5,401234568
	24/01/2014	20,975	2097,5	66,7	83	83000000		
	12/02/2014	21,382	2138,2	66,55	82	82000000	7000000	2,700617284
	27/02/2014	22,485	2248,5	67	89	89000000		
	07/03/2014	23,546	2354,6	66,75	91	91000000	5000000	1,929012346
	20/03/2014	24,884	2488,4	67,7	96	96000000		
	11/04/2014	32,426	3242,6	68,5	147	147000000	90000000	34,72222222
	26/04/2014	15,019	1501,9	64,9	57	57000000		
	07/05/2014	14,609	1460,9	64,7	55	55000000	5000000	1,929012346
	25/05/2014	13,271	1327,1	64,6	50	50000000		
	13/06/2014	13,535	1353,5	63,95	49	49000000	1000000	0,385802469
	30/06/2014	13,932	1393,2	64,2	50	50000000		
	09/07/2014	13,728	1372,8	64,15	50	50000000	1000000	0,385802469
	26/07/2014	13,735	1373,5	64,2	51	51000000		
	17/08/2014	29,583	2958,3	68,6	114	114000000	0	0
	25/08/2014	29,638	2963,8	68,65	114	114000000		
	10/09/2014	30,182	3018,2	68,7	114	114000000	1000000	0,385802469
	28/09/2014	30,945	3094,5	68,8	113	113000000		
	03/10/2014	30,542	3054,2	68,9	113	113000000	2000000	0,771604938
	22/10/2014	31,615	3161,5	68,9	115	115000000		
13/11/2014	30,492	3049,2	68,85	113	113000000	3000000	1,157407407	
24/11/2014	29,854	2985,4	68,8	110	110000000			
15/12/2014	27,151	2715,1	68,1	108	108000000	3000000	1,157407407	
29/12/2014	27,687	2768,7	68,3	105	105000000			

Embalse el cigarrón

2013	10/01/2013	22,956	2295,6	67,5	95	95000000	0	0
	25/01/2013	22,449	2244,9	66,9	95	95000000		
	12/02/2013	23,473	2347,3	66,75	6	6000000	94000000	36,2654321
	27/02/2013	24,389	2438,9	68	100	100000000		
	05/03/2013	30,959	3095,9	68,65	124	124000000	8000000	3,086419753
	20/03/2013	29,232	2923,2	68,5	116	116000000		
	11/04/2013	24,652	2465,2	67,5	100	100000000	2000000	0,771604938
	21/04/2013	23,594	2359,4	66,75	98	98000000		
	01/05/2013	22,434	2243,4	67,1	95	95000000	0	0
	29/05/2013	22,954	2295,4	67,5	95	95000000		
	13/06/2013	23,342	2334,2	67,8	96	96000000	1000000	0,385802469
	30/06/2013	22,783	2278,3	66,5	95	95000000		
	05/07/2013	22,132	2213,2	66,9	93	93000000	1000000	0,385802469
	26/07/2013	21,573	2157,3	67	92	92000000		
	17/08/2013	20,971	2097,1	67	90	90000000	2000000	0,771604938
	28/08/2013	21,434	2143,4	67	92	92000000		
	10/09/2013	21,738	2173,8	67	93	93000000	0	0
	23/09/2013	22,243	2224,3	67,5	93	93000000		
	03/10/2013	21,923	2192,3	67	93	93000000	0	0
	22/10/2013	21,396	2139,6	67,4	93	93000000		
	13/11/2013	21,988	2198,8	67,6	93	93000000	0	0
	24/11/2013	22,398	2239,8	67,5	93	93000000		
	15/12/2013	23,642	2364,2	67,75	96	96000000	2000000	0,771604938
	29/12/2013	24,671	2467,1	67,5	98	98000000		

Embalse el cigarrón

2012	10/01/2012	33,767	3376,7	69,4	152	152000000	2000000	0,771604938
	25/01/2012	33,249	3324,9	69,12	150	150000000		
	12/02/2012	32,594	3259,4	69,1	126	126000000	1000000	0,385802469
	27/02/2012	31,341	3134,1	69,1	125	125000000		
	05/03/2012	30,834	3083,4	69,2	124	124000000	3000000	1,157407407
	20/03/2012	29,127	2912,7	68,1	121	121000000		
	11/04/2012	28,391	2839,1	68,8	107	107000000	1000000	0,385802469
	21/04/2012	27,865	2786,5	67,85	106	106000000		
	01/05/2012	26,382	2638,2	67,8	101	101000000	1000000	0,385802469
	29/05/2012	25,847	2584,7	67,2	100	100000000		
	13/06/2012	24,574	2457,4	67	99	99000000	4000000	1,543209877
	30/06/2012	23,101	2310,1	67	95	95000000		
	05/07/2012	24,189	2418,9	67,1	98	98000000	2000000	0,771604938
	26/07/2012	25,256	2525,6	67,25	100	100000000		
	17/08/2012	26,392	2639,2	67,3	101	101000000	5000000	1,929012346
	28/08/2012	27,483	2748,3	68,9	106	106000000		
	10/09/2012	28,342	2834,2	68	108	108000000	14000000	5,401234568
	23/09/2012	29,884	2988,4	69,3	122	122000000		
	03/10/2012	31,847	3184,7	69,25	134	134000000	2000000	0,771604938
	22/10/2012	32,056	3205,6	69,2	136	136000000		
13/11/2012	32,875	3287,5	69,2	149	149000000	1000000	0,385802469	
24/11/2012	33,127	3312,7	69,4	150	150000000			
15/12/2012	32,854	3285,4	69,2	149	149000000	2000000	0,771604938	
29/12/2012	32,462	3246,2	69,13	147	147000000			

Embalse el cigarrón

2011	12/01/2011	34,621	3462,1	69,1	136	136000000	1000000	0,385802469
	25/01/2011	34,973	3497,3	69,3	137	137000000		
	02/02/2011	34,369	3436,9	69	136	136000000	5000000	1,929012346
	25/02/2011	33,572	3357,2	68,8	131	131000000		
	05/03/2011	33,182	3318,2	68,7	125	125000000	0	0
	20/03/2011	32,882	3288,2	68,5	125	125000000		
	11/04/2011	32,168	3216,8	68,4	124	124000000	2000000	0,771604938
	21/04/2011	31,583	3158,3	68,3	122	122000000		
	10/05/2011	30,994	3099,4	68,9	121	121000000	2000000	0,771604938
	29/05/2011	29,421	2942,1	68,8	119	119000000		
	15/06/2011	28,96	2896	68,7	116	116000000	3000000	1,157407407
	30/06/2011	29,243	2924,3	68,8	119	119000000		
	05/07/2011	30,462	3046,2	68,8	120	120000000	2000000	0,771604938
	26/07/2011	31,194	3119,4	69	122	122000000		
	17/08/2011	32,283	3228,3	69,1	124	124000000	4000000	1,543209877
	28/08/2011	33,461	3346,1	69,4	128	128000000		
	12/09/2011	34,872	3487,2	69,75	137	137000000	2000000	0,771604938
	28/09/2011	35,343	3534,3	70,1	139	139000000		
	03/10/2011	36,444	3644,4	70,1	150	150000000	6000000	2,314814815
	22/10/2011	37,792	3779,2	70,8	156	156000000		
03/11/2011	38,262	3826,2	70,9	169	169000000	13000000	5,015432099	
26/11/2011	37,843	3784,3	70,8	156	156000000			
13/12/2011	36,532	3653,2	70,1	150	150000000	0	0	
29/12/2011	36,447	3644,7	70,1	150	150000000			

Embalse el cigarrón

año	mes	area (Km2)	area(Ha)	Nivel de agua (msnm)	Volumen (Hm3)	Volumen (m3)	Diferencia de volúmenes	caudal (m3/s)
2015	10/01/2015	25,173	2517,3	134,25	57	57000000	1000000	0,385802469
	25/01/2015	25,885	2588,5	134,4	58	58000000		
	12/02/2015	25,327	2532,7	134,35	58	58000000	1000000	0,385802469
	27/02/2015	24,578	2457,8	134,2	57	57000000		
	05/03/2015	24,172	2417,2	134	57	57000000	10000000	3,858024691
	20/03/2015	22,982	2298,2	133,6	47	47000000		
	11/04/2015	23,253	2325,3	133,8	54	54000000	6000000	2,314814815
	21/04/2015	22,745	2274,5	133,7	48	48000000		
	01/05/2015	22,189	2218,9	133,5	48	48000000	1000000	0,385802469
	29/05/2015	21,692	2169,2	133,7	47	47000000		
	13/06/2015	20,172	2017,2	133,2	40	40000000	1000000	0,385802469
	30/06/2015	19,668	1966,8	133,1	39	39000000		
	05/07/2015	20,203	2020,3	133,2	40	40000000	1000000	0,385802469
	26/07/2015	20,753	2075,3	133,3	41	41000000		
	17/08/2015	20,304	2030,4	133,2	40	40000000	1000000	0,385802469
	28/08/2015	20,758	2075,8	133,3	41	41000000		
	10/09/2015	20,329	2032,9	133,2	40	40000000	0	0
	23/09/2015	19,858	1985,8	133,1	40	40000000		
	03/10/2015	20,534	2053,4	133,2	41	41000000	2000000	0,771604938
	22/10/2015	20,88	2088	133,25	43	43000000		
13/11/2015	21,341	2134,1	133,3	48	48000000	5000000	1,929012346	
24/11/2015	20,579	2057,9	133,2	43	43000000			
15/12/2015	20,05	2005	133,15	45	45000000	3000000	1,157407407	
29/12/2015	21,334	2133,4	133,4	48	48000000			

Embalse Tamanaco

2014	08/01/2014	21,893	2189,3	133,5	47	47000000	1000000	0,385802469
	24/01/2014	22,101	134	133,6	48	48000000		
	12/02/2014	21,749	2174,9	133,4	46	46000000	1000000	0,385802469
	27/02/2014	21,387	2138,7	133,4	47	47000000		
	07/03/2014	18,581	1858,1	133,1	39	39000000	0	0
	20/03/2014	17,334	1733,4	132,9	39	39000000		
	11/04/2014	13,851	1385,1	132,2	29	29000000	1000000	0,385802469
	26/04/2014	14,582	1458,2	133,4	30	30000000		
	07/05/2014	17,687	1768,7	133,8	37	37000000	0	0
	25/05/2014	17,942	1794,2	133,9	37	37000000		
	13/06/2014	18,332	1833,2	134	39	39000000	0	0
	30/06/2014	18,737	1873,7	134,1	39	39000000		
	09/07/2014	19,04	1904	134,2	39	39000000	0	0
	26/07/2014	19,699	1969,9	134,3	39	39000000		
	17/08/2014	19,081	1908,1	134,2	39	39000000	16000000	6,172839506
	25/08/2014	23,442	2344,2	134,8	55	55000000		
	10/09/2014	24,882	2488,2	134,25	57	57000000	5000000	1,929012346
	28/09/2014	25,105	2510,5	134,3	62	62000000		
	03/10/2014	24,831	2483,1	134,35	57	57000000	1000000	0,385802469
	22/10/2014	24,136	2413,6	134,1	56	56000000		
13/11/2014	24,568	2456,8	134,15	56	56000000	0	0	
24/11/2014	24,77	2477	134,2	56	56000000			
15/12/2014	24,986	2498,6	134,3	57	57000000	0	0	
29/12/2014	25,301	2530,1	134,5	57	57000000			

Embalse Tamanaco

2013	10/01/2013	21,856	2185,6	133,5	47	47000000	1000000	0,385802469
	25/01/2013	22,042	2204,2	133,7	48	48000000		
	12/02/2013	22,452	2245,2	133,7	48	48000000	0	0
	27/02/2013	22,681	2268,1	133,7	48	48000000		
	05/03/2013	21,882	2188,2	133,5	47	47000000	1000000	0,385802469
	20/03/2013	21,374	2137,4	133,4	46	46000000		
	11/04/2013	20,663	2066,3	133,3	45	45000000	2000000	0,771604938
	21/04/2013	21,017	2101,7	133,3	43	43000000		
	01/05/2013	22,371	2237,1	133,7	48	48000000	0	0
	29/05/2013	22,862	2286,2	133,9	48	48000000		
	13/06/2013	21,682	2168,2	133,6	47	47000000	0	0
	30/06/2013	21,136	2113,6	133,5	47	47000000		
	05/07/2013	20,623	2062,3	133,6	44	44000000	2000000	0,771604938
	26/07/2013	21,481	2148,1	133,7	46	46000000		
	17/08/2013	21,662	2166,2	133,7	46	46000000	1000000	0,385802469
	28/08/2013	22,192	2219,2	133,9	47	47000000		
	10/09/2013	21,924	2192,4	133,6	46	46000000	2000000	0,771604938
	23/09/2013	22,472	2247,2	134	48	48000000		
	03/10/2013	22,022	2202,2	133,8	47	47000000	0	0
	22/10/2013	21,954	2195,4	133,8	47	47000000		
13/11/2013	21,585	2158,5	133,7	46	46000000	1000000	0,385802469	
24/11/2013	21,898	2189,8	133,8	47	47000000			
15/12/2013	22,245	2224,5	133,9	47	47000000	0	0	
29/12/2013	22,653	2265,3	133,5	47	47000000			

Embalse Tamanaco

2012	10/01/2012	22,054	2205,4	133,7	48	48000000	0	0
	25/01/2012	21,872	2187,2	133,5	48	48000000		
	12/02/2012	21,351	2135,1	133,4	46	46000000	2000000	0,771604938
	27/02/2012	20,374	2037,4	133	44	44000000		
	05/03/2012	19,681	1968,1	132,9	37	37000000	1000000	0,385802469
	20/03/2012	19,085	1908,5	132,9	38	38000000		
	11/04/2012	19,576	1957,6	132,9	39	39000000	1000000	0,385802469
	21/04/2012	19,778	1977,8	133	40	40000000		
	01/05/2012	20,131	2013,1	133,1	41	41000000	4000000	1,543209877
	29/05/2012	20,762	2076,2	133,3	45	45000000		
	13/06/2012	21,353	2135,3	133,4	46	46000000	1000000	0,385802469
	30/06/2012	21,749	2174,9	133,5	47	47000000		
	05/07/2012	22,172	2217,2	133,6	49	49000000	2000000	0,771604938
	26/07/2012	21,556	2155,6	133,4	47	47000000		
	17/08/2012	21,891	2189,1	133,5	47	47000000	1000000	0,385802469
	28/08/2012	22,338	2233,8	133,7	48	48000000		
	10/09/2012	22,673	2267,3	133,7	48	48000000	4000000	1,543209877
	23/09/2012	23,251	2325,1	133,85	52	52000000		
	03/10/2012	23,893	2389,3	134	53	53000000	1000000	0,385802469
	22/10/2012	23,121	2312,1	133,9	52	52000000		
	13/11/2012	22,647	2264,7	133,7	47	47000000	1000000	0,385802469
	24/11/2012	21,982	2198,2	133,2	46	46000000		
	15/12/2012	22,291	2229,1	133,4	47	47000000	1000000	0,385802469
	29/12/2012	22,632	2263,2	133,7	48	48000000		

Embalse tamanaco

2011	12/01/2011	20,432	2043,2	133,4	44	44000000	0	0
	25/01/2011	20,994	2099,4	133,6	44	44000000		
	02/02/2011	21,312	2131,2	133,6	44	44000000	0	0
	25/02/2011	20,959	2095,9	133,6	44	44000000		
	05/03/2011	20,435	2043,5	133,6	44	44000000	1000000	0,385802469
	20/03/2011	20,121	2012,1	133,3	43	43000000		
	11/04/2011	19,988	1998,8	133,3	43	43000000	0	0
	21/04/2011	20,382	2038,2	133,6	43	43000000		
	10/05/2011	19,772	1977,2	133,1	42	42000000	0	0
	29/05/2011	19,351	1935,1	133,6	42	42000000		
	15/06/2011	18,602	1860,2	133,3	41	41000000	1000000	0,385802469
	30/06/2011	18,243	1824,3	133	40	40000000		
	05/07/2011	18,721	1872,1	132,9	41	41000000	0	0
	26/07/2011	19,332	1933,2	133,1	41	41000000		
	17/08/2011	20,582	2058,2	133,1	44	44000000	3000000	1,157407407
	28/08/2011	21,673	2167,3	133,25	47	47000000		
	12/09/2011	22,583	2258,3	133	48	48000000	1000000	0,385802469
	28/09/2011	22,121	2212,1	133,7	47	47000000		
	03/10/2011	21,79	2179	133,6	46	46000000	1000000	0,385802469
	22/10/2011	21,443	2144,3	133	45	45000000		
03/11/2011	20,853	2085,3	133,1	45	45000000	1000000	0,385802469	
26/11/2011	21,372	2137,2	133,2	44	44000000			
13/12/2011	21,608	2160,8	134,1	45	45000000	1000000	0,385802469	
29/12/2011	21,964	2196,4	134,2	46	46000000			

Embalse tamanaco

