

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA REGIONAL
DE EMBALSES LARA-PORTUGUESA-COJEDES**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Bachilleres
Gaztelumendi R., Iván I.
Sintclair A., Juan E.
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, Octubre 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA REGIONAL DE EMBALSES LARA-PORTUGUESA-COJEDES

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Eduardo E. Martínez P.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Bachilleres
Gaztelumendi R., Iván I.
Sintclain A., Juan E.
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, Octubre 2007

ACTA

El día 01 de Noviembre de 2.007 se reunió el jurado formado por los profesores:

Eduardo Martínez

Yuri Medina

Mario Dubois

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA REGIONAL DE EMBALSES LARA-PORTUGUESA-COJEDES”**.

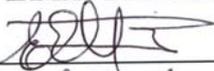
Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRES	CLASIFICACIÓN	
Br. Iván Gaztelumendi Rodríguez	20	Veinte
Br. Juan Sintclain Alvarado	20	Veinte

Recomendaciones

FIRMAS DEL JURADO





Caracas, 01 de Noviembre de 2.007.

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres, RICARDO y ELENA, quienes me han apoyado en todos los momentos de mi vida, brindándome su cariño, disciplina, experiencia y comprensión, siendo ejemplo de vida. Sirva este esfuerzo para devolverles un poco de lo mucho que ustedes han dado por mí.

A mis hermanos, Ricardo, Carolina y Fabiola (Lorena), por ser como son, por cuidarme, apoyarme, brindarme tantos momentos alegres en mi niñez y por estar allí siempre que los he necesitado.

A mis abuelos, que desde el cielo, siempre me han iluminado el camino y me han alejado de lo malo.

A Carol, gracias por siempre tener una palabra de aliento, por tu apoyo, colaboración, comprensión y cariño.

A todos mis hermanos de la vida, Carlos, Gerson, Jorge, Luís N., Luís M., Francisco y Rodrigo por todos los momentos inolvidables, por estar en las buenas y las malas. Siempre serán mis hermanos.

A mis amigos de la U.C.V.: Juan, Oliver, Fariña, Paúl, Luís Felipe, Marialex, Alvaro, Randolf, Lissette, Yuman, Marcos, Adrián, Gabi, Raúl, Rogelio, David, Roberto, Wadih, Jairo, nombrarlos a todos sería realizar una tesis más, muchísimas gracias por ser mis amigos.

A Eduardo Martínez, por ser ejemplo de vida en todos los aspectos que un hombre pueda tener. Por fin te puedo responder LISTA.

Al Doctor Celestino Martínez, Leopoldo Martínez, Rodolfo Martínez y Mary Álvarez, por sus múltiples consejos y enseñanzas.

A Nancy, por todas sus oraciones, apoyo y aliento.

A mis amigos de Martínez Consultores S.A. Alejandro, Sylvia, Luís Subero, Mayiyi, Ari, Valero, William, Silvio y Esperanza.

Y por último, a mis familiares y amigos, que involuntariamente no haya podido mencionar.

Iván I. Gaztelumendi R.

DEDICATORIA

A Dios sobre todas las cosas, por ser el Poder Superior que me ha guiado en todos los momentos de mi vida.

Por darme a EDUARDO y a NEYDA como padres, cuyo amor, enseñanzas y valores positivos han contribuido a alcanzar mis logros.

A EDUARDO y MARÍA FERNANDA, mis hermanos, por saber lo que significa para ustedes y ustedes para mí.

A todas las personas que laboran día a día en Martínez Consultores S.A., por enseñarme, lo importante del profesionalismo competente.

A todos mis amigos, que son personas incondicionales con las cuales compartimos gran parte de nuestras vidas.

Al Colegio "San José de Calasanz", lugar en donde aprendí los valores y la fe cristiana.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por ser mi casa durante seis años, y a todas las personas con las cuales compartí durante estos momentos en este lugar.

Por último y lo cual no puedo dejar de nombrar a MI FAMILIA completa, ellos significan para mí la alegría del compartir.

Juan E. Sintclain A.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a nuestros padres y hermanos por brindarnos todo su apoyo incondicional y comprensión.

También, a nuestro Tutor Eduardo Martínez, por ser el capitán de este barco prestando su valiosa ayuda y dedicaciones.

Al Doctor Helios Silvestre y al Ingeniero Alejandro Rincón, gracias por sus invalorable aportes e incontables consejos.

A nuestros tutores tácitos, Doctor Celestino Martínez de la Plaza, Leopoldo Martínez, Rodolfo Martínez, Sylvia Martínez, Luís Subero y María Alejandra Castro.

A todo el personal de la empresa Martínez Consultores S.A. y de la Dirección de Estudios y Proyectos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

A las personas,
Prof. José de Jesús Gaspar Asesor del Ministerio del Ambiente, Prof. Felipe Odehnl Asesor del Ministerio del Ambiente, Ing. José Daniel Rosales Director de Estudios y Proyectos del Ministerio del Ambiente, Ing. Raúl Sequera Director de Operación y Mantenimiento de Obras del Ministerio del Ambiente, Srta. Carolina Martínez e Ing. Arihanna Carvajal.

Y, cada una de las instituciones que prestaron su valiosa colaboración y apoyo a lo largo de la realización de este trabajo.

**Gaztelumendi R., Iván I.
Sintclain A., Juan E.**

MODELO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA REGIONAL DE EMBALSES LARA-PORTUGUESA-COJEDES

Tutor Académico: Prof. Eduardo E. Martínez P.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2007. 105 páginas.

Palabras Claves: Modelo de Optimización, Tuberías de Aducción, Embalses,
Demandas de Agua Potable, Riego y Caudal Ecológico.

En el presente trabajo se desarrolla un Modelo de Optimización que permite determinar la manera más económica de realizar la distribución del agua proveniente de los Embalses Atarigua, Dos Cerritos, Dos Bocas, Las Majaguas, Las Palmas y Yacambú, ubicados entre los Estados Lara, Portuguesa y Cojedes con el fin abastecer las demandas de agua potable del Área Metropolitana de Barquisimeto, El Tocuyo y Quibor, ubicadas en el Estado Lara, y del Eje Acarigua-Araure, en el Estado Portuguesa, mediante el diseño de un sistema de interconexión entre las fuentes y centros de consumo mencionados, indicando la cantidad de agua disponible para riego.

Dicho modelo consiste en la minimización de los costos de construcción, operación y mantenimiento de varias alternativas o proyectos planteados.

Se determinó que, la manera óptima de realizar el suministro de agua en la región, es incorporando a los sistemas actuales de abastecimiento, un Sistema de Abastecimiento Urbano, proveniente del Embalse Las Majaguas, y del Embalse Yacambú.

El Sistema de Abastecimiento Urbano Las Majaguas, mediante la bifurcación de la aducción proveniente del embalse, permitirá abastecer de agua potable al Área Metropolitana de Barquisimeto en el año 2010 hasta año 2020.

Adicionalmente, se evaluó la situación en el caso que el Embalse Las Majaguas no pueda suplir las demandas de agua potable de la región, debido a las demandas de riego actuales.

Esta situación evaluada da como resultado que las alternativas más económicas para lograr la distribución de agua en la zona, además de la utilización de los sistemas existentes, es construir una aducción que suministre agua, desde el año 2010 hasta el año 2020, proveniente del Embalse Atarigua hasta la ciudad de Quibor.

A partir del año 2020, se debe utilizar el agua almacenada por la Presa Las Palmas, para abastecer a la ciudad de Acarigua, con aducción de 33,5 km de longitud y 66 pulgadas de diámetro, y , el Embalse Yacambú suministrar todo su caudal disponible para el abastecimiento de Barquisimeto.

Las demandas de riego de la región, para las dos situaciones estudiadas, deberán ser satisfechas con los excedentes de agua de los embalses construidos luego que sean abastecidos los cuatro principales centros de consumo estudiados.

CONTENIDO

CONTENIDO	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I	3
1.1.- <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	4
1.2.- <i>ANTECEDENTES</i>	7
1.3.- <i>OBJETIVOS</i>	8
1.3.1.- <i>Objetivo General</i>	8
1.3.2.- <i>Objetivos Específicos</i>	8
CAPITULO II	9
II.1.- <i>MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN</i>	10
II.1.1.- <i>Función objetivo</i>	12
II.1.2.- <i>Restricciones</i>	13
II.2.- <i>CALCULO DE COSTOS</i>	15
II.2.1.- <i>Cálculo de los costos de tuberías</i>	16
II.2.2.- <i>Cálculo de los costos de equipos de bombeo</i>	19
II.2.3.- <i>Cálculo de los costos de operación</i>	21
II.2.4.- <i>Valor presente de los costos</i>	21
II.3.- <i>INFORMACIÓN BÁSICA</i>	25
II.3.1.- <i>Poblaciones</i>	25
II.3.2.- <i>Fuentes de abastecimientos</i>	28
II.3.3.- <i>Dotaciones y demandas</i>	31
II.3.4.- <i>Embalses</i>	37
II.3.5.- <i>Áreas de Riego</i>	45
CAPITULO III	46
III.1.- <i>INTRODUCCION DEL MODELO EN MICROSOFT OFFICE EXCEL</i>	47
III.2.- <i>SOLVER</i>	52
CAPITULO IV	57
IV.1.- <i>RESULTADOS</i>	58
IV.2.- <i>ANÁLISIS DE RESULTADOS</i>	59
CONCLUSIONES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
ANEXOS	71

INTRODUCCIÓN

Como parte de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniero Civil se ha desarrollado este Trabajo Especial de Grado que consiste en la elaboración de un modelo matemático de optimización para determinar la mejor manera de realizar la distribución de agua potable, proveniente de los embalses: Atarigua, Dos Bocas, Dos Cerritos, Las Majaguas, Las Palmas y Yacambú hacia el Área Metropolitana de Barquisimeto, El Tocuyo, Quibor y el Eje Acarigua-Araure, mediante la minimización de los costos de construcción, operación y mantenimiento de un conjunto de proyectos o alternativas planteadas.

Por tanto, servirá de material de apoyo a los entes encargados tomar decisiones acerca de la planificación de estos recursos hídricos y la ejecución de posteriores estudios (Ingeniería Básica e Ingeniería de Detalle), y de base para casos similares en otras regiones del país ya que así lo demuestran los resultados obtenidos, por cuanto aportan soluciones novedosas no consideradas hasta el momento por los organismos competentes.

CAPITULO I

I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia los seres humanos se han visto en la necesidad de diseñar y construir estructuras hidráulicas, con el fin de regular y controlar el agua proveniente de las fuentes naturales para suministrarla a las poblaciones. Las primeras obras, conocidas como presas o represas, fueron construidas por los romanos para abastecer a las ciudades que se encontraban distantes de los ríos (Preciado, 2005). Por lo general el problema radica en poder almacenar el líquido que es abundante en época de invierno, a fin de utilizarlo en época de verano, donde éste es escaso (Bolinaga, 1999).

La revista “El Agua”, editada por la Dirección General de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Ambiente, en su segunda edición (1976), señala que en Venezuela entre los años 1942 y 1973, período de auge en el desarrollo de embalses, se construyeron más de 48 presas permitiendo cubrir las necesidades de agua de muchas regiones del país en el pasado.

En la actualidad, en la región centro-occidental del país, comprendida por el sureste del Estado Lara, el noreste del Estado Portuguesa y el noroeste del Estado Cojedes, existen un conjunto de tres embalses construidos cuya función primordial es satisfacer las demandas de agua potable y riego de la zona.

Además, existen tres presas que entrarán en operación en los próximos años, una de ellas está casi concluida, otra comenzando su construcción y, la restante, en proceso de evaluación. Tomando en cuenta las ya construidas, se cuenta con un total de seis embalses para el abastecimiento de la región.

En el cuadro resumen que se muestra a continuación se señala la información referente al nombre de cada embalse, la situación actual del mismo y el nombre del río donde se ubica la presa. También, en la Imagen siguiente se

puede observar como quedaría conformado el sistema regional de embalses una vez construidos las tres nuevas presas.

Cuadro I.1

Información sobre la situación actual de cada presa

Embalse	Río	Situación Actual
Atarigua	Río Tocuyo	<i>En Funcionamiento</i>
Dos Bocas	Río Acarigua	<i>En Proceso de Construcción</i>
Dos Cerritos	Río Tocuyo	<i>En Funcionamiento</i>
Las Majaguas	Río Cojedes	<i>En Funcionamiento</i>
Las Palmas	Río Cojedes	<i>Evaluación</i>
Yacambú	Río Yacambú	<i>Próxima a Concluirse</i>

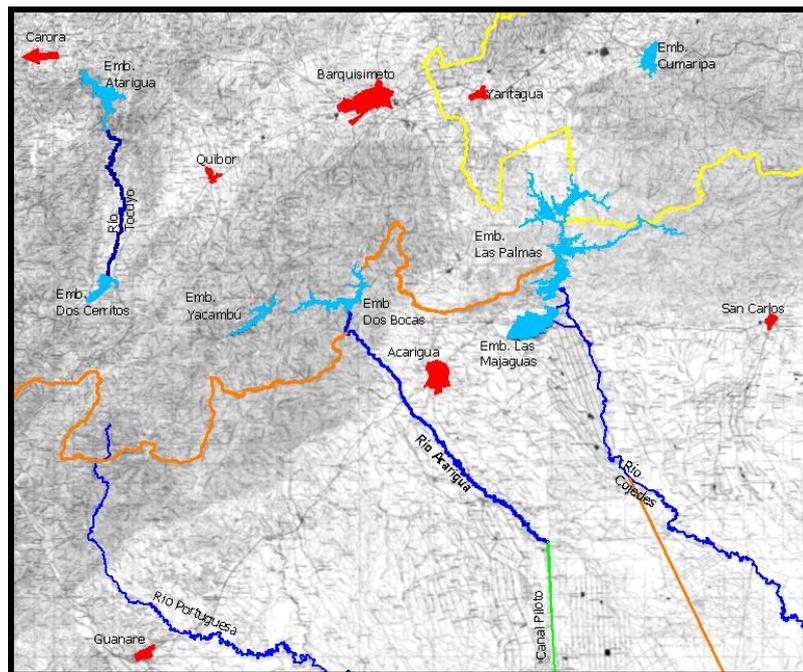


Imagen 1. Ubicación espacial de los seis embalses.

El Área Metropolitana de Barquisimeto es abastecida principalmente por dos sistemas: El Sistema Alto Tocuyo y El Sistema El Manzano (8). Según Hidrolara actualmente ambos suministran un total de 4 m³/s.

El conjunto de pozos, acuíferos cercanos a la región, que suministran agua al Área Metropolitana de Barquisimeto y al Valle de Quibor han disminuido su capacidad debido a las pocas precipitaciones en la región, la poca permeabilidad del suelo y por el exceso de extracciones de los mismos desde casi 40 años para fines de riego del Valle Quibor (17).

El Eje Acarigua-Araure es abastecido por el Sistema Camburito. En la actualidad, este sistema permite garantizar 3 m³/s para el suministro de agua mediante una toma directa sobre el Río Acarigua, otra sobre la quebrada Araure y por pozos cercanos a la región (7).

En vista a esta situación, y en las disponibilidades del recurso hídrico regulado por cada embalse, en el presente y en el futuro, se desarrolló un modelo de optimización que permitió determinar, desde un punto de vista preliminar, la mejor manera de realizar la distribución del agua en la región, con el fin de satisfacer las demandas de la región y minimizar los costos asociados a la construcción de nuevas aducciones, al mantenimiento del sistema y de la magnitud de la energía bombeada en el caso que ésta sea necesaria.

El modelo de optimización, que se propone en este Trabajo Especial de Grado, permite a los entes encargados tomar decisiones acerca de la planificación de estos recursos hídricos y la ejecución de posteriores estudios (Ingeniería Básica e Ingeniería de Detalle). Además, servirá de base para casos similares en otras regiones del país.

1.2.- ANTECEDENTES

En la década de los 70, en Venezuela, se desarrolló el Estudio “Determinación del Esquema Optimo de Abastecimiento de Agua Potable a la Región Metropolitana Valencia-Maracay-Valles de Aragua” por parte del Ingeniero Helios Silvestre, entre otros, para el Ministerio de Obras Públicas (MOP). En él, se realizó el modelaje de la planificación del sistema a la Región Metropolitana de Valencia, Maracay y Valles de Aragua, permitiendo tomar decisiones en la distribución del agua en dicha región.

En dicha época, a pesar de ya contar con computadores, resultaba difícil y laborioso resolver este tipo de problema. Para introducir los datos a los ordenadores se requerían del uso de tarjetas perforadas y utilizar artificios matemáticos para poder trabajar las ecuaciones no lineales, tales como las curvas relacionadas al costo de bombeo.

Hoy en día, se cuenta con herramientas numéricas computarizadas, que permiten resolver problemas de optimización de una forma más rápida, fácil y eficaz, tal es el caso del programa Microsoft Office Excel y la aplicación Solver, perteneciente al mismo, el cual se explica en el próximo capítulo.

I.3.- OBJETIVOS

I.3.1.-Objetivo General

Determinar el sistema de interconexión de los embalses: Atarigua, Yacambú, Dos Cerritos, Las Majaguas, Dos Bocas y Las Palmas, para satisfacer las demandas de agua potable, riego y caudal ecológico, de los Estados Lara, Portuguesa y Cojedes, a un mínimo costo.

I.3.2.-Objetivos Específicos

- Identificar las demandas de agua potable, riego y caudal ecológico de los Estados.
- Cuantificar las demandas de agua potable, riego y caudal ecológico de los Estados.
- Diseñar un modelo matemático que permita establecer las demandas de agua potable, riego y caudal ecológico que deberán ser satisfechas por cada embalse a un mínimo costo.

CAPITULO II

II.1.- MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN

La humanidad, en la búsqueda de lo mejor u óptimo en sus tareas cotidianas, ha desarrollado modelos que permiten abordar el problema de determinar asignaciones óptimas de recursos limitados para cumplir un objetivo dado (2).

En muchos casos lo que se busca es maximizar o minimizar un determinado recurso de una situación real, siendo esto escrito mediante una expresión matemática y delimitándolo mediante un conjunto de restricciones.

Esta expresión matemática es denominada función objetivo y no es más que una ecuación, que permite arrojar dos posibles soluciones, lo máximo y lo mínimo, dentro de las restricciones previamente establecidas.

Arsham (2006), señala que: *“Un modelo de Optimización Matemática consiste en una función objetivo y un conjunto de restricciones en la forma de un sistema de ecuaciones o inecuaciones”*. (p1)

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, en los años 70, fecha para el cual se realizaron los primeros modelos de optimización para la planificación de los recursos hidráulicos por parte del Ing. Helios Silvestre, entre otros ingenieros, para el MOP, se requerían de equipos y programas especializados muy costosos. Es bueno recordar que para la época, las computadoras existentes poseían un gran tamaño, sumamente lentas y, para poder ingresar datos, se debían utilizar tarjetas perforadas.

Para la resolución del modelo planteado, en este trabajo especial de grado, se usó el programa Microsoft Office Excel. Éste, entre muchas de sus

herramientas, posee una aplicación que permite realizar la optimización de una función objetivo.

Según la ayuda del software Microsoft Office Excel:

Solver es parte de una serie de comandos a veces denominados herramientas de análisis Y si (análisis Y si: proceso de cambio de los valores de celdas para ver cómo afectan esos cambios al resultado de fórmulas de la hoja de cálculo. Por ejemplo, variar la tasa de interés que se utiliza en una tabla de amortización para determinar el importe de los pagos.). Con Solver, puede buscarse el valor óptimo para una fórmula (fórmula: secuencia de valores, referencias de celda, nombres, funciones u operadores de una celda que producen juntos un valor nuevo. Una fórmula comienza siempre con el signo igual (=).) de celda, denominada celda objetivo, en una hoja de cálculo. Solver funciona en un grupo de celdas que estén relacionadas, directa o indirectamente, con la fórmula de la celda objetivo. Solver ajusta los valores en las celdas cambiantes que se especifiquen, denominadas celdas ajustables, para generar el resultado especificado en la fórmula de la celda objetivo. Pueden aplicarse restricciones (restricciones: limitaciones aplicadas a un problema de Solver. Puede aplicar restricciones a celdas ajustables, la celda de destino u otras celdas que estén directa o indirectamente relacionadas con la celda de destino.) para restringir los valores que puede utilizar Solver en el modelo y las restricciones pueden hacer referencia a otras celdas a las que afecte la fórmula de la celda objetivo. Utilice Solver para determinar el valor máximo o mínimo de una celda cambiando otras celdas, por ejemplo, puede cambiar el importe del presupuesto previsto para publicidad y ver el efecto sobre el margen de beneficio.

En este trabajo de investigación, el recurso a optimizar es el agua a suministrar por los embalses hacia cada centro de consumo y la función objetivo es la suma de los costos asociados a la construcción de nuevas aducciones, al mantenimiento del sistema y a la magnitud de la energía bombeada en el caso que sea necesaria.

II.1.1.- Función objetivo

Una vez realizado, en el aparte anterior, una breve introducción a los modelos de optimización, se define la función objetivo por el problema planteado:

$$\sum_{i=1}^{NP} \sum_{j=0}^{NF} [I_{ij} + C_{ij} + M_{ij}] \quad (II.1)$$

En donde:

I_{ij} : valor presente de la inversión a realizar en la construcción del proyecto i en la fecha j .

C_{ij} : valor presente de los costos asociados al bombeo a realizar en el proyecto i en la fecha j .

M_{ij} : valor presente de los costos de mantenimiento del proyecto i en la fecha j .

Para fines de este estudio son contempladas tres fechas de control o hitos, 2010 (F_0), 2020 (F_1) y 2030 (F_2) (Ver Anexo 1).

II.1.2.- Restricciones

Las restricciones del modelo matemático de optimización desarrollado, se dividen en dos tipos. Las primeras son las restricciones fundamentales del modelo y las segundas son premisas consideradas en el diseño preliminar de las aducciones.

II.1.2.1.- Restricciones fundamentales

Cada embalse, ciudad o intersección de dos o más aducciones, son considerados como nodos. Esto permite que todo el sistema pueda ser abordado como una malla, o red de distribución, y por ende, en cada uno de éstos se deberá cumplir con el principio de continuidad: La cantidad de agua que entra a un nodo es igual a la que sale del mismo (3). (ver anexo 2)

Lo anterior puede ser expresado mediante la siguiente ecuación:

$$\sum Q_{entradas} = \sum Q_{salidas} \quad (II.2)$$

Para cada uno de los tres casos mencionados, esta ecuación quedará expresada de la siguiente manera, de acuerdo a sus características:

En el caso de un embalse, la cantidad de agua disponible debe ser mayor o igual a la que sale.

$$Q_{disponibleEmbalse_i} - \sum Q_{salidas} \geq 0 \quad (II.3)$$

En el caso de una ciudad, la cantidad de agua que llega a ella debe ser mayor o igual a la cantidad que consume.

$$\sum Q_{entradas} - \sum Q_{salidas} - Demanda_{Ciudad_i} \geq 0 \quad (II.4)$$

En el caso de una intersección de tuberías, la cantidad de agua que entra en la intersección debe ser estrictamente igual a la que sale.

$$\sum Q_{entradas} - \sum Q_{salidas} = 0 \quad (II.5)$$

Siendo:

Qentrada: son todos los caudales que llegan al nodo.

Qsalida: son todos los caudales que salen a un nodo

QdisponibleEmbalse: es el caudal disponible del embalse i.

DemandaCiudad: es la demanda de la ciudad i en un tiempo determinada.

Las ecuaciones o balances de caudales en cada nodo, son las restricciones del modelo planteado en este trabajo y son mostradas en los anexos 3, 4 y 5.

II.1.2.2.- Premisas

Las premisas de diseño se describen en cada uno de los siguientes apartes y en el anexo 6 se presenta un listado resumido de las mismas.

II.2.- CALCULO DE COSTOS

Como ya se mencionó, las variables de la función objetivo son los costos asociados a la construcción de una determinada alternativa y, por consiguiente, los de operación y mantenimiento de las mismas.

En los costos de construcción, se contemplan los de las tuberías y de equipos de bombeo, en caso que la topografía obligue a que éstos sean necesarios para lograr el suministro.

Los costos de operación están relacionados a la magnitud de la energía a ser bombeada en cada hito y, los de mantenimiento serán el 5% de los costos de construcción en el caso de las aducciones y de 550 millones de bolívares en el caso de los embalses, éste se hará una vez al año.

Los costos de las tuberías, los equipos de bombeo, la energía bombeada y los del mantenimiento de las distintas alternativas planteadas se calculan como se explican en los siguientes apartes.

Cabe destacar que estos son determinados preliminarmente (ver anexo 7), sin considerar el diseño en detalle de cada una de las alternativas. Tampoco, la construcción o ampliación de plantas potabilizadoras, estanques, etc.

Las tuberías se diseñan para el máximo caudal transportado por una aducción y no para el correspondiente al de última fecha de estudio. Este se debe a que es posible que al entrar en funcionamiento nuevos embalses la cantidad de agua suministrada por una determinada fuente pueda disminuir.

II.2.1.- Cálculo de los costos de tuberías

Los costos totales de las tuberías a construir están en función de su longitud, diámetro y espesor (28). Además, según Méndez (1995):

En muchos casos de proyectos de tuberías de acero, se utiliza un indicador simplificado del costo, C_a , el cual se expresa en Bs/kg de acero, y que se refiere a todos los factores que intervienen en la fabricación y colocación de la tubería: suministro, transporte, recubrimiento, excavación, colocación, relleno, etc. (p.145)

Para el diseño de las aducciones, en este trabajo, se ha asumido que las mismas son de acero. SOLTUCA, empresa fabricante de tuberías de acero en Venezuela, reseña que actualmente, tanto en el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente y PDVSA, se utiliza un indicador similar al mencionado anteriormente. Dicho factor es de 1.800 dólares por tonelada de acero (387.000.000 Bs./ton, incluye solamente la fabricación) y de 25 dólares por metro cuadrado a ser revestido (53.750 Bs./m², incluye el revestimiento interior y exterior de la tubería). Además señala que, los costos de transporte, colocación, relleno, etc. son el doble de la suma de los dos anteriores.

El costo total de la tubería de acero será calculado mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$C_{TT} = 2 * [(3,87 * 10^6) * \gamma * \frac{[D^2 - (D - e)^2]}{4} + 53.700 * D] * L * \pi \quad \text{(II.6)}$$

Siendo:

C_{TT} : es el costo total de la tubería.

γ : es el peso específico del acero (7.850 kg/m³).

L: es la longitud total de la tubería.

D: es el diámetro externo de la tubería (diámetro comercial).

e: es la espesor de la tubería (espesor comercial).

El diseño preliminar de las alternativas planteadas en este trabajo, se realizó, trazando sobre los planos de cartografía, el alineamiento horizontal de cada una de las aducciones, intentando en lo posible que éstos fuesen paralelos al eje de la vialidad existente en la región y, en caso de no existir ésta, se trató de evadir zonas con altos desniveles, procurando seguir ejes de los cauces o zonas llanas. En el anexo 7 se puede observar lo anteriormente mencionado.

La longitud de las tuberías son la de dichos alineamiento, nuevos y existentes, trazados en planta.

El criterio a utilizar en este trabajo para seleccionar el diámetro de la tubería, es el de velocidad óptima. Arocha (1978), después de realizar el análisis de cómo se deberían seleccionar los diámetros de aducciones en función de los costos de las tuberías, equipos bombeo y, el de mantenimiento y operación de los equipos, señala que: *“Estos análisis han llevado a establecer criterios de diseño para líneas de aducción por bombeo y para redes de distribución, en función de velocidad de flujo, considerada ésta como velocidad económica.”* (p.145)

Esta velocidad máxima económica, para fines de este trabajo, es asumida en 1,6 m/s, y permite obtener el orden de magnitudes de los caudales máximos transportados por las aducciones, conociendo los diámetros comerciales de antemano.

Para determinar el espesor de la tubería, se usó la ecuación que se muestra a continuación:

$$e = 0,007 * D$$

(II.7)

Cabe destacar que los espesores, al igual que los diámetros, son estandarizados, por consiguiente, el valor calculado con la ecuación II.7 es ajustado seleccionando el comercial inmediatamente superior.

El siguiente cuadro señala los diámetros, espesor, capacidades para la velocidad económica asumida (1,6 m/s), pesos y costos por metro lineal de cada tipo tuberías según el diámetro comercial. Estos cálculos fueron realizados por los autores de este trabajo, con las ecuaciones señaladas anteriormente, y serán los utilizados para fines del mismo.

Cuadro II.1

**Tabla Resumen de Diámetros, Espesores,
Capacidades y Costos por metro lineal**

Diametro Externo (")	e=0.007*D (")	Ecomercial (")	Area interna (m ²)	Area Anillo (m ²)	Peso/m.l (ton/m)	Capacidad (m ³ /s)	Costo (Bs./ml)
16.00	0.112	0.250	0.12	0.00798	0.0626	0.195	484,896
18.00	0.126	0.250	0.16	0.00899	0.0706	0.248	546,470
20.00	0.140	0.250	0.19	0.01001	0.0786	0.308	608,044
22.00	0.154	0.250	0.23	0.01102	0.0865	0.375	669,618
24.00	0.168	0.250	0.28	0.01203	0.0945	0.448	731,192
26.00	0.182	0.250	0.33	0.01305	0.1024	0.527	792,766
28.00	0.196	0.250	0.38	0.01406	0.1104	0.613	854,340
30.00	0.210	0.250	0.44	0.01507	0.1183	0.706	915,914
32.00	0.224	0.250	0.50	0.01609	0.1263	0.804	977,489
34.00	0.238	0.250	0.57	0.01710	0.1342	0.910	1,039,063
36.00	0.252	0.281	0.64	0.02034	0.1597	1.018	1,236,043
38.00	0.266	0.281	0.71	0.02148	0.1686	1.136	1,305,252
40.00	0.280	0.281	0.79	0.02262	0.1776	1.261	1,374,461
42.00	0.294	0.375	0.86	0.03164	0.2484	1.380	1,922,266
44.00	0.308	0.375	0.95	0.03316	0.2603	1.517	2,014,627
46.00	0.322	0.375	1.04	0.03468	0.2722	1.660	2,106,988
48.00	0.336	0.375	1.13	0.03620	0.2842	1.810	2,199,349
49.00	0.343	0.375	1.18	0.03696	0.2901	1.887	2,245,530
50.00	0.350	0.375	1.23	0.03772	0.2961	1.966	2,291,710
51.00	0.357	0.375	1.28	0.03848	0.3021	2.047	2,337,891
52.00	0.364	0.375	1.33	0.03924	0.3080	2.129	2,384,071
53.00	0.371	0.375	1.38	0.04000	0.3140	2.213	2,430,252
54.00	0.378	0.438	1.43	0.04755	0.3733	2.288	2,889,075
55.00	0.385	0.438	1.48	0.04844	0.3802	2.375	2,943,014
56.00	0.392	0.438	1.54	0.04933	0.3872	2.464	2,996,953
57.00	0.399	0.438	1.60	0.05021	0.3942	2.554	3,050,892
58.00	0.406	0.438	1.65	0.05110	0.4011	2.646	3,104,831
59.00	0.413	0.438	1.71	0.05199	0.4081	2.739	3,158,769
60.00	0.420	0.438	1.77	0.05288	0.4151	2.834	3,212,708
61.00	0.427	0.438	1.83	0.05376	0.4220	2.931	3,266,647
62.00	0.434	0.438	1.89	0.05465	0.4290	3.029	3,320,586
63.00	0.441	0.500	1.95	0.06334	0.4972	3.116	3,848,380
64.00	0.448	0.500	2.01	0.06435	0.5052	3.218	3,909,954
65.00	0.455	0.500	2.08	0.06537	0.5131	3.321	3,971,528
66.00	0.462	0.500	2.14	0.06638	0.5211	3.425	4,033,102
67.00	0.469	0.500	2.21	0.06739	0.5290	3.532	4,094,676
68.00	0.476	0.500	2.27	0.06841	0.5370	3.639	4,156,250
69.00	0.483	0.500	2.34	0.06942	0.5449	3.749	4,217,824
70.00	0.490	0.500	2.41	0.07043	0.5529	3.860	4,279,399

(Cálculos propios)

II.2.2.- Cálculo de los costos de equipos de bombeo

Los costos de los equipos de bombeo, en Venezuela, son normalmente asociados a la potencia instalada (28). Al igual que en el caso de tuberías de acero se suele utilizar un indicador que permita realizar ésta suposición.

En el presente trabajo, se utilizó la expresión que se muestra a continuación. Ésta, permite determinar (preliminarmente) el costo en miles de dólares (\$) del equipo de bombeo en función a la potencia requerida. Dicha ecuación ha sido suministrada por la Empresa CTI C.A. (Inédito).

$$C_E = 10 * P^{0,65} \quad \text{(II.8)}$$

Siendo:

C_E: es el costo del equipo, en miles de dólares.

P: es la potencia requerida.

La potencia (kw) es calculada con la siguiente expresión:

$$P = 9,81 * \frac{Q * \Delta H}{\varepsilon} \quad \text{(II.9)}$$

En donde:

P: es la potencia de la bomba (kw).

Q: Gasto transportado por la tubería (m³/s).

ΔH: Altura de bombeo (m).

ε: es la eficiencia de bomba, fue supuesta en 75%.

La altura de bombeo (ΔH), para fines de este trabajo, es la diferencia de cota entre el punto más desfavorable por donde pase la tubería y el punto de

salida de la aducción (Δz) más las pérdidas de energía (h_f) calculadas aplicando la ecuación Hazen-Williams.

$$h_f = \frac{10.67 * L}{D^{4.87}} * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \quad (\text{II.10})$$

Siendo:

h_f : Pérdidas de energía (m).

L : Longitud de la Tubería (m).

D : Diámetro de la Tubería (m).

C : coeficiente de fricción de Hazen- Williams.

Q : Caudal transportado por la tubería (m^3/s).

El cálculo del coeficiente de fricción se realizará según lo recomienda el manual M-11 de la AWWA, éste quedará expresado de la siguiente forma, considerando que la tubería contiene recubrimientos internos lisos, en buenas condiciones (28).

$$C = 140 + 0,17 * d \quad (\text{II.11})$$

En donde, **d** es el diámetro de la tubería en pulgadas.

Para este estudio, los puntos más desfavorables son aquellos puntos altos o alejados en la aducción que generen la necesidad de colocar un equipo de bombeo para vencer dichos desniveles. Además, se tomó en cuenta que las líneas de energía deben pasar a cierta altura mínima sobre dicho punto, éstas serán de 1 metro para el caso de nodos o puntos altos y de 20 metros para el caso de las ciudades, valor mínimo para una red de distribución (33).

II.2.3.- Cálculo de los costos de operación

Los costos de operación, como se mencionó, son los relacionados a la magnitud de energía a bombear. En este trabajo se utiliza como costo de energía bombeada (suministrado por la empresa Martínez Consultores S.A.) 200 Bs./kw-hr más un depósito mensual de siete millones de bolívares, pagados a la empresa proveedora de electricidad, que sirve para asegurar que dicha energía sea proporcionada (84 millones de bolívares por año).

Siendo la potencia calculada como se indicó en el aparte anterior, el costo total de bombeo es determinado, como un costo anual, de la siguiente forma:

$$C_{TB} = P * T * f * 365 \text{ días} + 84.000.000Bs. \quad \text{(II.12)}$$

Siendo:

P: potencia requerida a bombear (kw).

T: tiempo de bombeo (asumido en 24 horas y durante los 365 días del año).

f: 200 Bs./kw-hr.

Cabe destacar que éste costo no es constante para cada una de las fechas estudiadas puesto que la potencia requerida depende del caudal transportado por la tubería a un determinado nodo (ciudad o intersección de aducciones) pudiendo ser este variable en el tiempo.

II.2.4.- Valor presente de los costos

Varios de los costos que se toman en cuenta en este trabajo son inversiones a realizarse en fechas distintas, como es el caso de la operación y

mantenimiento del sistema. También, puede ocurrir que algunas de los proyectos planteados requieran ser construidos en períodos distintos. Debido a que el valor del dinero es diferente en cada período de tiempo, para poder comparar y seleccionar cual de las alternativas es la más económica, se debe calcular el valor presente de cada uno de las inversiones y pagos a realizar.

Para lograr este ajuste de costos se debe tomar en cuenta que las inversiones de construcción son pagos únicos, que dependen de la fecha en la que se requieran.

Se asumió que, la inversión para una determinada obra, será realizada tres años antes de la fecha en la que se requieran.

Los costos de operación, son pagos que se van incrementando, o disminuyendo, año tras a año, debido a que dependen principalmente de la magnitud de la energía bombeada, y por ende, del caudal transportado, que podrá ser mayor o menor, dependiendo de las demandas y fuentes disponibles.

Y, los costos de mantenimiento son asumidos como el 5% de la inversión a realizar en la construcción de una aducción y de 550 millones de bolívares para el caso de los embalses (valor suministrado por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente), se realizan una vez por año.

Para el caso de los costos de operación, estos se expresan, en valor presente, como un pago único. Esto se logra con la aplicación de la siguiente ecuación, la cual permite, asumiendo que se los costos crecen o decrecen uniformemente en el tiempo:

$$P = A_1 * \left[\frac{1 - (1 + i)^{-N}}{i} \right] + \frac{G}{i} * \left[\frac{1 - (1 + i)^{-N}}{i} - N * (1 + i)^{-N} \right] \quad \text{(II.13)}$$

En donde:

P: valor presente equivalente a la serie gradiente de N cuotas que se incrementan en un valor G en pesos entre pagos sucesivos.

A₁: Valor de la primera cuota y se encuentra al final del primer intervalo de pago, un período después de ocurrir el valor de P.

G: Valor del gradiente lineal, es una suma de dinero expresada en bolívares y corresponde a la diferencia entre dos cuotas sucesivas.

i: es la tasa de interés, es asumida en 16%.

N: Número de pagos o cuotas que amortizan el valor presente.

Para determinar el valor presente de los costos de construcción (tuberías y equipos de bombeo), se aplica la siguiente ecuación.

$$P = \frac{F}{(i+1)^N} \quad (\text{II.14})$$

Siendo:

P: es el valor presente de la inversión o pago a realizar.

i: es la tasa de interés, ésta será asumida como 16%.

N: es la diferencia entre la fecha inicial y la fecha en la que se deberá realizar la inversión.

F: es la inversión realizada en el futuro (valor en el año N).

Los costos de mantenimiento son calculados a valor presente mediante la expresión:

$$P = A_1 * \left[\frac{1 - (1+i)^{-N}}{i} \right] \quad (\text{II.15})$$

En donde:

P: valor presente equivalente a la serie gradiente de N cuotas que se incrementan en un valor G en pesos entre pagos sucesivos.

A₁: Valor de la primera cuota y se encuentra al final del primer intervalo de pago, un período después de ocurrir el valor de P .

i: es la tasa de interés, es asumida en 16%.

N: Número de pagos o cuotas que amortizan el valor presente.

Todo lo anterior puede ser ampliado las referencias (23) y (37)

II.3.- INFORMACIÓN BÁSICA

En los siguientes apartes se indica la información básica referente a los seis embalses y los cuatro principales centros de consumo, utilizada para el planteamiento y resolución del modelo de optimización.

II.3.1.- Poblaciones

En la región comprendida por los seis embalses se encuentran cuatro ciudades, estas son: el Eje Acarigua-Araure en el Estado Portuguesa y, el Área Metropolitana de Barquisimeto, El Tocuyo y Quibor en el Estado Lara. En el presente aparte se mencionan los aspectos más importantes considerados para fines de este trabajo. Estos son la ubicación, la cota sobre el nivel del mar y el crecimiento poblacional de cada una de las ciudades.

II.3.1.1.- Área Metropolitana de Barquisimeto

El Área Metropolitana de Barquisimeto, se encuentra ubicada al este del Estado Lara y a una cota aproximada de 590 m.s.n.m. (8). Está conformada por los Municipios Iribarren y Palavacino. Entre las ciudades más destacadas que la conforman se pueden mencionar Barquisimeto (capital del Estado y del Municipio Iribarren) y Cabudare (Capital de Municipio Palavacino) (15).

El crecimiento poblacional para estos dos municipios, proyectado y estimado por el Instituto Nacional de Estadísticas, INE, (22) y que es el utilizado para el cálculo de las demandas de la ciudad, se presenta en el cuadro II.2:

Cuadro II.2

Crecimiento Poblacional del Área Metropolitana de Barquisimeto

ÁREA METROPOLITANA DE BARQUISIMETO	Nº Habitantes estimado para el Año						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Municipio Iribarren	744.513	915.634	1.073.934	1.213.126	1.314.294	1.372.448	1.388.715
Municipio Palavecino	93.123	137.294	163.513	187.552	206.322	218.772	224.772
Total (Habitantes)	837.636	1.052.928	1.237.447	1.400.678	1.520.616	1.591.220	1.613.487

Fuente: INE, 2007. Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2050

II.3.1.2.- El Tocuyo

El Tocuyo se encuentra ubicado al sur del Estado Lara y a una cota aproximada de 640 m.s.n.m. (40) Pertenece al Municipio Morán, siendo ésta su capital, además, posee el 34,76% de los habitantes de esta entidad (15). El crecimiento poblacional, estimado por el INE (18), para este municipio es el siguiente (Cuadro II.3):

Cuadro II.3

Crecimiento Poblacional de El Tocuyo

EL TOCUYO	Nº Habitantes estimado para el Año						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Municipio Morán	97.270	115.166	134.327	150.897	162.575	168.830	169.887
El Tocuyo *	33.812	40.032	46.693	52.453	56.512	58.686	59.054
Total (Habitantes)	33.812	40.032	46.693	52.453	56.512	58.686	59.054

* (34.76% de la población del municipio, Fuente: FUDECO. Dossier Estado Lara)

Fuente: INE, 2007. Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2050

II.3.1.3.- Quibor

La ciudad de Quibor es la capital del Municipio Jiménez del Estado Lara, posee el 39,77% de los habitantes del municipio (15). Se encuentra ubicada a una cota aproximada de 680 m.s.n.m. y al sur del estado (9). El crecimiento poblacional del municipio, estimado por el INE, es el siguiente (Cuadro II.4):

Cuadro II.4

Crecimiento Poblacional de Quibor

QUIBOR	N° Habitantes estimado para el Año						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Municipio Jiménez	63.991	83.456	103.783	124.280	142.708	157.919	169.294
Quibor *	25.451	33.192	41.277	49.429	56.758	62.808	67.332
Total (Habitantes)	25.451	33.192	41.277	49.429	56.758	62.808	67.332

*(39,77% de la población del municipio. Fuente: FUDECO. Dossier Estado Lara)

Fuente: INE. 2007. Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2050.

II.3.1.4.- Eje Acarigua-Araure

El Eje Acarigua-Araure se encuentra ubicado al noreste del Estado Portuguesa a una cota aproximada de 200 m.s.n.m. (43). Por ser abastecidas por la misma fuente se incluirán en este trabajo, las poblaciones de los Municipios Agua Blanca, Araure, Estéller, Páez, San Rafael de Onoto, Santa Rosalía y Turén pertenecientes al dicho estado (7). Las estimaciones hechas por el INE sobre el crecimiento poblacional de estos municipios, son las siguientes (Cuadro II.5):

Cuadro II.5

Crecimiento Poblacional del Eje Acarigua-Araure y otras poblaciones importantes

EJE ACARIGUA-ARAURE y otros municipios importantes	Nº Habitantes estimado para el Año						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Municipio Agua Blanca	15.142	17.927	21.625	25.509	29.040	32.015	34.321
Municipio Araure	81.220	117.330	147.290	180.635	213.605	244.397	271.685
Municipio Estéllar	34.940	39.626	48.595	58.259	67.394	75.479	82.182
Municipio Páez	142.177	162.495	195.400	228.893	257.892	280.517	295.904
Municipio San Rafael de Onoto	11.511	15.187	18.499	22.040	25.343	28.223	30.562
Municipio Santa Rosalía	18.209	15.860	15.484	14.762	13.570	12.072	10.440
Municipio Turén	51.060	58.522	68.643	78.621	86.803	92.712	96.206
Total (Habitantes)	354.259	426.947	515.536	608.719	693.647	765.415	821.300

Fuente: INE. 2007. Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2050.

II.3.2.- Fuentes de abastecimientos

Las principales fuentes de abastecimiento las tres ciudades del Estado Lara, consideradas en este trabajo (Área Metropolitana de Barquisimeto, El Tocuyo y Quibor), son El Sistema Alto Tocuyo y El Sistema El Manzano (8). Mientras que, el Eje Acarigua-Araure y los poblados vecinos, cuenta con el Sistema Camburito, la Qda. Araure y aguas subterráneas ubicadas en las inmediaciones (7).

II.3.2.1.- Fuentes Actuales de Abastecimiento del Área Metropolitana de Barquisimeto, El Tocuyo y Quibor

Según el informe técnico: “Abastecimiento de Agua a Barquisimeto y Poblaciones Vecinas”, elaborado por el COPLANARH en 1985, las principales fuentes actuales de abastecimiento de las ciudades de Barquisimeto, Cabudare, El Tocuyo y Quibor, entre otras, son el Sistema Alto Tocuyo y El Sistema El Manzano.

El Sistema Alto Tocuyo, es alimentado por las aguas del Embalse Dos Cerritos, abastece de agua a las poblaciones de El Tocuyo, Quibor, Barquisimeto y Bobare (poblado al norte de este último) mediante el bombeo de la misma desde una estación ubicada aguas abajo de la presa (8).

El Sistema El Manzano, según COPLANARH, “... aprovecha aguas superficiales y subterráneas. En efecto existen campos de pozos en Macuto, Agua Viva y Carabalí, y tomas sobre el río Claro y las quebradas Agua Blanca y Guamacire.” (p.5)

En el anexo 8 se pueden observar ambos sistemas de abastecimiento de Barquisimeto y de las poblaciones vecinas.

En resumen, las disponibilidades de estos dos sistemas son los mostrados en el siguiente:

Cuadro II.6

Disponibilidades de las Fuentes de Abastecimiento de Barquisimeto y Poblaciones Vecinas

Fuente	Disponibilidad (l/s)		
	Riego	Abastecimiento Urbano	TOTAL
Sistema El Tocuyo	2215	4285	6500
Qda. Las Guajiras	1000		1000
Sistema El Manzano		900	900
Campos de Pozos de La Hacienda		300	300
Acuíferos del valle El Tocuyo	500		500
TOTAL	3715	5485	9200

FUENTE: “ABASTECIMIENTO DE AGUA DE BARQUISIMETO Y POBLACIONES VECINAS”, 1985.

Para fines de este trabajo, sólo se contemplarán las disponibilidades de agua del Sistema El Manzano y de los Campos de Pozos de La Hacienda, esto debido a que el Sistema Alto Tocuyo se encuentra dentro del estudio realizado y que las restantes son fuentes destinadas al riego de los valles de Quibor y de El Tocuyo. Además, se asumirá que dichos recursos hídricos, permanecerán constantes en el tiempo, es decir, se contará con caudal constante de 1.200 l/s para el abastecimiento urbano del Área Metropolitana de Barquisimeto.

II.3.2.2.- Fuentes Actuales de Abastecimiento del Eje Acarigua-Araure

El suministro actual del Eje Acarigua-Araure y las poblaciones importantes, mencionadas en el aparte II.3.1.4., es el Sistema Camburito, la Qda. Araure y aguas subterráneas ubicadas en las inmediaciones (7).

El Sistema Camburito (7), consiste en la captación de las aguas provenientes del Río Acarigua, mediante la toma en un derivación, antes de ser entregado el recurso hídrico a las ciudades, es pasado por desarenadores, presedimentadores y por una planta de tratamiento (como se puede observar en el Anexo 9).

Según el informe técnico: *“ABASTECIMIENTO DE AGUA A ACARIGUA Y ARAURE”* (1983), *“... en el río Acarigua parecería razonable suponer, a menos que con un estudio detallado se demuestre lo contrario, que el gasto mínimo durante el 95% del tiempo puede ser igual o mayor que 2000 l/s.”* (p11). Para fines de este trabajo.

En la quebrada Araure existe una derivación y una galería filtrante, que permiten realizar la toma de, aproximadamente, 60 l/s. Estas aguas no reciben ningún tipo de tratamiento por ser de buena calidad (7).

Las aguas provenientes de los pozos existentes en la región, son bombeadas directamente a la red de distribución y las conducciones de cada campo de pozos. Estos últimos son: Darigua al sureste, Acarigua al sureste, Quebrada Araure y, campos de pozos al oeste y en la ciudad. Estas fuentes están en la capacidad de suministrar como mínimo un gasto de 628 l/s.

Las disponibilidades de las fuentes anteriormente señaladas para el año 2010, son aproximadamente 3000 l/s (7).

Al igual que se mencionó en el aparte anterior, en este trabajo, se supondrán que las fuentes Qda. Araure y los aprovechamientos subterráneos, suministrarán, para el abastecimiento de las ciudades, un caudal constante en el tiempo que será de: 3000 l/s para la fecha inicial de estudio (año 2010) y 688 l/s para las siguientes dos fechas (años 2020 y 2030). Como se menciona en el aparte que aborde este tema, se hace la suposición que los embalses Yacambú, Dos Bocas y Las Palmas entrarán en funcionamiento a partir de la segunda fecha de estudio (año 2020).

II.3.3.- Dotaciones y demandas

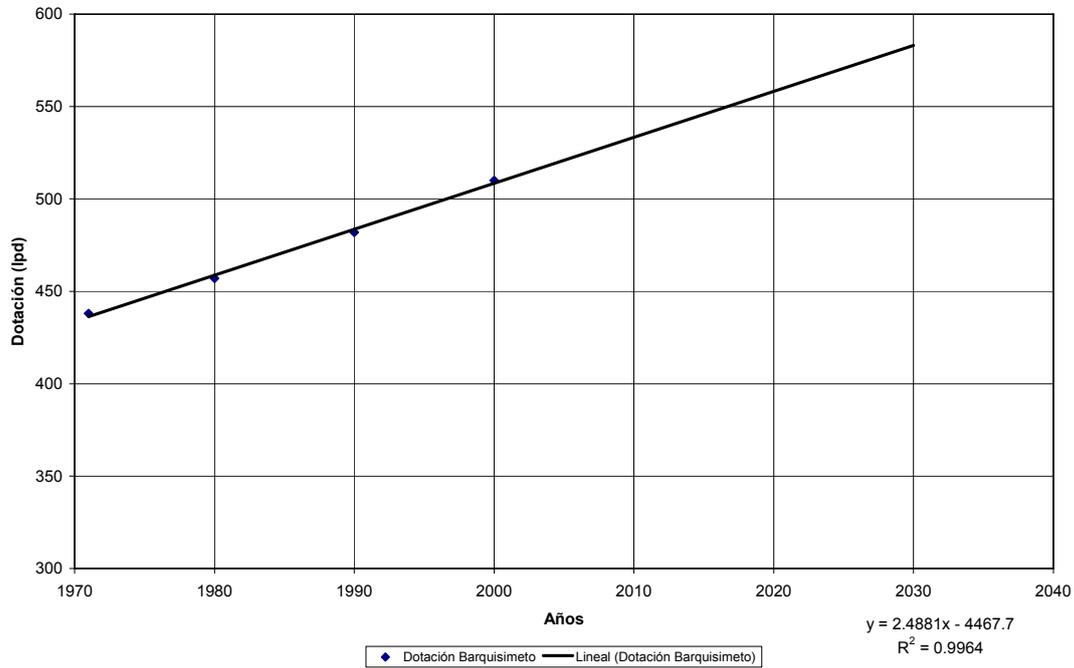
Las dotaciones de cada una de los cuatro (4) centros de consumo estudiados, se calculan graficando y, posteriormente, extrapolarlo linealmente, las ya determinadas en el informe técnico: “*DEMANDAS TEORICAS DE AGUA*” (1983).

En dicho informe, se calculan las demandas teóricas y las dotaciones unitarias de cada una de las ciudades de Venezuela con más de 10.000 habitantes, para la fecha de su realización. Las poblaciones demandantes de agua serán las estimadas por el INE, éstas se señalaron en el aparte II.3.1.

Las demandas para una determinada fecha, se calculan multiplicando el número de habitantes por la respectiva dotación (ambos para la misma fecha).

Las curvas de Dotaciones vs. Tiempo y el cuadro resumen de las demandas teóricas, calculadas para fines de este trabajo, de cada una de los centro de consumo involucrados en el mismo se muestran a continuación.

GRAFICO II.1 Dotación Estimada de Barquisimeto



Cuadro II.7

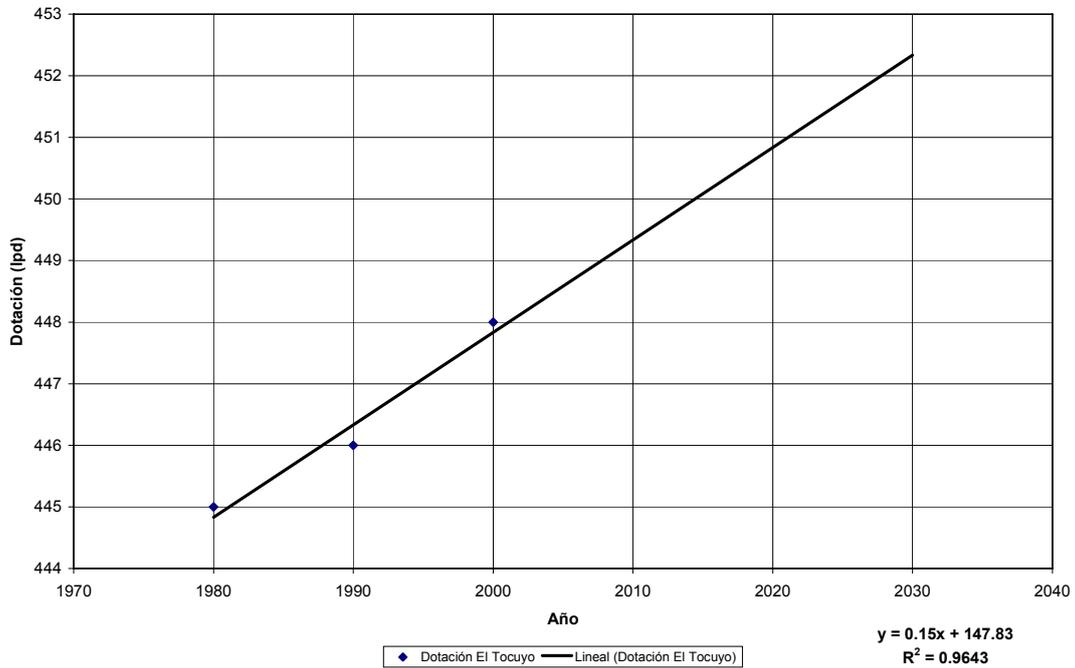
Dotaciones y Demandas Teóricas del Área Metropolitana de Barquisimeto

AÑO	DOTACIÓN (l/p/d)	POBLACIÓN (hab.)	DEMANDA TEÓRICA (m ³ /s)
1971	438	395.364	2,00
1980	457	565.906	2,99
1990	482	837.636	4,67
2000	510	1.052.928	6,22
2010	533	1.237.447	7,64
2020	558	1.400.678	9,05
2030	583	1.520.616	10,26

FUENTE: "DEMANDAS TEORICAS DE AGUA", 1983.

(Cálculos propios)

GRAFICO II.2 Dotación Estimada de El Tocuyo



Cuadro II.8

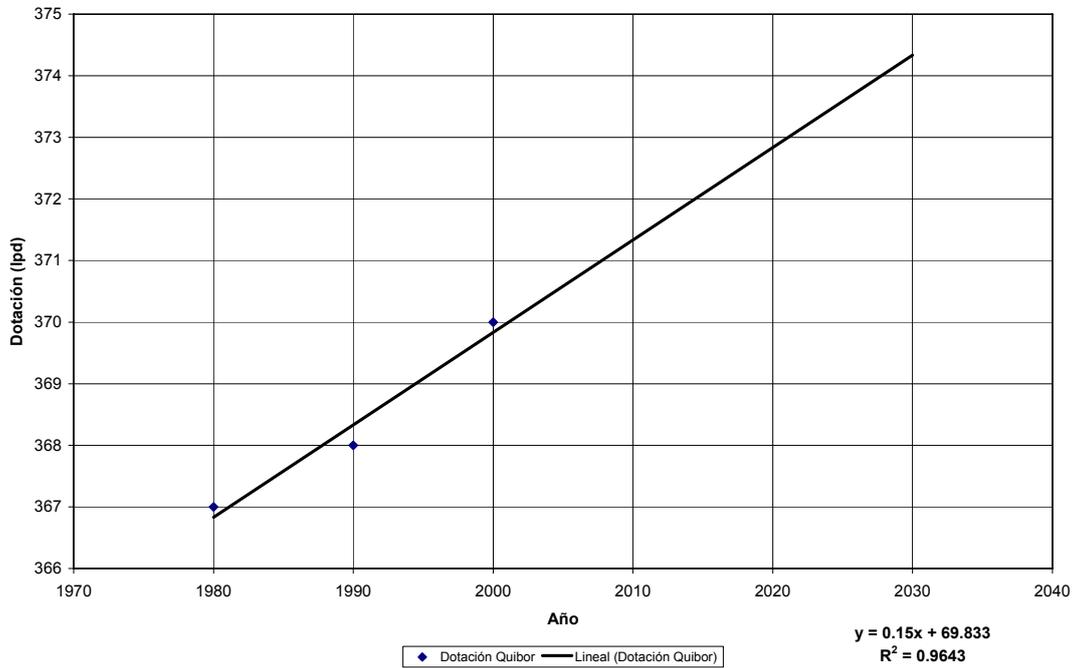
Dotaciones y Demandas Teóricas de El Tocuyo

AÑO	DOTACIÓN (l/p/d)	POBLACIÓN (hab.)	DEMANDA TEÓRICA (m ³ /s)
1971	445	22.148	0,11
1980	445	27.791	0,14
1990	446	33.812	0,17
2000	448	40.032	0,21
2010	449	46.693	0,24
2020	451	52.453	0,27
2030	452	56.512	0,30

FUENTE: "DEMANDAS TEORICAS DE AGUA", 1983.

(Cálculos propios)

GRAFICO II.3 Dotación Estimada de Quibor



Cuadro II.9

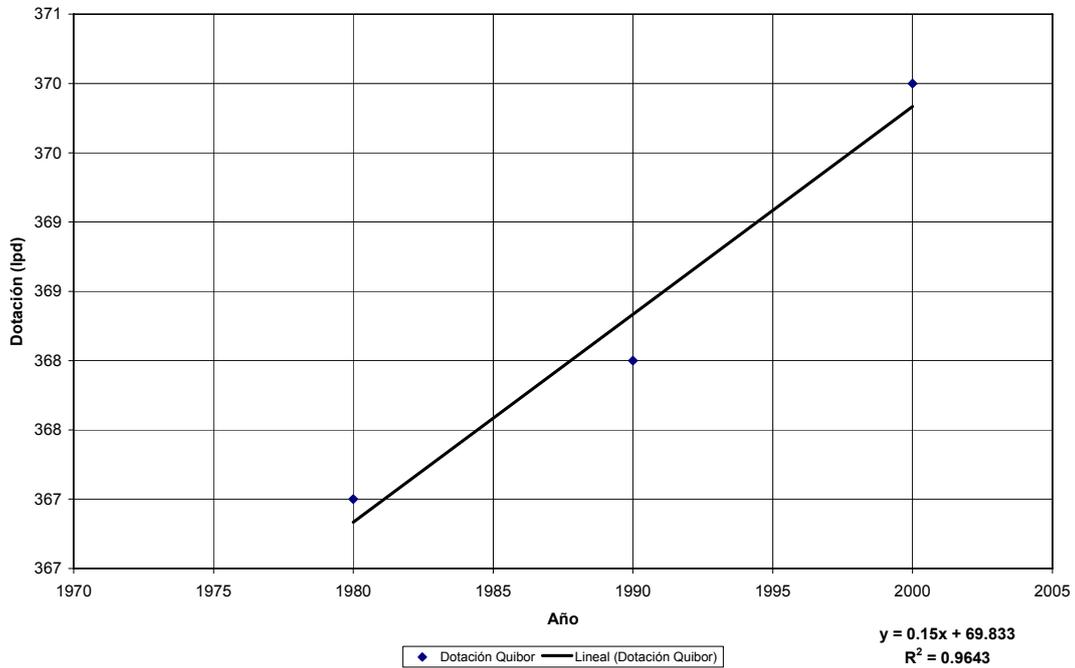
Dotaciones y Demandas Teóricas de Quibor

AÑO	DOTACIÓN (l/p/d)	POBLACIÓN (hab.)	DEMANDA TEÓRICA (m ³ /s)
1971	367	13.980	0,06
1980	367	20.394	0,09
1990	368	25.451	0,11
2000	370	33.192	0,14
2010	371	41.277	0,18
2020	373	49.429	0,21
2030	374	56.758	0,25

FUENTE: "DEMANDAS TEORICAS DE AGUA", 1983.

(Cálculos propios)

GRAFICO II.3 Dotación Estimada de Quibor



Cuadro II.10

Dotaciones y Demandas Teóricas del Eje Acarigua-Araure

AÑO	DOTACIÓN (l/p/d)	POBLACIÓN (hab.)	DEMANDA TEÓRICA (m ³ /s)
1971	412	92.830	0,44
1980	425	142.538	0,70
1990	443	354.259	1,82
2000	461	426.947	2,28
2010	477	515.536	2,85
2020	494	608.719	3,48
2030	511	693.647	4,10

FUENTE: "DEMANDAS TEORICAS DE AGUA", 1983.

(Cálculos propios)

II.3.4.- Embalses

A continuación se mencionan las características más importantes de los seis embalses contemplados en este trabajo (ver anexos 16 al 19). Es importante señalar que algunos de ellos tienen como función primordial el abastecimiento con fines de riego, pero se partirá de la premisa, que el abastecimiento urbano es la prioridad para los entes encargados de tomar decisiones sobre estas fuentes.

Para la estimación del caudal ecológico del embalse, es necesario realizar un estudio ecológico en la región, escapando esto de los alcances de este trabajo, se asumirá como válido que, en los casos en que no se conozca, éste es igual al caudal mínimo del río.

El nivel medio de los embalses, permite definir la característica de la aducción, es decir, si es por gravedad o bombeo. Dicha cota, será el correspondiente al volumen medio del embalse, calculado con la siguiente ecuación, y determinado en la curva cotas-área-capacidad del respectivo embalse (ver anexos 10 al 15).

$$V_{medio} = \frac{(V_{normal} - V_{mínimo})}{2} + V_{mínimo} \quad \text{(II.15)}$$

La disponibilidad del embalse, será la diferencia entre los caudales regulados y ecológicos.

La Dirección de Operación y Mantenimiento de Obras (DOMO) del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, estima que el costo de mantenimiento de los embalses oscila entre 500 y 600 millones de bolívares anuales, en este trabajo, ese valor será asumido como constante en el tiempo e igual al promedio 550 millones de bolívares.

II.3.4.1.- Embalse Atarigua

La presa Cuatricentenaria de la Ciudad de Carora de 59 metros de altura, mejor conocida como Atarigua, se encuentra ubicada a 50 km., aproximadamente, al oeste de la ciudad de Barquisimeto, específicamente sobre el río El Tocuyo en el municipio Torres del Estado Lara. El embalse posee una superficie de 2.025 Ha. Sus principales afluentes son el río Tocuyo y la quebrada Raíces, los cuales aportan 1,68 millones de metros cúbicos anuales (12).

Para fines de este trabajo, este embalse cuenta con un caudal disponible de 2,20 m³/s, esto debido a que se han deducido de su caudal regulado todos los compromisos con la ciudad de Carora, tanto riego (1.500 l/s) como acueducto (500 l/s), caudal ecológico (600 l/s) y el río Curarigua (1.400 l/s) (9).

Los niveles notables de este embalse se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro II.11

Niveles Notables del Embalse Atarigua

ATARIGUA		
NIVELES	Capacidades (millones m³)	Cota (m.s.n.m.)
Máximo	519,28	507,55
Normal	420,00	503,00
Mínimo	0,47	450,53
Útil	419,53	500,00

FUENTE: "EMBALSES DE VENEZUELA", sin fecha.

II.3.4.2.- Embalse Dos Bocas

La presa Dos Bocas, según el proyecto, se encuentra ubicada aguas abajo de la confluencia de los ríos Yacambú y Bucaral los cuales forman al río Acarigua, entre los Estados Lara y Portuguesa (5). La altura máxima de presa es de 160 m y posee una superficie inundada de 2.000 Ha a nivel normal. Para fines de este trabajo, el embalse regulará un caudal de 18 m³/s y un caudal ecológico 2,00 m³/s (caudal mínimo del río Acarigua) (7).

El proyecto contempla abastecer los requerimientos de agua potable de las ciudades de Acarigua-Araure y Barquisimeto, y adicionalmente, el riego de la planicie situada aguas abajo de Acarigua-Araure, en las inmediaciones de los centros poblados de La Misión, Villa Bruzual, Píritu, Choro, Turén, Santa Rosalía, etc. y tendrá un costo aproximado de 350 millones de dólares (5).

Para efectos de este trabajo, se utilizarán los valores del proyecto contemplados en la segunda etapa, y se asumirá, que dicho embalse estará construido para el año 2.020.

Los niveles notables de este embalse son los mostrados en el siguiente cuadro:

Cuadro II.12

Niveles Notables del Embalse Dos Bocas

DOS BOCAS		
NIVELES	Capacidades (millones m ³)	Cota (m.s.n.m.)
Máximo	1300,00	540,00
Normal	1150,00	530,00
Mínimo	50,00	430,00

FUENTE: "PROYECTO EMBALSE DOS BOCAS", 1982.

II.3.4.3.- Embalse Dos Cerritos

La presa Ing. José Félix de los Ríos, conocida como Dos Cerritos, se encuentra ubicada sobre el río Tocuyo y la quebrada Goajira, está conformada por dos represas, una de 45,30 m de altura y otra de 25,30 m (12). Se encuentra a unos 4 km aguas arriba de la ciudad de El Tocuyo, en el municipio Morán del Estado Lara. Los principales afluentes del embalse son el Río Tocuyo y la quebrada Goajira, aportando unos 338,07 millones de metros cúbicos anuales al mismo.

El Embalse Dos Cerritos regula un caudal de 6,33 m³/s y posee un caudal ecológico de 1,18 m³/s (34), la diferencia de ambos es el caudal disponible del embalse.

Los beneficios principales del embalse, son el abastecimiento del eje conformado por los acueductos de El Tocuyo-Quibor-Barquisimeto, y riego de 5.074 Has (12).

Los niveles notables de dicho embalse se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro II.13

Niveles Notables del Embalse Dos Cerritos

DOS CERRITOS		
NIVELES	Capacidades (millones m ³)	Cota (m.s.n.m.)
Máximo	169,79	672,00
Normal	127,41	667,05
Mínimo	71,74	654,00
Útil	101,81	664,00

FUENTE: "EMBALSES DE VENEZUELA", sin fecha

II.3.4.4.- Embalse Las Majaguas

El embalse se encuentra ubicado a 2 Km de San Rafael de Onoto del Estado Portuguesa, sus afluentes principales son el río Cojedes y el río Sarare, las cuencas de dichos ríos tienen un aporte anual de 473,04 millones de metros cúbicos y la altura promedio, de las nueve presas que lo conforman, es de 20 m. El beneficio principal del embalse es el riego de 10.000 Ha en la actualidad (12), aunque en el proyecto original se haya considerado el riego de 24.000 Ha (29).

Debido a que no se logró encontrar información referente al caudal regulado por este embalse, se asumió que éste es igual al máximo caudal extraído para fines de riego, que es 24 m³/s. Tomando en cuenta que, según la referencia (14), el consumo de agua con fines de riego en la región, puede ser asumida como 0,8 a 1 l/s/Ha.

Siendo el caudal ecológico del Embalse Las Majaguas igual a 0,57 m³/s (19), la disponibilidad de éste es 23,43 m³/s.

Los niveles notables del Embalse Las Majaguas se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro II.14

Niveles Notables del Embalse Las Majaguas

LAS MAJAGUAS		
NIVELES	Capacidades (millones m³)	Cota (m.s.n.m.)
Máximo	346,15	253,79
Normal	301,63	252,69
Mínimo	53,17	243,75
Útil	248,46	251,00

FUENTE: "TRABAJO ESPECIAL DE GRADO: SITUACIÓN ACTUAL DEL EMBALSE LAS MAJAGUAS. INCORPORACIÓN DEL EMBALSE LAS PALMAS, ESTADO PORTUGUESA", 2005.

II.3.4.5.- Embalse Las Palmas

El sitio de Proyecto de presa Las Palmas se encuentra ubicado a unos 3 Km. sobre la población Apartaderos del Estado Cojedes (31). Su principal afluente es el río Cojedes, en el sitio de presa el caudal medio es de unos 19,9 m³/s y la presa en el proyecto es de unos 74 m de altura máxima (31).

El proyecto tiene como premisa de diseño utilizar un caudal de 4,7 m³/s para acueducto (30), y el excedente no utilizado, serían utilizados tanto en el actual sistema de riego de Las Majaguas como en la margen izquierda del río Cojedes donde existe un potencial agrícola a desarrollar (29). A demás, contempla que el costo de la construcción de la presa es de unos 160 millones de dólares (30).

Los caudales regulado y ecológico de éste embalse son 17,1 y 9,2 m³/s, respectivamente (31). Siendo la disponibilidad del mismo la diferencia de estos.

En este trabajo se asume que el Embalse Las Palmas entrará en funcionamiento en el año 2.020.

Los niveles notables del embalse se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro II.15

Niveles Notables del Embalse Las Palmas

LAS PALMAS		
NIVELES	Capacidades (millones m³)	Cota (m.s.n.m.)
Máximo	2260,00	254,58
Normal	1850,00	249,58
Mínimo	170,00	193,58

FUENTE: "PROYECTO OBRA EMBALSE LAS PALMAS", 1982

II.3.4.6.- Embalse Yacambú

El sitio de Presa del embalse Yacambú se encuentra aproximadamente a 26 km de la ciudad de Quibor, su afluente principal es el río Yacambú con un escurrimiento anual de 33,43 l/s/km², su altura máxima de presa es de 158 m y su caudal disponible es de 7,46 m³/s, teniendo en cuenta que los caudales regulados por el embalse y ecológico son 10,46 y 3,00 m³/s respectivamente (14).

El proyecto contempla, la construcción de un túnel de trasvase de 4,80 m de diámetro y de 24,3 kilómetros de longitud (17), con lo cual se benefician las ciudades de Quibor y Barquisimeto, a demás, de permitir el riego de 22.000 hectáreas en el valle de Quibor (17).

Se asume que las obras del túnel trasvase serán concluidas entrando en funcionamiento el embalse a partir del año 2020.

Los niveles notables del Embalse Yacambú se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro II.16

Niveles Notables del Embalse Yacambú

YACAMBÚ		
NIVELES	Capacidades (millones m³)	Cota (m.s.n.m.)
Máximo	440,00	754,50
Normal	425,00	751,00
Mínimo	125,00	700,00

FUENTE: "Revista el Agua", 1998.

Para fines de este trabajo, los caudales disponibles y los niveles medios de cada uno de los seis embalses, son los mostrados en el siguiente cuadro (II.17).

Cuadro II.17

Niveles Medios y Disponibilidades de los Embalses

Embalse	N. Medio (m.s.n.m)	Caudal disponible (m³/s)
Atarigua	492,00	2,20
Dos Cerritos	663,50	5,15
Dos Bocas	504,00	16,00
Las Majaguas	249,00	23,43
Las Palmas	233,58	7,90
Yacambú	725,50	7,46

II.3.5.- Áreas de Riego

Las áreas de riego de la región serán abastecidas con los excedentes de los embalses luego de satisfacer a los centros de consumo. Ya que el uso de agua potable es prioritario.

Las áreas de riego, indicadas en el cuadro II.18, se asumen como consumo unitario 1 l/s/Ha.

Cuadro II.18
Zonas de riego

SISTEMA	Área (miles de Ha)
Las Majaguas	24,00
Las Palmas	55,00
Planicie Acarigua-Araure	18,49
Valle de Quibor	22,00
Valle del río El Tocuyo	5,07

Cabe destacar que, tanto de la Planicie de Acarigua-Araure y de la Segunda Etapa del Sistema de Riego Cojedes-Sarare, en la cual se espera desarrollar 55 mil Ha adicionales a las 24 mil Ha irrigadas por el Embalse Las Majaguas (conocido como Primera Etapa de Sistema de Riego Cojedes-Sarare) (26), sólo serán demandas de riego a partir de la construcción de los Embalse Dos Bocas y Las Palmas, respectivamente.

CAPITULO III

III.1.- INTRODUCCION DEL MODELO EN MICROSOFT OFFICE EXCEL

Microsoft Office Excel, es una herramienta desarrollada por Microsoft Corporation y distribuida en el paquete de Microsoft Office, consiste en una hoja de cálculo que permite realizar muchas operaciones de forma sencilla, mediante la identificación de las celdas por medio de filas y columnas.

Excel, posee herramientas de cálculo y gráficos de muy fácil uso. Para la solución del modelo planteado se utilizó este programa, como ya se ha mencionado.

El ingreso de los datos y ecuaciones, pertenecientes al modelo de optimización desarrollado en este trabajo especial de grado, se realizó como se describirá a continuación.

En primera instancia, se elaboró tres columnas debidamente identificadas.

En la primera, denominada **Gastos a Iterar**, se colocó un listado de todos los caudales variables a ser transportados por las tuberías para satisfacer las demandas de agua potable de los centros de consumo para cada fecha de control.

En la segunda, denominada **Gastos**, se colocó todos los caudales antes mencionados y se incluyeron los no variables a ser transportados por las tuberías.

Y, en la tercera, denominada **Suministro**, se colocó la restricción de que caudales menores a 20 l/s serán asumidos como error de cálculo de Solver y, por consiguiente, son iguales a cero.

Lo explicado en los párrafos anteriores se muestra a continuación.

Tabla III.1 Caudales Transportados por Tuberías

		Gastos a Iterar			GASTO (m ³ /s)		SUMINISTRO (m ³ /s)
Q1	F1	0.00			0.00		0.00
	F2	0.00			0.00		0.00
Q2	F0	0.00			0.00		0.00
	F1	0.00			0.00		0.00
Q3	F2	0.00			0.00		0.00
	F1	0.00			0.00		0.00
Q4	F0	0.00			0.00		0.00
	F1	0.00			0.00		0.00
Q5	F2	5.15			5.15		5.15
	F1	0.87			0.87		0.87
	F0	2.15			2.15		2.15
Q6	F0	4.91			4.91		4.91
	F1	0.60			0.60		0.60
Q7	F2	1.85			1.85		1.85
	F1	1.71			1.71		1.71
Q8	F0	2.79			2.79		2.79
	F1	3.41			3.41		3.41
Q9	F2	0.00			0.00		0.00
	F1	0.00			0.00		0.00
Q10	F0	0.01			0.01		0.01
	F1	0.00			0.00		0.00
	F2	0.00			0.00		0.00
Q11	F0	0.00			0.00		0.00
	F1	0.00			0.00		0.00
Q12	F2	1.71			1.71		1.71
	F1	0.00			0.00		0.00
Q13	F0	0.00			0.00		0.00
	F1	0.00			0.00		0.00
Q14	F2	2.79			2.79		2.79
	F1	3.41			3.41		3.41
Q15	F0	1.71			1.71		1.71
	F1	0.00			0.00		0.00
Q16	F2	0.00			0.00		0.00
	F1	0.00			0.00		0.00
	F0	4.73			4.73		4.73
Q17	F2	7.85			7.85		7.85
	F1	9.06			9.06		9.06
Q18	F0	7.46			7.46		7.46
	F1	7.46			7.46		7.46

También, se generaron un total de trece cuadros, colocando en cada una de las celdas que los conforman el respectivo caudal transportado al nodo, haciendo referencia a la tercera columna mencionada (**Suministro**), y se realizó la operación de los mismos siguiendo la ecuación de continuidad para cada fecha de control, como se muestra a continuación.

Tabla III.2 Balance de Nodos

Balance en Dos Cerritos

	Disp.	Q5
F0:	5.15	5.15
F1:	5.15	0.87
F2:	5.15	2.15

Restricción	
≥	0.00
≥	4.28
≥	3.00

Balance en Atarigua

	Disp.	Q2
F0:	2.20	0.00
F1:	2.20	0.00
F2:	2.20	0.00

Restricción	
≥	2.20
≥	2.20
≥	2.20

Balance en Yacambú

	Disp.	Q15
F0:	0.00	0.00
F1:	7.46	7.46
F2:	7.46	7.46

Restricción	
≥	0.00
≥	0.00

Balance en Dos Bocas

	Disp.	Q1	Q3	Q4
F0:	0.00	0.00	0.00	0.00
F1:	16.00	0.00	0.00	0.00
F2:	16.00	0.00	0.00	0.00

Restricción	
≥	16.00
≥	16.00

Balance en Las Palmas

	Disp.	Q8
F0:	0.00	0.00
F1:	7.90	0.00
F2:	7.90	0.00

Restricción	
≥	7.90
≥	7.90

Balance en Las Majaguas

	Disp.	Q7
F0:	23.43	1.71
F1:	23.43	2.79
F2:	23.43	3.41

Restricción	
≥	21.72
≥	20.64
≥	20.02

Balance en El Tocuyo

	Dem.	Q5	Q6
F0:	0.24	5.15	4.91
F1:	0.27	0.87	0.60
F2:	0.30	2.15	1.85

Restricción	
≥	0.00
≥	0.00
≥	0.00

Balance en Quibor

	Dem.	Q6	Q10	Q14	Q15
F0:	0.18	4.91	0.00	4.73	0.00
F1:	0.21	0.60	0.00	7.85	7.46
F2:	0.25	1.85	0.00	9.06	7.46

Restricción	
≥	0.00
≥	0.00
≥	0.00

Balance en Barquisimeto

	Dem.	Q9	Q11	Q14	Fuentes
F0:	7.64	0.00	1.71	4.73	1.20
F1:	9.05	0.00	0.00	7.85	1.20
F2:	10.26	0.00	0.00	9.06	1.20

Restricción	
≥	0.00
≥	0.00
≥	0.00

Balance en Acarigua

	Dem.	Q1	Q3	Q12	Fuentes	Restricción	
F0:	2.85	0	0	0	3.00	≥	0.15
F1:	3.48	0.00	0.00	2.79	0.69	≥	0.00
F2:	4.10	0.00	0.00	3.41	0.69	≥	0.00

Balance en Nodo 1

	Q2	Q9	Q10	Restricción	
F0:	0.00	0.00	0.00	≥	0.00
F1:	0.00	0.00	0.00	≥	0.00
F2:	0.00	0.00	0.00	≥	0.00

Balance en Nodo 2

	Q4	Q11	Q13	Restricción	
F0:	0.00	1.71	1.71	≥	0.00
F1:	0.00	0.00	0.00	≥	0.00
F2:	0.00	0.00	0.00	≥	0.00

Balance en Nodo 3

	Q7	Q8	Q12	Q13	Restricción	
F0:	1.71	0.00	0.00	1.71	=	0.00
F1:	2.79	0.00	2.79	0.00	=	0.00
F2:	3.41	0.00	3.41	0.00	=	0.00

Adicionalmente, se crea una tabla con tres columnas que conforman las restricciones del modelo. En éstas, se hizo referencia al resultado de la ecuación de continuidad para cada embalse, ciudad y nodo, y en cada fecha estudiado.

Tabla III.3 Restricciones de Modelo

Embalses	Restricción	
	Ciudad	Nodo
≥0	$0.050 \geq y \geq 0$	= 0
0.00	0.00	0.00
4.28	0.00	0.00
3.00	0.00	0.00
2.20	0.00	0.00
2.20	0.00	0.00
2.20	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
16.00	0.00	0.00
16.00	0.00	
7.90	0.00	
7.90		
21.72		
20.64		
20.02		

En el mismo archivo, pero en hoja diferente (denominada **Costos**), se elaboran cinco tablas, éstas se encuentran programadas con las ecuaciones mencionadas en el aparte II.2. Cabe destacar, que a cada uno de los costos calculados se le ha determinado su valor presente.

En la primera, se determinan los costos asociados a la construcción y mantenimiento de las tuberías. En la segunda, los de operación del sistema. En la tercera, los de equipos de bombeo requeridos y su respectivo mantenimiento. En la cuarta, se encuentra la inversión a realizarse en la construcción de los Embalse Dos Bocas y Las Palmas. Y en la quinta, el mantenimiento de los embalse restantes (ver anexos 20 al 24).

La suma total de cada uno de los valores presentes calculados en dichas tablas, conforman la función objetivo del modelo planteado, la misma colocó en una celda cercana a la columna **Gastos a Iterar** antes mencionada.

Por último, se elabora una tabla (en la hoja **Costos** del archivo) en la cual existe un indicador que permite saber a partir de que fecha un determinado proyecto requiere ser construido, para fines de abastecimiento urbano, o por el contrario, que éste no sea necesario (ver anexo 25).

Para efectos de este trabajo, se asume que una tubería está construida si por ella son transportados caudales mayores a 20 l/s (valores iguales o menores a éste, se interpretarán como un error de precisión de la herramienta de cálculo, como ya se mencionó. También, a una ciudad no podrá existir un excedente de agua mayor de 50 l/s.

III.2.- SOLVER

Como ya se mencionó Solver es una aplicación de Microsoft Office Excel que permite optimizar un determinado valor mediante la iteración de otros sometidos a un conjunto de restricciones.

Una vez mencionados también, como se ingresaron los datos y ecuaciones del modelo planteado en Microsoft Office Excel, a continuación se señalará la forma en que se introduce la función objetivo y las restricciones al Solver.



Figura III.1 Ventana Solver Standard

En la primera casilla, “**Celda objetivo**”, se introduce la celda donde se encuentra la suma total de los valores presentes de los costos calculados en las tablas mencionadas en el aparte anterior.

En la opción, “**Valor de la celda objetivo**”, se señala la opción Mínimo.

En la casilla, “**Cambiando las celdas**”, se introducen todas las celdas pertenecientes a la columna Gastos a Iterar.

Y por último, en la casilla, **“Sujeta a las siguientes restricciones”**, se ingresarán las siguientes condiciones:

1. Todos los valores de la columna Embalses, deben ser mayores o iguales a cero (ver tabla III.1).
2. Los valores de la columna Ciudades, deben ser iguales o mayores a cero (ver tabla III.1).
3. Adicionalmente, la columna Ciudades, deben ser menores o igual a 0,050, como ya se señaló, esto se debe a que no se acepta que en ninguna ciudad exista un excedente de agua mayor a 50 l/s (ver tabla III.1).
4. Los valores de la columna Nodos deberán ser iguales a cero (ver tabla III.1).

El resultado obtenido se lleva a un plano para que sea analizado por el usuario.

Para resolver el modelo planteado, se consultó la referencia (13), empresa que desarrolla Solver para Microsoft. En ésta se obtuvo una versión más actualizada y eficaz conocida como Premium Solver Platform V7.1 y otra herramienta, denominada Solver Engines V7.0. Éstas, incluidas en el estudio, permiten obtener soluciones óptimas del modelo planteado. Cabe destacar, que ambas trabajan como una aplicación adicional de Microsoft Office Excel semejante a Solver Standard.

Los datos ingresados para la solución del modelo de optimización planteado a estas nuevas herramientas, se realiza como se describe a continuación.

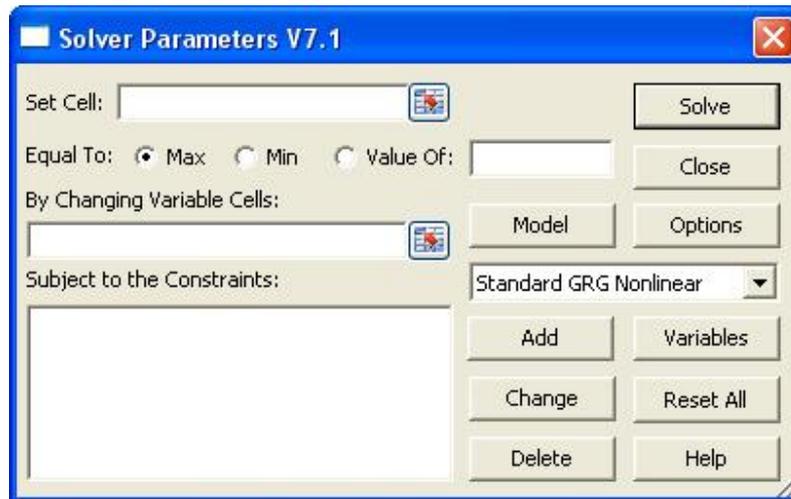


Figura III.2 Ventana Premium Solver Platform.

En la casilla, “**Set Cell**”, semejante a “**Celda Objetivo**”, se introduce la celda donde se realiza la suma de todos los cálculos realizados, es decir, la función a optimizar.

En la casilla, “**Equal To**”, semejante a “**Valor de la celda objetivo**”, se selecciona Min.

En la casilla, “**By Changing Variable Cells**”, semejante a “**Cambiando las celdas**”, se introduce todas las celdas de la columna Gastos a Iterar.

En la casilla, “**Subject to the Constraints**”, semejante a “**Sujeta a las siguientes restricciones**”, se introducen todas las restricciones mencionadas anteriormente y, adicionalmente, se colocó que los caudales a iterar no fuesen mayores a $10,26 \text{ m}^3/\text{s}$ (máxima demanda del sistema estudiado), esto debido a que la herramienta requiere que sea colocado un límite superior.

En la pestaña debajo de “**Options**”, se selecciona “**Large-Scale GRG Solver**”.

Todo lo anterior, se puede observar en la figura III.3.

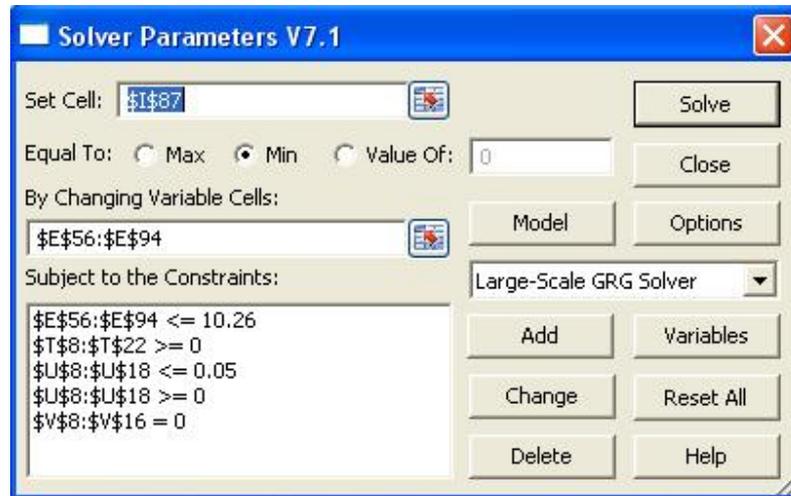


Figura III.3 Datos ingresado en Premium Solver Platform.

También, seleccionando **“Options”** (opciones), se puede acceder a una nueva ventana con múltiples alternativas para mejorar el proceso de iteración.

En la figura III.4 se pueden observar las opciones seleccionadas siguiendo las recomendaciones de la referencia (13).

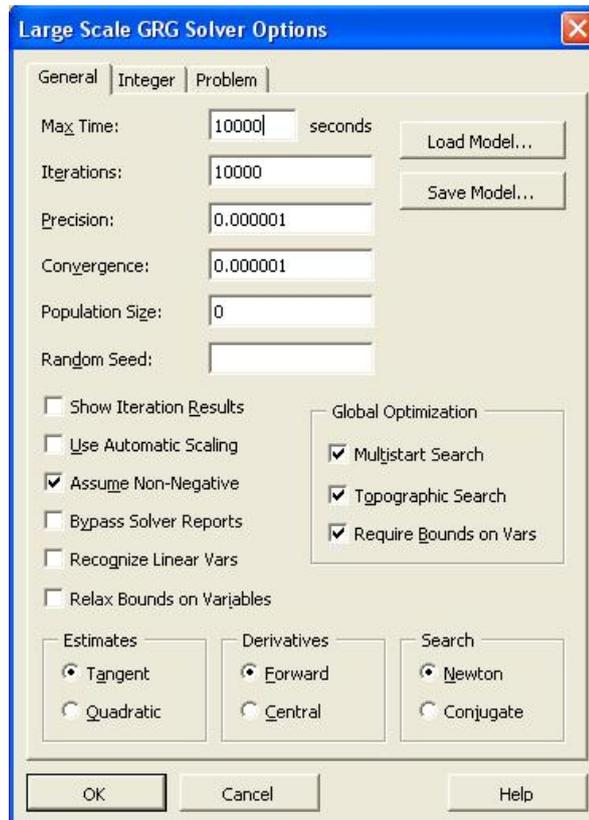


Figura III.4 Opciones seleccionadas.

CAPITULO IV

IV.1.- RESULTADOS

Los resultados obtenidos del modelo de optimización desarrollado son los mostrados en los cuadros IV.1 y IV.2.

Cuadro IV.1

Presas a Construir

Proyectos	Nomenclatura	Descripción	Función
1	Pr1	Presas Dos Bocas	Riego
2	Pr2	Presas Las Palmas	Riego

Cuadro IV.2

Tuberías a construir

Proyectos	Nomenclatura	Descripción	Diámetro (")	Fecha de entrada en funcionamiento
7	Pr7	Aducción Dos Cerritos – El Tocuyo	60	Seguirá en Funcionamiento
8	Pr8	Aducción El Tocuyo- Quibor	60	Seguirá en Funcionamiento
9	Pr9	Aducción Las Majaguas- Nodo3	66	2010
13	Pr13	Aducción Nodo2- Barquisimeto	48	2010
14	Pr14	Aducción Nodo3- Acarigua-Araure	66	2020
15	Pr15	Aducción Nodo3-Nodo2	48	2010
16	Pr16	Aducción Quibor- Barquisimeto	60	Seguirá en Funcionamiento
17	Pr17	Túnel trasvase Yacambú-Quibor	192	2020

Los resultados de caudales a suministrar por cada embalse y costos de las alternativas a construir se muestran en los anexos 26 al 29.

El valor de presente de los costos asociados a la construcción, a la operación y el mantenimiento de las alternativas planteadas es de **setecientos cincuenta y un mil seiscientos setenta y siete millones veintiocho mil cuatrocientos cuarenta y ocho bolívares** (Bs. 751.677.028.448) , o su semejante de **setecientos cincuenta y un millones seiscientos setenta y siete mil veintiocho bolívares fuertes** (BsF. 751.677.028).

IV.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

El modelo de optimización desarrollado permite evaluar las distintas interconexiones entre los embalses y los principales centros de consumo de la región, contemplando los costos de construcción, operación y mantenimiento de cada una de las alternativas planteaas.

La alternativa óptima es seleccionada por el modelo siguiendo los factores económicos mencionados, y por consiguiente, contemplando las longitudes y diámetros de las tuberías, los equipos y la magnitud de la energía bombeada, siendo todas estas, las de mayor peso en la toma de decisión.

En otras pablaras, la opción óptima es la que permita realizar la distribución del agua mediante la construcción de aducciones con menores diámetros y longitudes, y también, en las que se requiera realizar el menor bombeo posible.

También, es importante señalar que, en la toma de decisiones los costos de construcción de un determinado embalse, juega un papel importante, debido a que no se justifica realizar una inversión, para fines de abastecimiento urbano, si es

posible que, el suministro de agua a las ciudades, se realice mediante aducciones provenientes de fuentes ya captadas, abaratando de esta forma los costos.

Analizando los resultados, se puede observar que todo lo anterior predominó en la determinación de la manera óptima de realizar la interconexión, desde los embalses hasta los centros de consumo.

En primera instancia, ya existiendo tres fuentes construidas y una por concluirse (Yacambú), se puede observar que es de menor costo no utilizar los embalses Dos Bocas ni Las Palmas para satisfacer las demandas de agua potable de la región sino los existentes.

Los centros de consumo pueden ser abastecidos mediante la utilización de los sistemas de abastecimientos actuales (Sistema Alto Tocuyo, Sistema El Manzano y Sistema Camburito) e, incorporar a éstos, a Las Majaguas, para abastecer al Área Metropolitana de Barquisimeto hasta el año 2020; a partir de esta fecha se debe pensar que el Embalse Yacambú aportará todo su caudal disponible al acueducto del Sistema Alto Tocuyo.

Cabe destacar también, que para el año 2010 hasta el 2020, la mejor alternativa para satisfacer las demandas de agua del Área Metropolitana de Barquisimeto, es la construcción de una aducción proveniente desde el Embalse Las Majaguas y no desde el Embalse Atarigua, ya que, para el segundo caso, tanto la longitud de la tubería como la magnitud de energía de bombeo son superiores.

A partir de esa fecha, el Embalse Las Majaguas, suministrará agua al Eje Acarigua-Araure, y las aguas de Yacambú, completarán el abastecimiento de Barquisimeto.

La tubería desde el Embalse Las Majaguas hasta Barquisimeto servirá para atender cualquier tipo de emergencia en el abastecimiento de la ciudad, a partir de esa fecha.

Las zonas de riego, deberán ser abastecidas, en las épocas de verano, con los excedentes de agua de los embalses luego de realizar el suministro a los centros de consumo y por las fuentes actuales (pozos y tomas sobre quebradas) para tales fines.

El Embalse Las Majaguas, según los resultados obtenidos, permite regar, aproximadamente, 22 mil hectáreas en el año 2010, 21 mil en el año 2020 y 20 mil en el año 2030. A su vez que, el Embalse Dos Cerritos, dispondrá de 4,28 y 3 m³/s, para los años 2020 y 2030 respectivamente, que pueden ser utilizados en el irrigación del valle El Tocuyo y del valle Quibor,

El Embalse Atarigua, al no ser necesario para el abastecimiento urbano de la región, permitirá el riego de 2.200 Ha en el valle de Quibor.

Para el caso de los embalses Dos Bocas y Las Palmas, éstos podrían servir de complemento en el abastecimiento de riego de la región, sí, estudios posteriores arrojan resultados positivos para dicho fin.

Debido a que el Embalse Las Majaguas ha sido diseñado y construido para abastecer una región de 24 mil hectáreas, según el proyecto, con fines de riego, se realizó una simulación en la cual dicho embalse no pueda suministrar agua potable para abastecimiento urbano. Los resultados se muestran en los anexos 30 al 33.

Esta situación evaluada da como resultado que las alternativas más económicas para lograr la distribución de agua en la zona, son:

Desde del año 2010, hasta el año 2020, el agua proveniente del Embalse Atarigua deberá abastecer la ciudad de Quibor y al Área Metropolitana de Barquisimeto, mediante la incorporación del caudal transportado por la tubería al Sistema Alto Tocuyo, existente.

Después del año 2020, el Embalse Yacambú sustituirá al Embalse Atarigua de la misma forma anteriormente señalada.

Para esa misma fecha, la ciudad de Acarigua será abastecida desde la Presa Las Palmas con una aducción de 33,5 km de longitud y 66 pulgadas de diámetro.

Cabe destacar que, el valor presente de los costos, para esta situación evaluada, es **ochocientos cincuenta y seis millones de bolívares**, aproximadamente, (ochocientos cincuenta y seis millones de bolívares fuertes) mayor al estimado en el caso de la incorporación del Embalse Las Majaguas.

CONCLUSIONES

El sistema de interconexión óptimo para satisfacer las demandas de agua potable de los cuatro centros de consumo considerado, Área Metropolitana de Barquisimeto, El Tocuyo, Quibor y el Eje Acarigua-Araure, es el siguiente:

El Embalse Dos Cerritos, mediante el Sistema El Tocuyo, seguirá abasteciendo a las ciudades de El Tocuyo, Quibor y Barquisimeto.

Se deberá construir una aducción proveniente desde el Embalse Las Majaguas, para suministrar agua a la ciudad de Barquisimeto a partir del año 2010 y hasta el año 2020, fecha en la cual será sustituido por Yacambú, sin embargo deberá suministrar agua al Eje Acarigua Araure a partir del año 2020.

A partir del año 2020, el Embalse Yacambú, deberá aportar todo su caudal disponible para el abastecimiento del Área Metropolitana de Barquisimeto, permitiendo que los excedentes del Embalse Dos Cerritos puedan ser utilizados para la irrigación de los valles de El Tocuyo y Quibor.

Los excedentes de agua del Embalse Las Majaguas, permiten regar un aproximado de entre 22 mil y 20 mil hectáreas.

Para el caso de los embalses Dos Bocas y Las Palmas, éstos podrían servir de complemento en el abastecimiento de riego de la región, sí, estudios posteriores arrojan resultados positivos para dicho fin.

Dado el caso, de no poderse incluir el Embalse Las Majaguas en el sistema de abastecimiento propuesto, el sistema de interconexión más económico es la construcción de una aducción proveniente del Embalse Atarigua hasta la ciudad de Quibor, que permita el abastecimiento, entre los años 2010 y 2020, del Área Metropolitana de Barquisimeto, mediante la incorporación del agua transportada por la línea de tubería, al Sistema Alto Tocuyo, existente.

A partir del año 2020, el Embalse Yacambú deberá aportar todo su caudal disponible al acueducto del Sistema Alto Tocuyo para abastecer a Barquisimeto y Quibor.

Adicionalmente, para el año 2020, la Presa Las Palmas, suministrará agua, por medio de una aducción, de 33,5 km de longitud y de 66 pulgadas de diámetro, al Eje Acarigua-Araure.

Los excedentes de agua de cada uno de los embalse, permitirán irrigar las zonas de riego de las región, incluyendo a los embalses Las Majaguas y Dos Bocas, sí, estudios sobre esta fuente arrojan resultados positivos para dicho fin.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Arocha R., S. (1978). Abastecimientos de Agua. Teoría & Diseño. Primera Edición. Caracas. Ediciones Vega.
- (2) Arsham H. (1994). Modelos Determinista: Optimización Lineal. Disponible: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SpanishD.htm> [Consulta: 2007, Agosto 31]
- (3) Bolinaga, J. (1992), Mecánica Elemental de los Fluidos. Fundación Polar. Caracas.
- (4) Bolinaga, J. (1999), Proyectos de Ingeniería Hidráulica. Volumen 1. Fundación Polar. Caracas.
- (5) Carrillo, E. (1982). Proyecto Embalse Dos Bocas, Río Acarigua. Volumen 1. Caracas. MARNR.
- (6) Carrillo, E. (1982). Proyecto Embalse Dos Bocas, Río Acarigua. Volumen 2. Caracas. MARNR.
- (7) COPLANARH (1984). Abastecimiento de Agua a Acarigua-Araure. Serie: Agua en el medio urbano. Caracas.
- (8) COPLANARH (1985). Abastecimiento de Agua a Barquisimeto y poblaciones vecinas. Serie: Agua en el medio urbano. Caracas.
- (9) COPLANARH (1985). Abastecimiento de Agua a Carora. Serie: Agua en el Medio Urbano. Caracas.
- (10) COPLANARH (1983). Demandas Teóricas de Agua. Serie: Agua en el medio urbano. Caracas.
- (11) COVENPRE (2007). Presa-Yacambú. Disponible: <http://www.covenpre.org.ve/presas/yacambu.htm> [Consulta: 2007, Marzo 11]
- (12) DOMO. (sin fecha). Embalses de Venezuela. Disponible: http://www.minamb.gob.ve/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=37&Itemid=102 [Consulta: 2007, Febrero 21]

- (13) Frontline Systems, Inc. Premium Solver. Disponible: <http://www.solver.com/> [Consulta: 2007, Octubre 15].
- (14) FUDECO (1972). Proyecto Yacambú, Estudio de Factibilidad. Edición Provisional. Caracas. Hernández P, O. Aprovechamiento para el Embalse Atarigua. Caracas. MARNR.
- (15) FUDECO (2004). Dossier Estado Lara. Disponible: <http://www.fudeco.gob.ve/estados/lara/general/index.htm> [Consulta: 2007, Septiembre 07].
- (16) FUDECO (2004). Dossier Estado Portuguesa. Disponible: <http://www.fudeco.gob.ve/estados/portuguesa/general/index.htm> [Consulta: 2007, Septiembre 07]
- (17) Fundación Polar. Proyecto Yacambú Quíbor. Disponible: <http://www.fpolar.org.ve/agua/Lara/06.html> [Consulta: 2007, Octubre 08].
- (18) Garduño y Nanni (2003). Venezuela: Yacambú, Quibor – Un Proyecto para Integrar la Gestión de Agua Subterránea y el Agua Superficial. Gestión sustentable de Agua Subterránea, Lecciones prácticas. Colección de casos esquemáticos, Caso 7 [Revista en línea]. Disponible: http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_Spanish_CP_07.pdf [Consulta: 2007, Agosto 07]
- (19) Gaspar, J. (1999). Elaboración de ensayos, anteproyecto de presa, proyecto de ataguía y adecuación del aliviadero para el Embalse del Río Cojedes, en el sitio Las Palmas, Estado Cojedes. MARNR. Caracas.
- (20) González y Salazar, (2005). Situación actual del Embalse Las Majaguas, incorporación del Embalse Las Palmas, Estado Portuguesa. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- (21) Hernández, O, (1979). Aprovechamiento para el Embalse Atarigua. MARNR. Caracas.
- (22) INE (2007). Estimaciones y Proyecciones de Población 1950-2050. Caracas.

- (23) Kuiper, E. (1969). Economía en Proyectos de Recursos Hidráulicos. Caracas: CIDIAT.
- (24) MARNR (1982). Proyecto Obras Embalse Las Palmas Río Cojedes. Volumen 1. Caracas.
- (25) MARNR (1982). Proyecto Obras Embalse Las Palmas Río Cojedes. Volumen 3. Caracas.
- (26) MARNR (1995). Revista El Agua: Grandes Presas de Venezuela. Tomo I. Caracas.
- (27) MARNR (1998). Revista El Agua: Grandes Presas de Venezuela. Tomo II. Caracas.
- (28) Méndez, M. V. Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua. Caracas. Fundación Polar.
- (29) Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (1991). Planificación del uso y evaluación de los embalses "Las Palmas, La Palmera y Vega Honda". Estados Cojedes y Portuguesa. CIDIAT.
- (30) Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (1998). Trabajos de inspección y coordinación de proyecto definitivo del Embalse del Río Cojedes en el sitio de presa Las Palmas. Caracas: Ing. José de Jesús Gaspar.
- (31) Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (2002). Elaboración de estudios y obras preliminares necesarias para dar inicio a la construcción del Embalse Las Palmas, Estado Cojedes. Caracas: Ing. José de Jesús Gaspar.
- (32) MOP (1976). El Agua: Grandes presas de Venezuela. Caracas. Número Especial.
- (33) Normas Sanitarias para el Proyecto, Construcción, Ampliación, Reforma y Mantenimiento de las Instalaciones Sanitarias para Desarrollos Urbanísticos. (1988, Mayo 06)
- (34) Pérez, J. (2005). "Servicios Ambientales Prioritarios Identificados en la Experiencia Venezolana". CIDIAT

- (35) Silvestre, H. & Dérédec, A. Determinación de Esquema Óptimo de Abastecimiento de Agua Potable a la Región Metropolitana Valencia-Maracay-Valles de Aragua. Caracas. MOP.
- (36) Suárez V., L. (1997). Estudio de factibilidad para incrementar el almacenamiento en el Embalse Dos Cerritos, Río Tocuyo, Estado Lara. Caracas. MARNR.
- (37) Universidad Nacional de Colombia (2005). Matemáticas Financieras. Disponible:
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4010045/docs_curso/contenido.html [Consulta: 2007, Septiembre 29]
- (38) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1975). Guanare. Hoja 6243. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (39) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1976). Biscocuy. Hoja 6244. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (40) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1975). El Tocuyo. Hoja 6245. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (41) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1976). Río Tocuyo. Hoja 6246. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (42) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1970). Turén. Hoja 6343. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (43) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1975). Acarigua. Hoja 6344. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (44) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1977). Sarare. Hoja 6345. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (45) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1975). Barquisimeto. Hoja 6346. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (46) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1971). El Amparo. Hoja 6443. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (47) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1976). San Carlos. Hoja 6444. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.

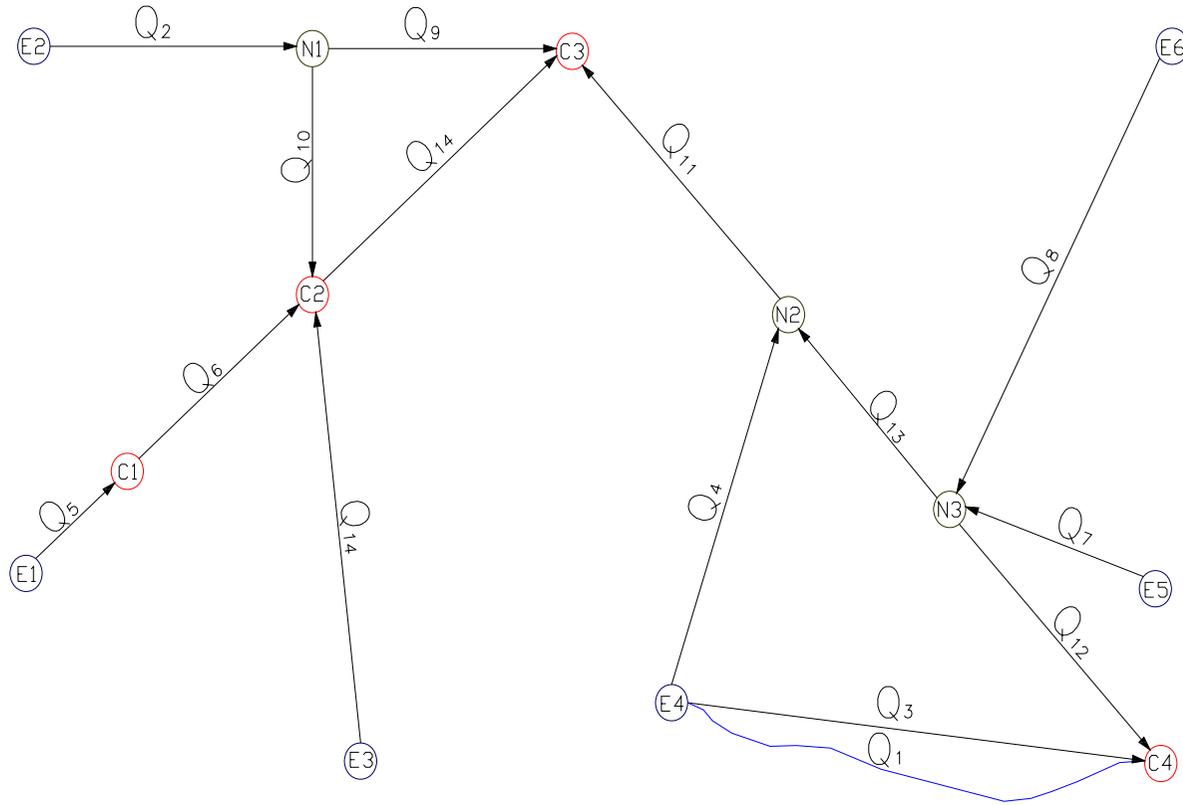
- (48) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1976). San Rafael de Onoto. Hoja 6445. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.
- (49) Venezuela. Dirección de Cartografía Nacional. (1977). Chivacoa. Hoja 6446. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa Topográfico.

ANEXOS

ANEXO 1: PROYECTOS PLANTEADOS.

Proyectos	Nomenclatura	Descripción	Caudal	Longitud de la Aducción (km)
1	Pr1	Presa Dos Bocas	----	----
2	Pr2	Presa Las Palmas	----	----
3	Pr3	Abastecimiento Dos Bocas-Acarigua-Araure por el Río Acarigua	Q1	----
4	Pr4	Aducción Atarigua-Nodo1	Q2	33,5
5	Pr5	Aducción Dos Bocas-Acarigua-Araure	Q3	20,5
6	Pr6	Aducción Dos Bocas-Nodo2	Q4	23,5
7	Pr7	Aducción Dos Cerritos - El Tocuyo	Q5	3,6
8	Pr8	Aducción El Tocuyo-Quibor	Q6	26,9
9	Pr9	Aducción Las Majaguas-Nodo3	Q7	10,8
10	Pr10	Aducción Las Palmas-Nodo3	Q8	27,6
11	Pr11	Aducción Nodo1-Barquisimeto	Q9	41,6
12	Pr12	Aducción Nodo1-Quibor	Q10	25,3
13	Pr13	Aducción Nodo2-Barquisimeto	Q11	43,9
14	Pr14	Aducción Nodo3-Acarigua-Araure	Q12	5,9
15	Pr15	Aducción Nodo3-Nodo2	Q13	15,8
16	Pr16	Aducción Quibor-Barquisimeto	Q14	30,4
17	Pr17	Trasvase Yacambú – Quibor	Q15	24,3

ANEXO 2: DIAGRAMA DE NODOS



- E1: Embalse Dos Cerritos
- E2: Embalse Atarigua
- E3: Embalse Yacambú
- E4: Embalse Dos Bocas
- E5: Embalse Las Majaguas
- E6: Embalse Las Palmas
- C1: EL Tocuyo
- C2: Quíbor
- C3: Área Metropolitana de Barquisimeto
- C4: Eje Acarigua-Araure
- N1: Nodo 1
- N2: Nodo 2
- N3: Nodo 3

ANEXO 3: BALANCE DE NODOS EN LA FECHA F0, AÑO 2010.

$$Q_{E2F0} - Q_{2F0} \geq 0$$

$$Q_{E1F0} - Q_{5F0} \geq 0$$

$$Q_{E6F0} - Q_{7F0} \geq 0$$

$$Q_{5F0} - Q_{6F0} - Q_{C1F0} \geq 0$$

$$Q_{10F0} + Q_{6F0} - Q_{14F0} - Q_{C2F0} \geq 0$$

$$Q_{14F0} + Q_{11F0} + Q_{9F0} - Q_{C3F0} \geq 0$$

$$Q_{12F0} + Q_{3F0} - Q_{C1F0} \geq 0$$

$$Q_{10F0} + Q_{9F0} - Q_{2F0} = 0$$

$$Q_{13F0} - Q_{11F0} + Q_{4F0} = 0$$

$$Q_{13F0} + Q_{12F0} - Q_{7F0} = 0$$

ANEXO 4: BALANCE DE NODOS EN LA FECHA F1, AÑO 2020.

$$Q_{E2F1} - Q_{2F1} \geq 0$$

$$Q_{E1F1} - Q_{5F1} \geq 0$$

$$Q_{E3F1} - Q_{15F1} \geq 0$$

$$Q_{E4F1} - Q_{1F1} - Q_{3F1} - Q_{4F1} \geq 0$$

$$Q_{E6F1} - Q_{7F1} \geq 0$$

$$Q_{E6F1} - Q_{8F1} \geq 0$$

$$Q_{5F1} - Q_{6F1} - Q_{C1F1} \geq 0$$

$$Q_{10F1} + Q_{15F1} + Q_{6F1} - Q_{14F1} - Q_{C2F1} \geq 0$$

$$Q_{14F1} + Q_{11F1} + Q_{9F1} - Q_{C3F1} \geq 0$$

$$Q_{12F1} + Q_{3F1} + Q_{1F1} - Q_{C4F1} \geq 0$$

$$Q_{10F1} + Q_{9F1} - Q_{2F1} = 0$$

$$Q_{13F1} - Q_{11F1} + Q_{4F1} = 0$$

$$Q_{13F1} + Q_{12F1} - Q_{8F1} - Q_{7F1} = 0$$

ANEXO 5: BALANCE DE NODOS EN LA FECHA F2, AÑO 2030.

$$Q_{E2F2} - Q_{2F2} \geq 0$$

$$Q_{E1F2} - Q_{5F2} \geq 0$$

$$Q_{E3F2} - Q_{15F2} \geq 0$$

$$Q_{E4F2} - Q_{1F2} - Q_{3F2} - Q_{4F2} \geq 0$$

$$Q_{E6F2} - Q_{7F2} \geq 0$$

$$Q_{E6F2} - Q_{8F2} \geq 0$$

$$Q_{5F2} - Q_{6F2} - Q_{C1F2} \geq 0$$

$$Q_{10F2} + Q_{15F2} + Q_{6F2} - Q_{14F2} - Q_{C2F2} \geq 0$$

$$Q_{14F2} + Q_{11F2} + Q_{9F2} - Q_{C3F2} \geq 0$$

$$Q_{12F2} + Q_{3F2} + Q_{1F2} - Q_{C4F2} \geq 0$$

$$Q_{10F2} + Q_{9F2} - Q_{2F2} = 0$$

$$Q_{13F2} - Q_{11F2} + Q_{4F2} = 0$$

$$Q_{13F2} + Q_{12F2} - Q_{8F2} - Q_{7F2} = 0$$

ANEXO 6: PREMISAS DE DISEÑO

1. Se asume que el caudal disponible en cada embalse es el gasto medio calculado según el proyecto de los mismos y, para las tres fechas de estudios, permanecerá constante en el tiempo.
2. El diseño de las aducciones se realizó a nivel conceptual, sin considerar, en cada una de ellas, la ingeniería de detalle.
3. Las tuberías de diseño son de acero con peso específico igual a 7850 kg./m³.
4. El costo de fabricación, suministro, transporte, colocación, etc., de las tuberías es constante en el tiempo.
5. Las velocidades máximas, consideradas para el diseño más económico de las aducciones, es de 1,6 m/s.
6. Los diámetros de diseño son los comerciales y variarán desde 16" hasta 70".
7. Los espesores de las tuberías son calculados con la ecuación $e=0.007*D$, siendo D el diámetro externo de la misma, y ajustados al inmediatamente superior al comercial.
8. Las pérdidas en las tuberías son calculadas con la ecuación de Hazen-Williams.
9. El número de habitantes a abastecer para cada ciudad fueron tomados de las proyecciones y estimaciones calculadas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para cada fecha de estudio (2010, 2020 y 2030).

10. Los poblados cercanos a los principales centros de consumos (Área Metropolitana de Barquisimeto, Quibor, EL Tocuyo y Eje Acarigua-Araure), se asumen como parte de cada ciudad.

11. Las dotaciones para cada ciudad fueron obtenidas mediante la extrapolación de las ya calculadas por COPLANARH en el informe técnico “Demandas Teóricas de Agua” (1983).

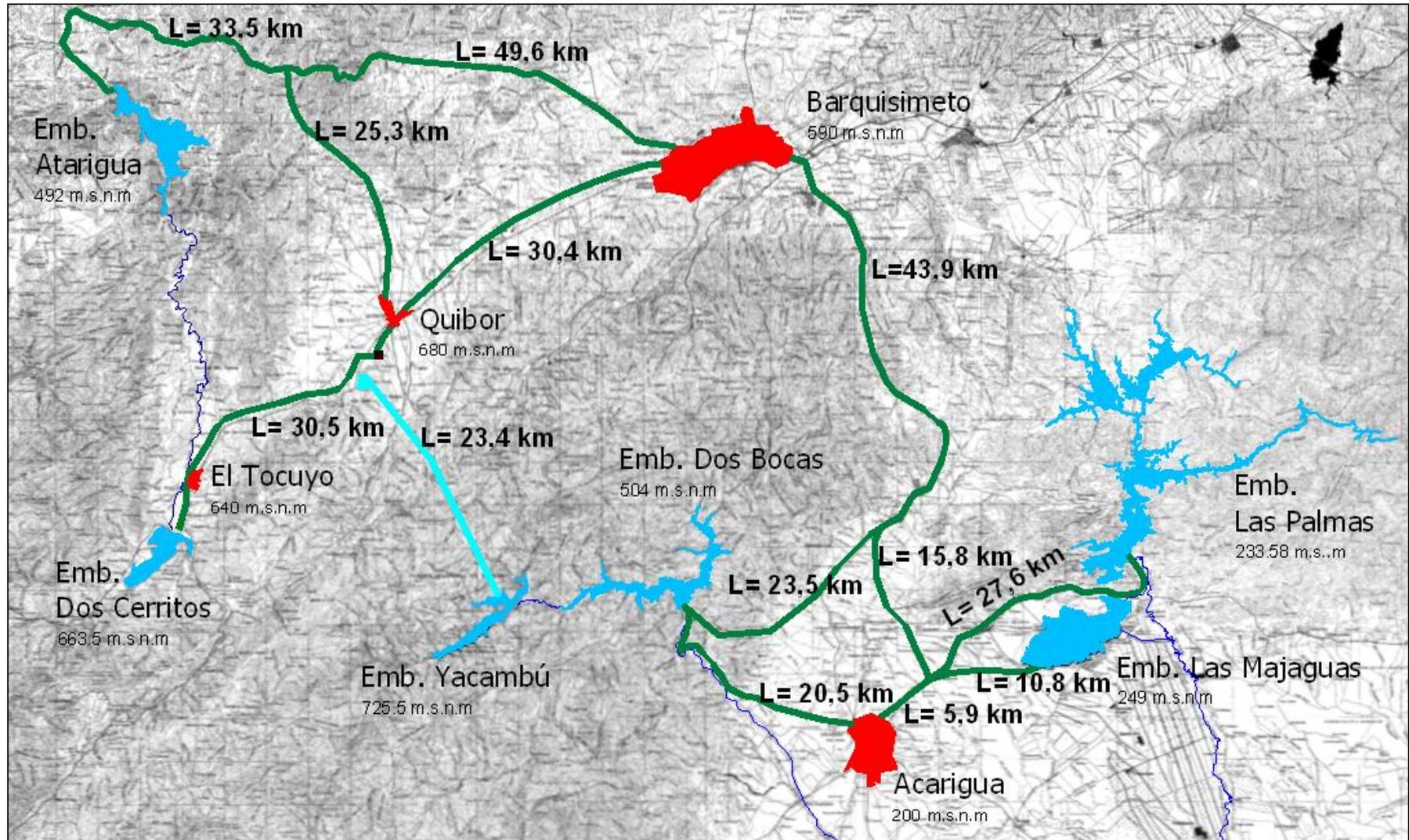
12. Los aportes al sistema de abastecimiento de cada una de las ciudades provenientes de pozos o tomas sobre ríos, son los señalados en los informes: “Abastecimiento de Agua a Barquisimeto y poblaciones vecinas” (1985) y “Abastecimiento de Agua a Acarigua y Araure” (1983).

13. El suministro del recurso hídrico se hará hasta los principales centros de consumo, sin considerar el sistema de distribución interno de cada uno de ellos.

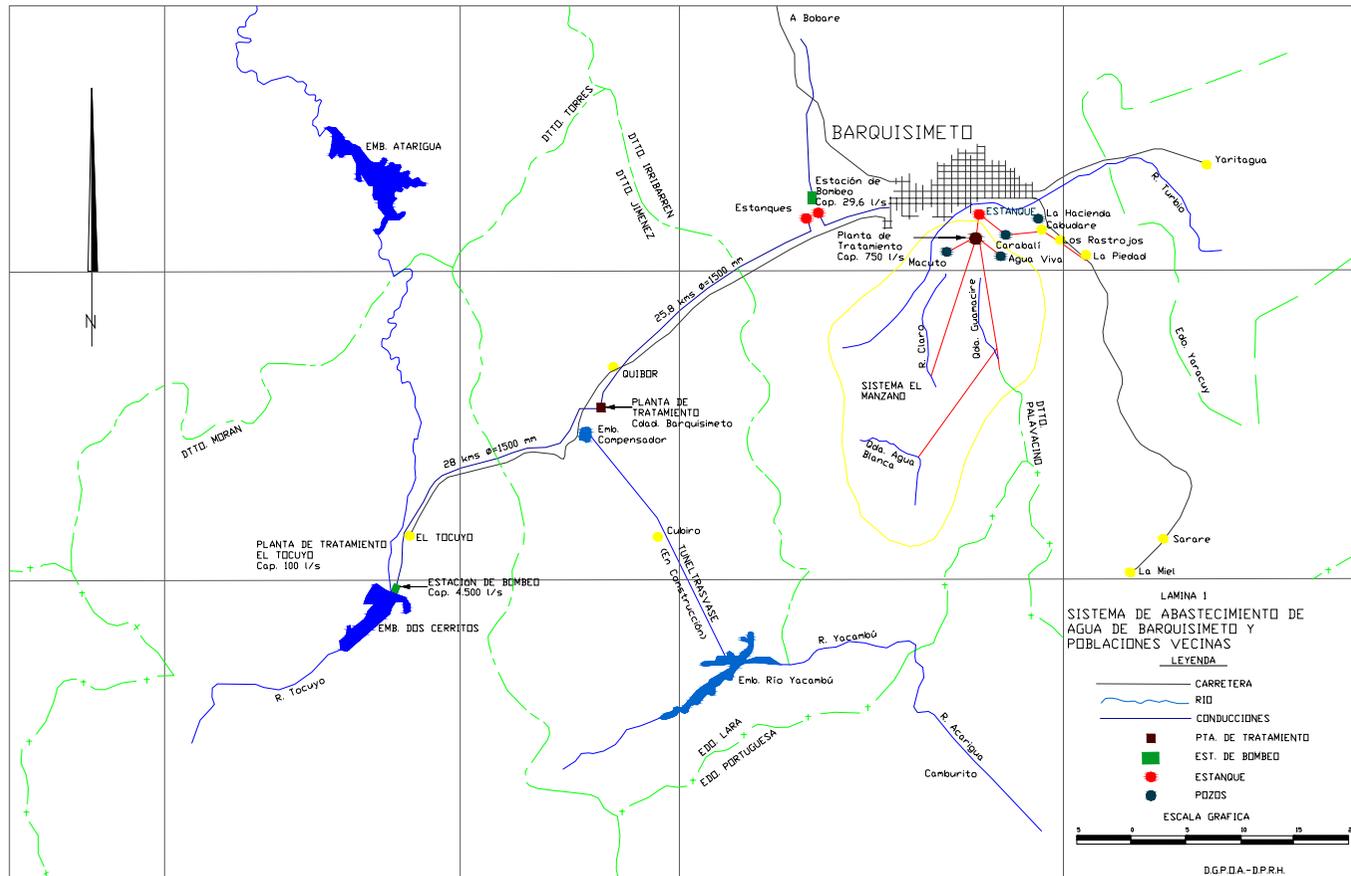
14. Las demandas de otras ciudades y zonas de riego no son contempladas en el estudio, sólo para el caso del Embalse Atarigua se tomó en cuenta los compromisos que éste tiene con otras ciudades (Carora, Nueva Atarigua, etc.), a la disponibilidad del mismo se le ha deducido las demandas actuales que existen sobre él, por consiguiente, su caudal disponible es de 2,20 m³/s.

15. El costo de mantenimiento de las aducciones es del 5% de la inversión a realizar en su construcción y, en los embalses, es de 550 millones de bolívares. Se realizará anualmente.

ANEXO 7: PLANO EN CONJUNTO DE EMBALSES, CIUDADES Y PROYECTOS PROPUESTOS.



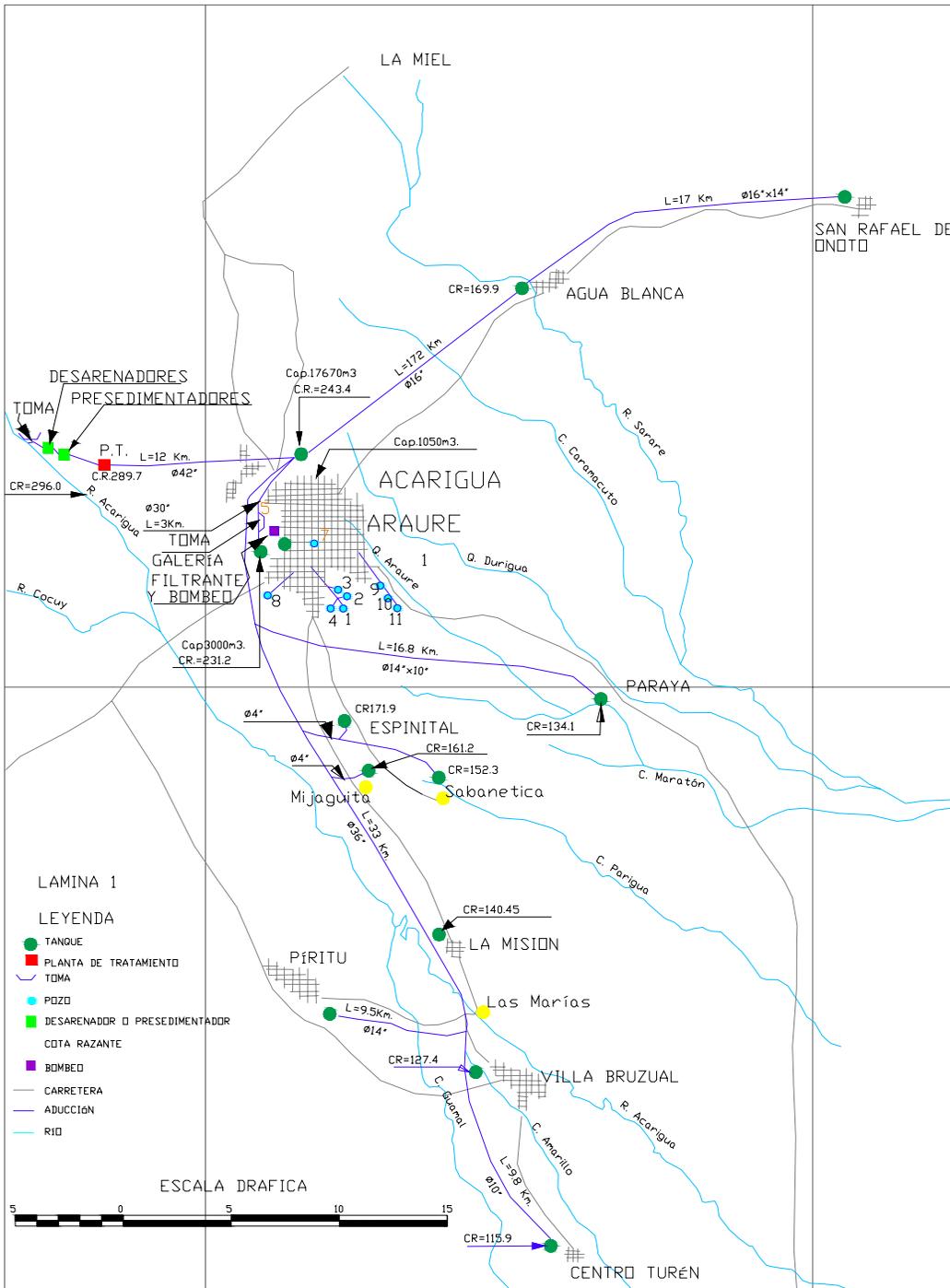
ANEXO 8: SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE BARQUISIMETO Y POBLACIONES VECINAS.



SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE BARQUISIMETO Y POBLACIONES VECINAS

FUENTE: "ABASTECIMIENTO DE AGUA DE BARQUISIMETO Y POBLACIONES VECINAS", 1985. (Digitalizado por los autores)

ANEXO 9: SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ACARIGUA Y ARAURE

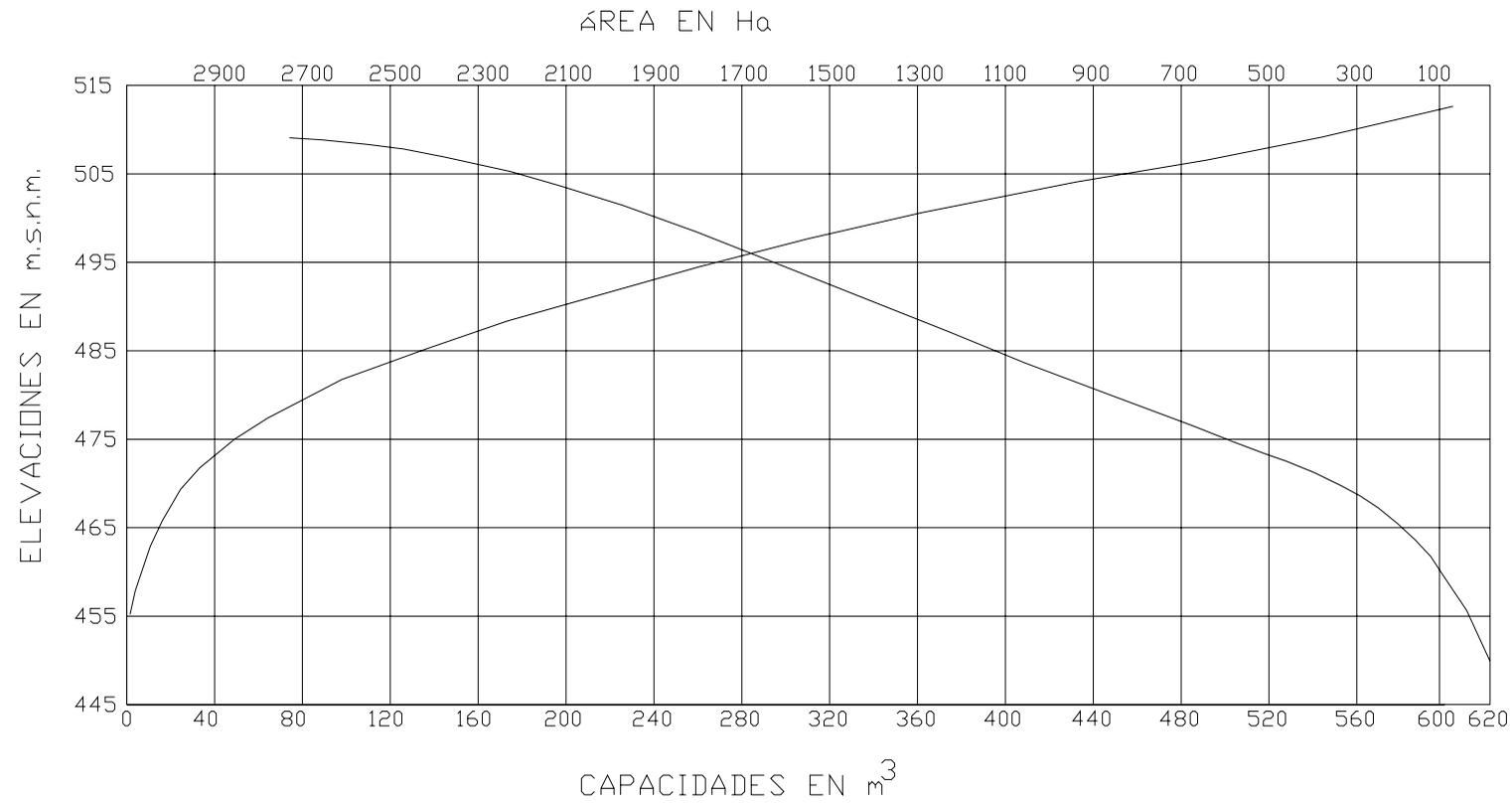


SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE ACARIGUA ARAURE

FUENTE: "ABASTECIMIENTO DE AGUA A ACARIGUAY ARAURE", 1983. (Digitalizado por los autores)

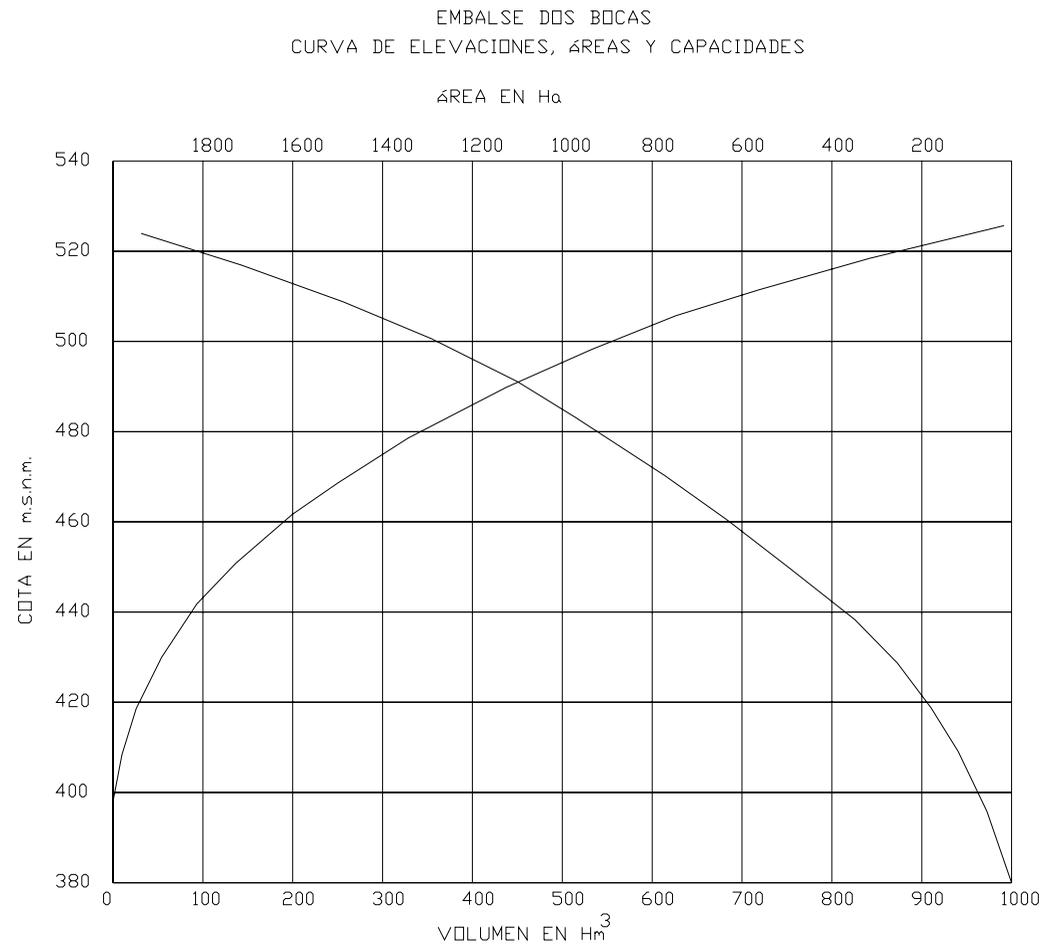
ANEXO 10: CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREA Y CAPACIDADES DEL EMBALSE ATARIGUA

EMBALSE ATARIGUA
CURVA DE ELEVACIONES, ÁREAS Y CAPACIDADES



Fuente: Aprovechamiento para el Embalse Atarigua

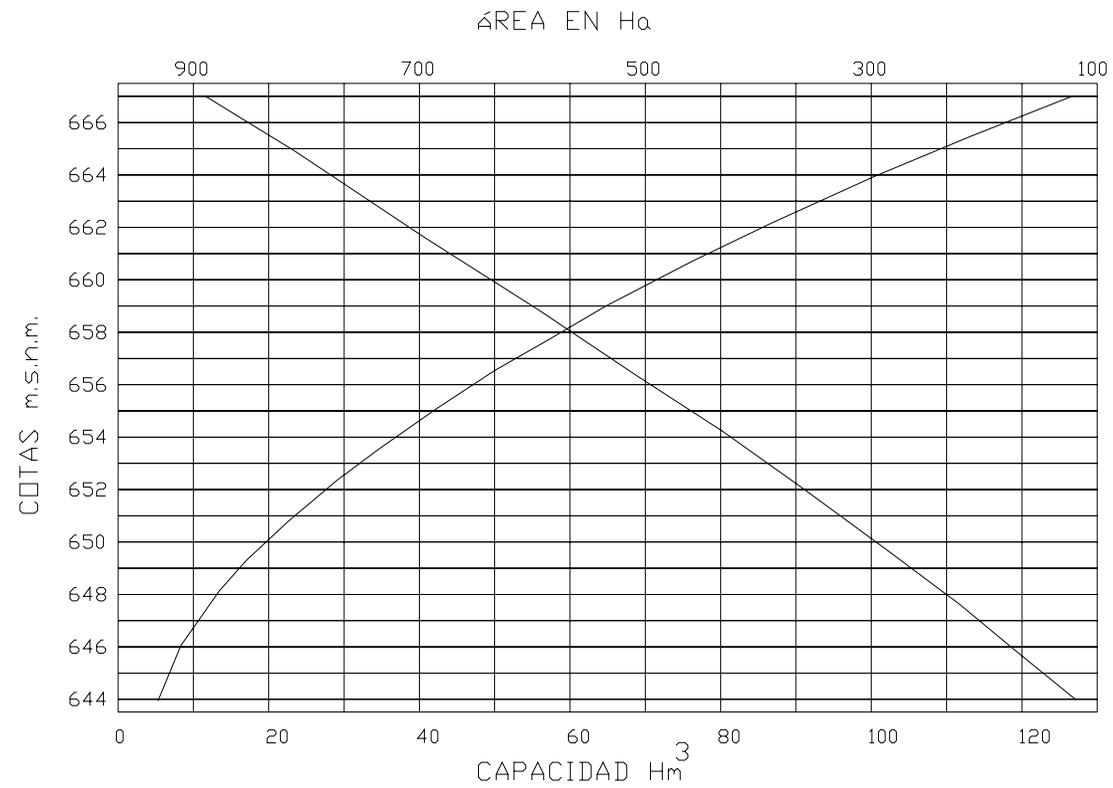
ANEXO 11: CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREA Y CAPACIDADES DEL EMBALSE DOS BOCAS



Fuente: "Proyecto Embalse Dos Bocas, Río Acarigua, Volumen I". Ing. Eugenio Carrillo. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y Renovables, 1982

ANEXO 12: CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREA Y CAPACIDADES DEL EMBALSE DOS CERRITOS

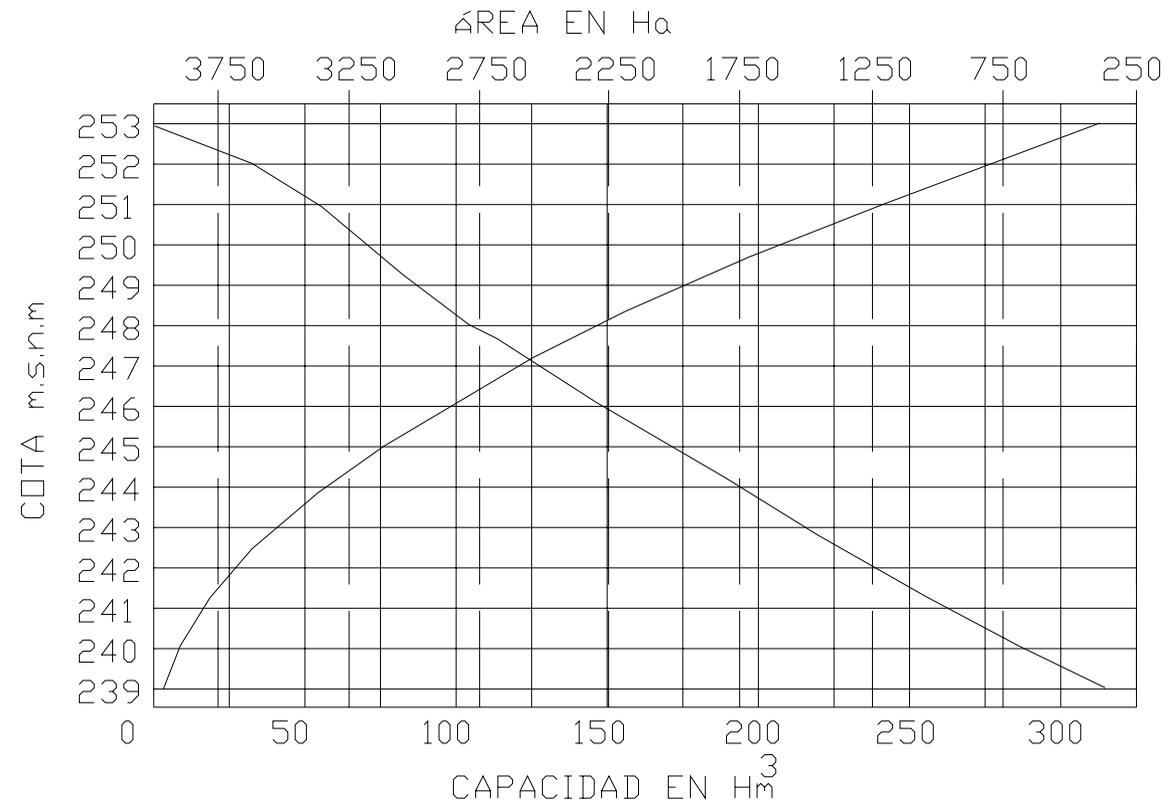
EMBALSE DOS CERRITOS
CURVA DE ELEVACIONES, ÁREA Y CAPACIDADES



Fuente: "El Agua, grandes Embalses de Venezuela", Ing, Roberto Pérez Lecuna, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, 1995

ANEXO 13: CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREA Y CAPACIDADES DEL EMBALSE LAS MAJAGUAS

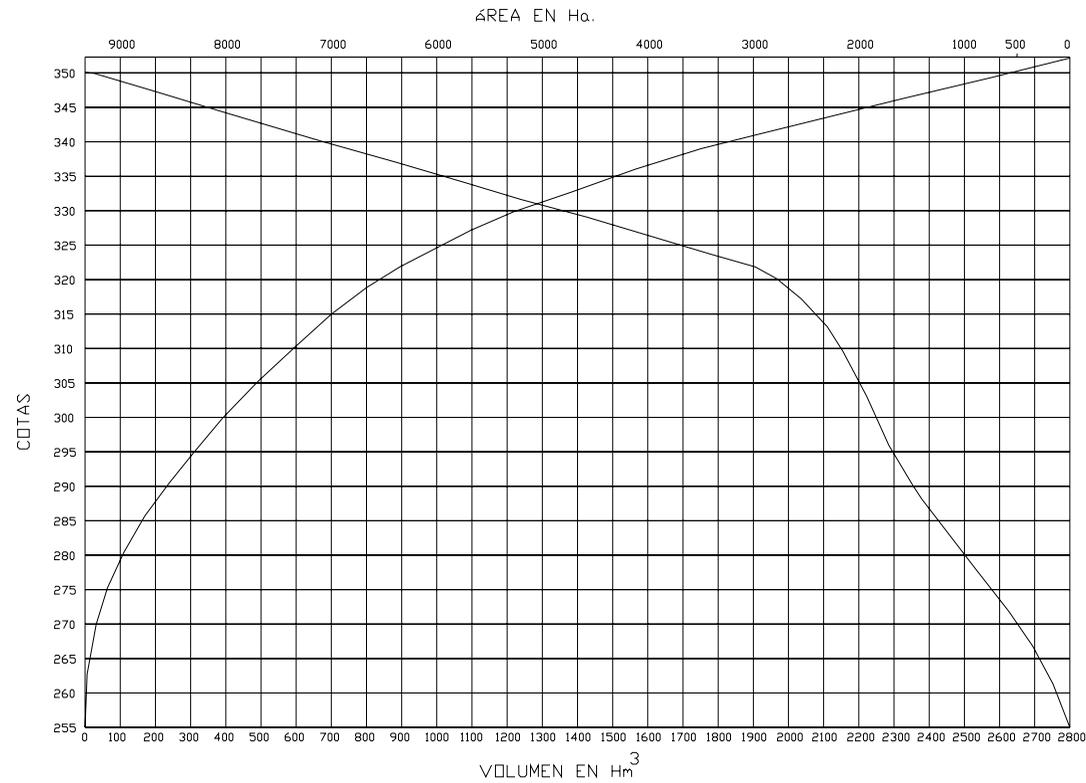
EMBALSE LAS MAJAGUAS
CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREAS CAPACIDADES



Fuente: "El Agua, grandes Embalses de Venezuela", Ing, Roberto Pérez Lecuna, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, 1995

ANEXO 14: CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREA Y CAPACIDADES DEL EMBALSE LAS PALMAS

EMBALSE LAS PALMAS CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREAS Y CAPACIDADES

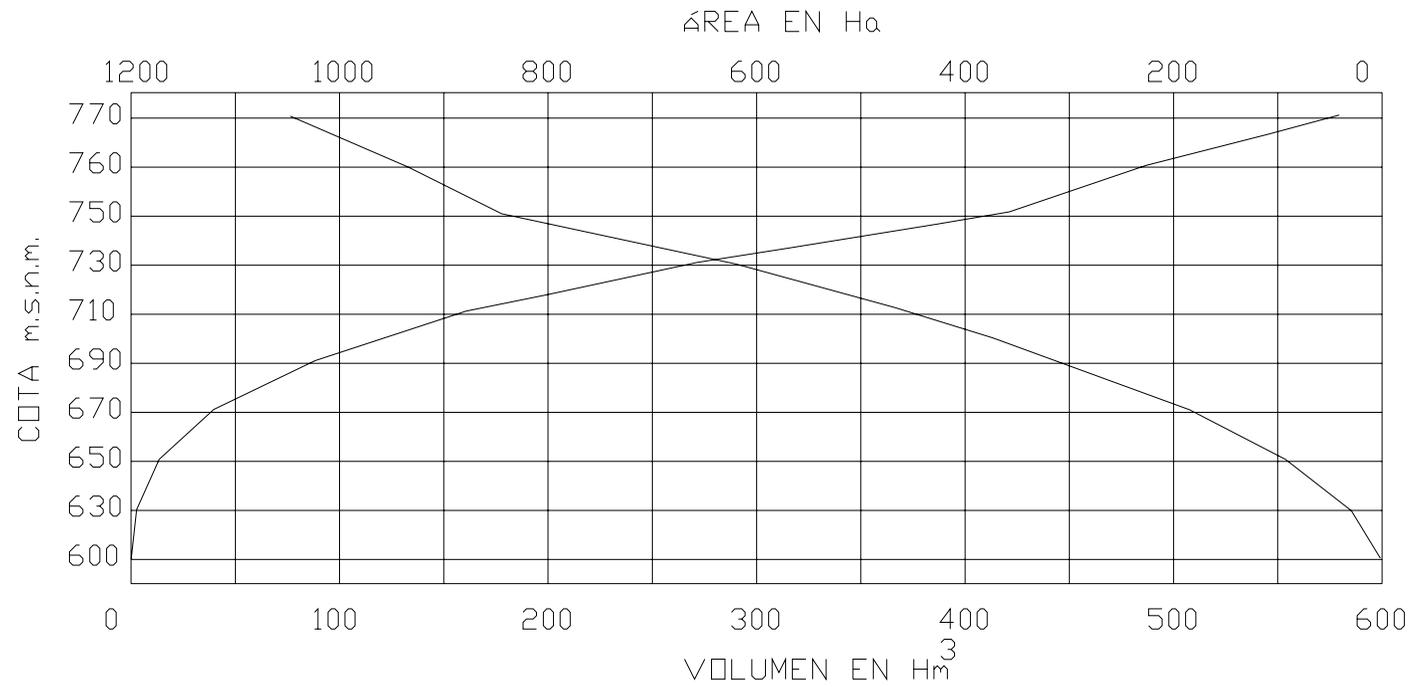


Nota: Las cotas que se muestran en el anexo no son las reales, a estas se les deben deducir 91,42 m (22).

Fuente: "Proyecto Obra de Embalse las Palmas Río Cojedes, Volumen I". Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1982

ANEXO 15: CURVAS DE ELEVACIONES, ÁREA Y CAPACIDADES DEL EMBALSE YACAMBÚ

EMBALSE YACAMBÚ
CURVA DE ELEVACIONES, ÁREAS Y CAPACIDADES



Fuente: "El Agua, grandes Embalses de Venezuela", Ing. Roberto Pérez Lecuna, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, 1998

ANEXO 16: EMBALSE ATARIGUA



Fuente: Revista “El Agua, grandes Embalses de Venezuela”, Ing, Roberto Pérez Lecuna, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, 1995

ANEXO 17: EMBALSE DOS CERRITOS



Fuente: Revista “El Agua, grandes Embalses de Venezuela”, Ing, Roberto Pérez Lecuna, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, 1995

ANEXO 18: EMBALSE LAS MAJAGUAS



Fuente: Revista “El Agua, grandes Embalses de Venezuela”, Ing, Roberto Pérez Lecuna, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables, 1995

ANEXO 19: EMBALSE YACAMBÚ



Fuente: <http://www.covenpre.org.ve/presas/yacambu.html> (11/03/2007)

ANEXO 20: CÁLCULO DE COSTOS DE TUBERÍAS

Proyecto	Fecha	Q (m³/s)	Qdiseño	Diámetro (")	Longitud (km)	Costo (Bs./m.l.)	Costo (Bs.)	Inversión (Bs.)	Valor Presente (Bs.)	Costo Mantenimiento (Bs.)	A1	Valor Presente (Bs.)	
Pr3	F1	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	F2	0,00						0					
Pr4	F0	0,00	0,00	0	33,5	0	0	0	0	0	0	0	
	F2	0,00						0					
Pr5	F1	0,00	0,00	0	20,5	0	0	0	0	0	0	0	
	F2	0,00						0					
Pr6	F1	0,00	0,00	0	23,5	0	0	0	0	0	0	0	
	F2	0,00						0					
Pr7	F0	5,15	5,15	60	3,6	3.727.396	0	13.418.623.817	13.418.623.817	670.931.191	670.931.191	3.977.844.285	
	F1	0,87						0	0			0	
	F2	2,15						0	0			0	
Pr8	F0	4,91	4,91	60	26,9	3.727.396	0	100.266.939.076	100.266.939.076	5.013.346.954	5.013.346.954	29.723.336.463	
	F1	0,60						0	0			0	
	F2	1,85						0	0			0	
Pr9	F0	1,71	3,41	66	10,8	4.599.258	49.671.986.838	49.671.986.838	49.671.986.838	2.483.599.342	2.483.599.342	14.724.865.356	
	F1	2,79						0	0			0	
	F2	3,41						0	0			0	
Pr10	F1	0,00	0,00	0	27,6	0	0	0	0	0	0	0	
	F2	0,00						0					
Pr11	F0	0,00	0,00	0	41,6	0	0	0	0	0	0	0	
	F1	0,00						0	0			0	
	F2	0,00						0	0			0	
Pr12	F0	0,00	0,00	0	25,3	0	0	0	0	0	0	0	
	F1	0,00						0	0			0	
	F2	0,00						0	0			0	
Pr13	F0	1,71	1,71	48	43,9	2.611.099	114.627.239.503	114.627.239.503	114.627.239.503	5.731.361.975	5.731.361.975	33.980.333.288	
	F1	0,00						0	0			0	
	F2	0,00						0	0			0	
Pr14	F0	0,00	3,41	66	5,9	4.599.258	27.135.622.439	27.135.622.439	9.601.384.531	1.356.781.122	1.356.781.122	1.486.507.607	
	F1	2,79						0	0			0	
	F2	3,41						0	0			0	
Pr15	F0	1,71	1,71	48	15,8	2.611.099	41.255.361.826	41.255.361.826	41.255.361.826	2.062.768.091	2.062.768.091	12.229.823.826	
	F1	0,00						0	0			0	
	F2	0,00						0	0			0	
Pr16	F0	4,73	9,06	60	30,4	3.727.396	0	113.312.823.342	113.312.823.342	5.665.641.167	5.665.641.167	33.590.685.074	
	F1	7,85						0	0			0	
	F2	9,06						0	0			0	
Pr17	F1	7,46	0	0	24,3	0	0	0	0	0	0	0	
	F2	7,46						0					
								TOTAL (Bs.)	442.154.358.932			TOTAL (Bs.)	129.713.395.899

ANEXO 21: CÁLCULO DE COSTOS DE BOMBEO

Proyecto	Fecha	Q (m³/s)	Diámetro (")	ƒcomercial (")	Long. Pto. Desf. (km)	V (m/s)	hf (m)	Δz (m)	ΔH (m)	Potencia (kw)	Costo de la Potencia (Bs./kw-hr)	Costo Bombeo (Bs.)	G	A1	(1+i)^(-N)	(1-(1+i)^(-N))/i	N*((1+i)^(-N))	Valor Presente (Bs.)	
Pr3	F1	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr4	F0	0,00	0	0,000	33,5	0,00	0,00	309,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
	F2	0,00	0	0,000	33,5	0,00	0,00	309,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
Pr5	F1	0,00	0	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0,00	0	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr6	F1	0,00	0	0,000	4,5	0,00	0,00	177,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
	F2	0,00	0	0,000	4,5	0,00	0,00	177,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
Pr7	F0	5,15	60	0,438	28,0	2,91	80,74	61,0	141,74	9548	200	16.811.523.509	16.811.523.509	16.811.523.509	0,23	4,83	2,27	80.857.368.921	
	F1	0,87	60	0,438	28,0	0,49	3,00	61,0	64,00	728	200	1.359.926.752	-1.545.159.676	1.359.926.752	0,23	4,83	2,27	80.857.368.921	
	F2	2,15	60	0,438	28,0	1,21	16,01	61,0	77,01	2166	200	3.878.424.931	251.849.818	3.878.424.931	0,23	4,83	2,27	1.504.605.588	
Pr8	F0	4,91	60	0,438	24,4	2,77	64,40	0,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	
	F1	0,60	60	0,438	24,4	0,34	1,31	0,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	
	F2	1,85	60	0,438	24,4	1,04	10,56	0,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	
Pr9	F0	1,71	66	0,500	10,8	0,80	2,52	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	F1	2,79	66	0,500	10,8	1,30	6,24	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	F2	3,41	66	0,500	10,8	1,59	9,05	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Pr10	F1	0,00	0	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
	F2	0,00	0	0,000	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
Pr11	F0	0,00	0	0,000	8,5	0,00	0,00	200,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
	F1	0,00	0	0,000	8,5	0,00	0,00	200,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
	F2	0,00	0	0,000	8,5	0,00	0,00	200,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
Pr12	F0	0,00	0	0,000	25,3	0,00	0,00	101,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
	F1	0,00	0	0,000	25,3	0,00	0,00	101,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
	F2	0,00	0	0,000	25,3	0,00	0,00	101,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	0
Pr13	F0	1,71	48	0,375	43,9	1,51	50,14	387,0	437,14	9777	200	17.213.884.292	17.213.884.292	17.213.884.292	0,23	4,83	2,27	55.587.640.217	
	F1	0,00	48	0,375	43,9	0,00	0,00	387,0	0,00	0	200	0	-1.721.388.429	0	0,23	4,83	2,27	55.587.640.217	
	F2	0,00	48	0,375	43,9	0,00	0,00	387,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	55.587.640.217	
Pr14	F0	0,00	66	0,500	5,9	0,00	0,00	44,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	
	F1	2,79	66	0,500	5,9	1,30	3,41	44,0	47,41	1730	200	3.115.105.955	0	3.115.105.955	0,23	4,83	2,27	0	
	F2	3,41	66	0,500	5,9	1,59	4,94	44,0	48,94	2183	200	3.908.570.386	79.346.443	3.908.570.386	0,23	4,83	2,27	3.701.454.995	
Pr15	F0	1,71	48	0,375	15,8	1,51	18,04	47,0	65,04	1455	200	2.632.869.319	2.632.869.319	2.632.869.319	0,23	4,83	2,27	8.502.148.031	
	F1	0,00	48	0,375	15,8	0,00	0,00	47,0	0,00	0	200	0	-263.286.932	0	0,23	4,83	2,27	8.502.148.031	
	F2	0,00	48	0,375	15,8	0,00	0,00	47,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	8.502.148.031	
Pr16	F0	4,73	60	0,438	30,4	2,67	74,88	0,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	
	F1	7,85	60	0,438	30,4	4,43	191,35	0,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	
	F2	9,06	60	0,438	30,4	5,11	249,53	0,0	0,00	0	200	0	0	0	0,23	4,83	2,27	0	
Pr17	F1	7,46	0	0,000	24	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	7,46	0	0,000	24	0,00	0,00	0,0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL (Bs.)																		150.153.217.752	

ANEXO 22: CÁLCULO DE COSTOS EQUIPO DE BOMBEO

Proyecto	Fecha	Potencia (kw)	Potencia Máxima a Bombear (kw)	Costo Equipo de Bombeo (Bs.)	Inversión (Bs.)	Valor Presente (Bs.)	Costo Mantenimiento (Bs.)	A1	Valor Presente (Bs.)
Pr3	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr4	F0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr5	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr6	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr7	F0	9548	9548	8.305.616.332	8.305.616.332	8.305.616.332	415.280.817	415.280.817	2.462.133.890
	F1	728	0	0	0	0	0	0	0
	F2	2166	0	0	0	0	0	0	0
Pr8	F0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr9	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr10	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr11	F0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr12	F0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr13	F0	9777	9777	8.434.933.691	8.434.933.691	8.434.933.691	421.746.685	421.746.685	2.500.468.993
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr14	F0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F1	1730	2183	3.182.878.213	3.182.878.213	721.506.303	159.143.911	159.143.911	174.360.204
Pr15	F0	1455	1455	2.444.934.417	2.444.934.417	2.444.934.417	122.246.721	122.246.721	724.781.358
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr16	F0	0	0	0	0	0	0	0	0
	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pr17	F1	0	0	0	0	0	0	0	0
	F2	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (Bs.)						11.601.374.410			5.861.744.445

ANEXO 23: CÁLCULO DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS PRESAS

Proyecto	Fecha	Costo de la Presa (\$)	Costo de la Presa (Bs.)	Inversión (Bs.)	Valor Presente (Bs.)	Costo Mantenimiento (Bs.)	A1	Valor Presente (Bs.)
Pr1	F1	350.000.000	752.500.000.000	0	0	550.000.000	550.000.000	0
	F2			0	0			0
Pr2	F1	160.000.000	344.000.000.000	0	0	550.000.000	550.000.000	0
	F2			0	0			0
					0			0

ANEXO 24: CÁLCULO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO DE EMBALSE

Embalse	Fecha	Costo Mantenimiento (Bs.)	A1	Valor Presente (Bs.)
Atarigua	F0	550.000.000	550.000.000	3.260.862.495
	F1			602.587.382
	F2			0
Dos Cerritos	F0	550.000.000	550.000.000	3.260.862.495
	F1			602.587.382
	F2			0
Las Majaguas	F0	550.000.000	550.000.000	3.260.862.495
	F1			602.587.382
	F2			0
Yacambú	F1	550.000.000	550.000.000	602.587.382
	F2			0
				12.192.937.011

ANEXO 25: INDICADORES DE CONSTRUCCIÓN

Proyecto	Fecha	Indicador de Construcción
Pr3	F1	0
	F2	0
Pr4	F0	0
	F1	0
	F2	0
Pr5	F1	0
	F2	0
Pr6	F1	0
	F2	0
Pr7	F0	1
	F1	1
	F2	1
Pr8	F0	1
	F1	1
	F2	1
Pr9	F0	1
	F1	1
	F2	1
Pr10	F1	0
	F2	0
Pr11	F0	0
	F1	0
	F2	0
Pr12	F0	0
	F1	0
	F2	0
Pr13	F0	1
	F1	0
	F2	0
Pr14	F0	0
	F1	1
	F2	1
Pr15	F0	1
	F1	0
	F2	0
Pr16	F0	1
	F1	1
	F2	1
Pr17	F1	1
	F2	1

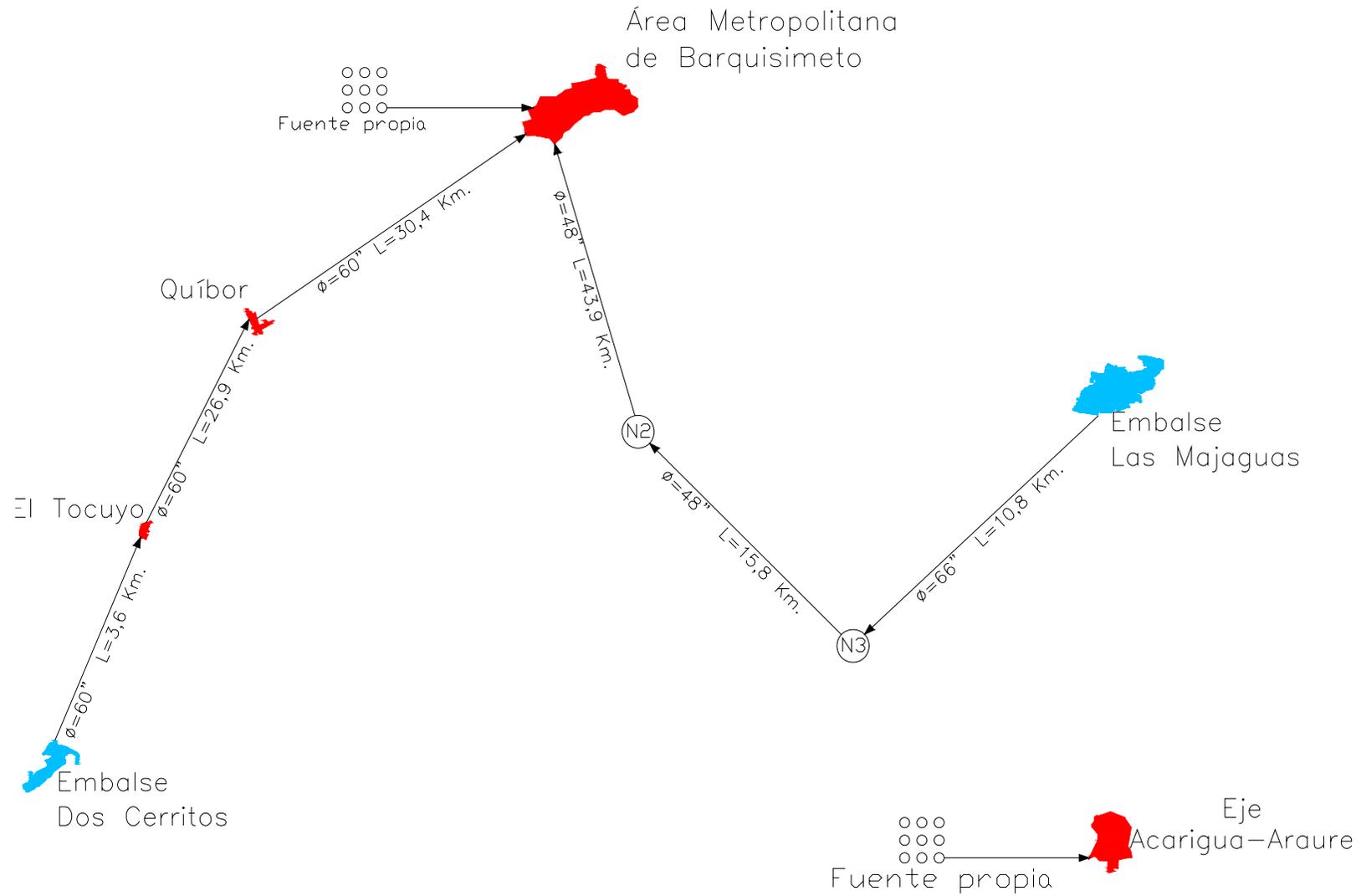
ANEXO 26: COSTOS DE ENERGIA VS GASTO POR PROYECTO

Proyectos	Descripción	Fechas	Gasto	Costo anual
			(m ³ /s)	de Bombeo (millones Bs.)
Pr7	Aducción Dos Cerritos - El Tocuyo	2010	5,15	16.811,52
		2020	0,87	1.359,93
		2030	2,15	3.878,42
Pr8	Aducción El Tocuyo-Quibor	2010	4,91	0,00
		2020	0,60	0,00
		2030	1,85	0,00
Pr9	Aducción Las Majaguas-Nodo3	2010	1,71	0,00
		2020	2,79	0,00
		2030	3,41	0,00
Pr13	Aducción Nodo2-Barquisimeto	2010	1,71	17.213,88
		2020	0,00	0,00
		2030	0,00	0,00
Pr14	Aducción Nodo3-Acarigua-Araure	2020	2,79	3.115,11
		2030	3,41	3.908,57
Pr15	Aducción Nodo3-Nodo2	2010	1,71	2.632,87
		2020	0,00	0,00
		2030	0,00	0,00
Pr16	Aducción Quibor-Barquisimeto	2010	4,73	0,00
		2020	7,85	0,00
		2030	9,06	0,00
Pr17	Túnel trasvase Yacambú - Quibor	2020	7,46	0,00
		2030	7,46	0,00

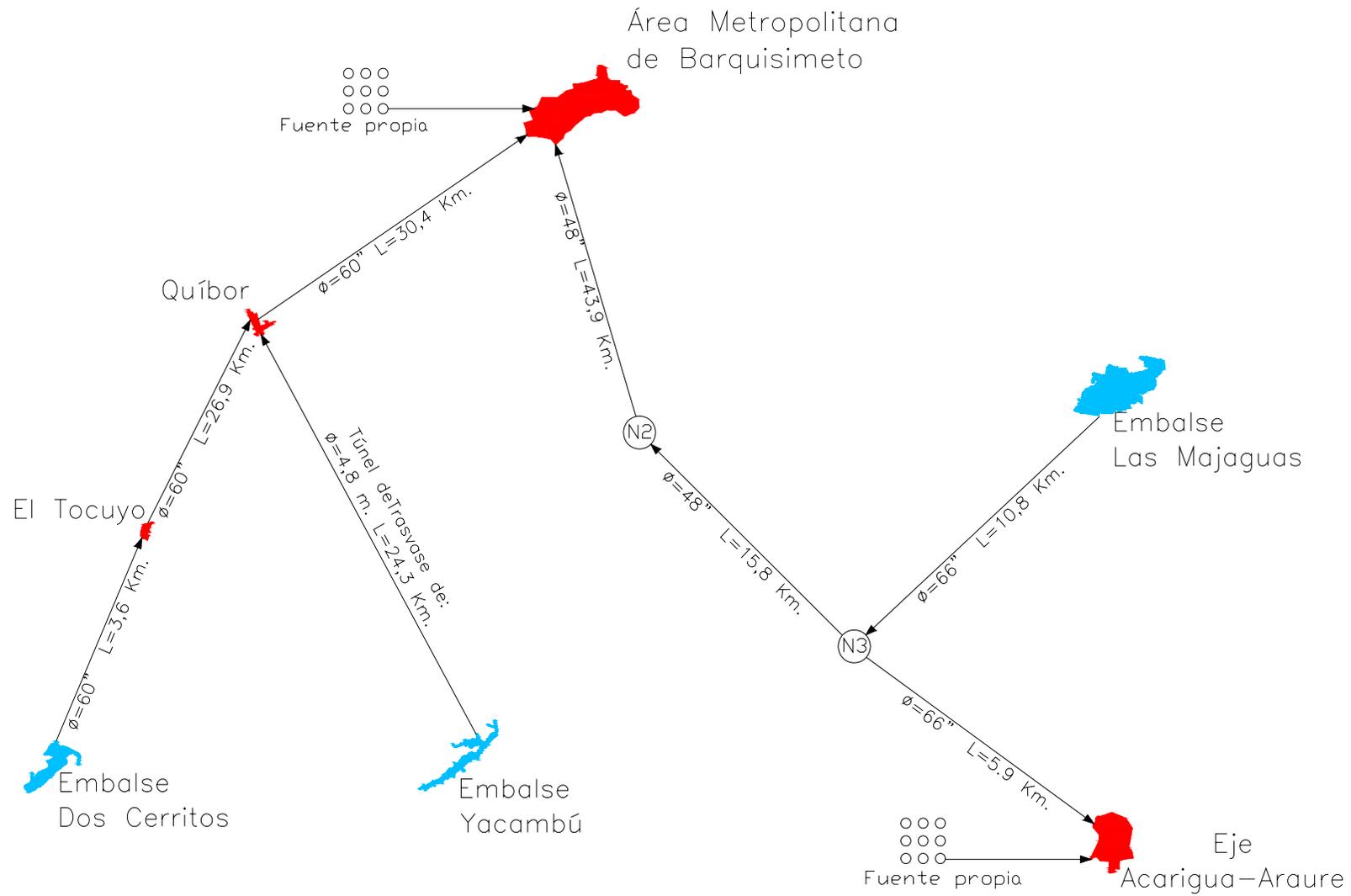
ANEXO 27: COSTOS DE TUBERÍA Y EQUIPOS

Proyectos	Descripción	Longitud (Km.)	Diámetro (")	Costo de Tubería (millones Bs.)	Costo de Equipos de Bombeo (millones Bs.)
Pr7	Aducción Dos Cerritos - El Tocuyo	3,6	60	0,00	0,00
Pr8	Aducción El Tocuyo-Quibor	26,9	60	0,00	0,00
Pr9	Aducción Las Majaguas-Nodo3	10,8	66	49.671,99	0,00
Pr13	Aducción Nodo2-Barquisimeto	43,9	48	114.627,24	8.434,93
Pr14	Aducción Nodo3-Acarigua-Araure	5,9	66	27.135,62	3.182,88
Pr15	Aducción Nodo3-Nodo2	15,8	48	41.255,36	2.444,93
Pr16	Aducción Quibor-Barquisimeto	30,4	60	0,00	0,00
Pr17	Túnel trasvase Yacambú - Quibor	24,3	192	0,00	0,00

ANEXO 28: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE INTERCONEXIÓN (2010-2020)



ANEXO 29: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE INTERCONEXIÓN (2020-2030)



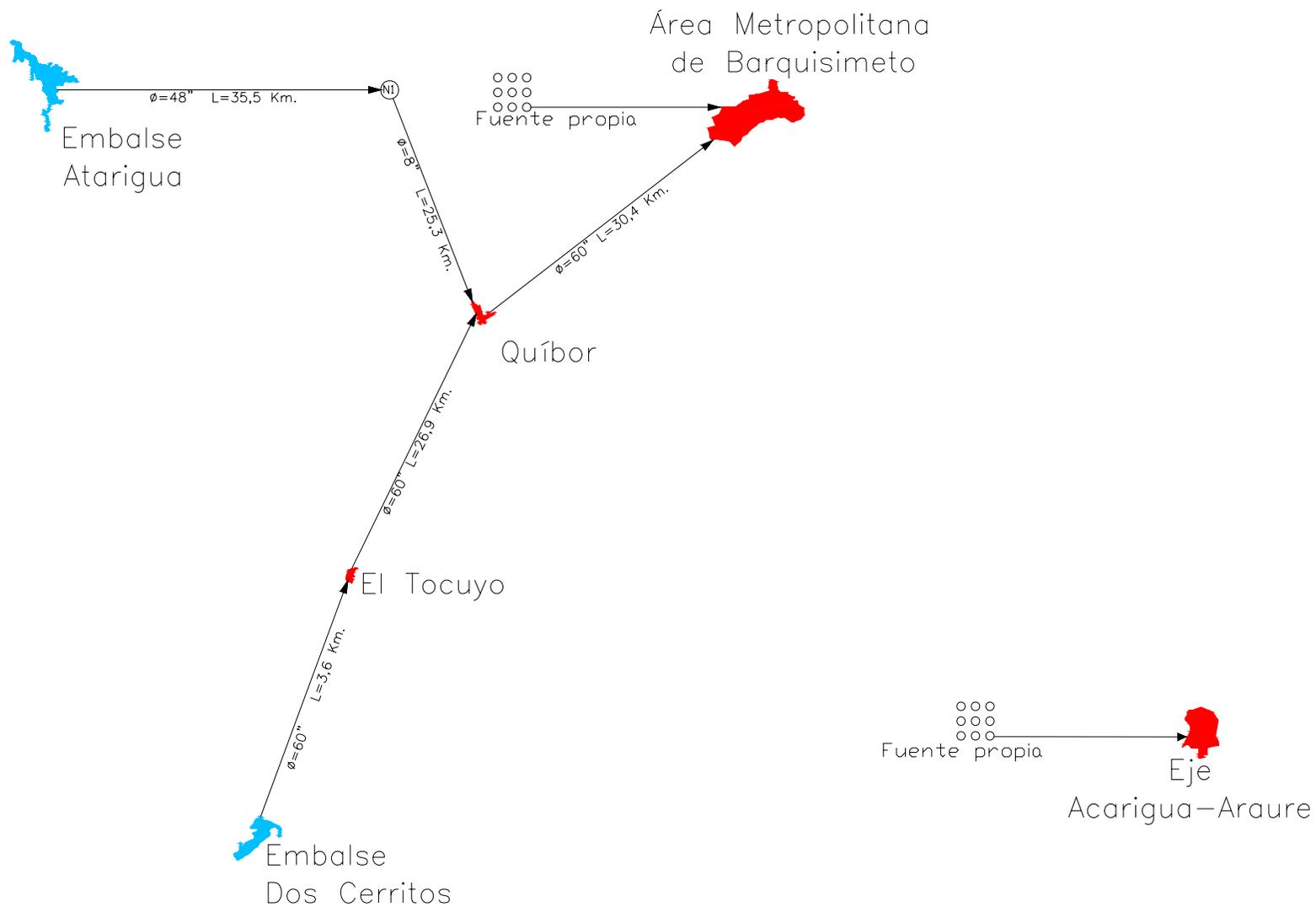
**ANEXO 30: COSTOS DE ENERGIA VS GASTO POR PROYECTO
SIN LAS MAJAGUAS**

Proyectos	Descripción	Fechas	Gasto (m³/s)	Costo anual de Bombeo (millones Bs.)
Pr4	Aducción Atarigua-Nodo1	2010	1,71	13.691,90
		2020	0,00	0,00
		2030	0,00	0,00
Pr7	Aducción Dos Cerritos - El Tocuyo	2010	5,15	16.811,52
		2020	0,87	1.359,93
		2030	2,15	3.878,42
Pr8	Aducción El Tocuyo-Quibor	2010	4,91	0,00
		2020	0,60	0,00
		2030	1,85	0,00
Pr10	Aducción Las Palmas-Nodo3	2020	2,79	0,00
		2030	3,41	0,00
Pr12	Aducción Nodo1-Quibor	2010	1,71	5.174,10
		2020	0,00	0,00
		2030	0,00	0,00
Pr14	Aducción Nodo3-Acarigua-Araure	2020	2,79	3.115,11
		2030	3,41	3.908,57
Pr16	Aducción Quibor-Barquisimeto	2010	6,44	0,00
		2020	7,85	0,00
		2030	9,06	0,00
Pr17	Túnel trasvase Yacambú - Quibor	2020	7,46	0,00
		2030	7,46	0,00

**ANEXO 31: COSTOS DE TUBERÍA Y EQUIPOS
SIN LAS MAJAGUAS**

Proyectos	Descripción	Longitud (Km.)	Diámetro (")	Costo de tubería (millones Bs.)	Costo de Equipos de Bombeo (millones Bs.)
Pr4	Aducción Atarigua-Nodo1	33,5	48	87.471,81	7.262,82
Pr7	Aducción Dos Cerritos - El Tocuyo	3,6	60	0,00	0,00
Pr8	Aducción El Tocuyo-Quibor	26,9	60	0,00	0,00
Pr10	Aducción Las Palmas-Nodo3	27,6	66	126.939,52	0,00
Pr12	Aducción Nodo1-Quibor	25,3	48	66.060,80	3.832,78
Pr14	Aducción Nodo3-Acarigua-Araure	5,9	66	27.135,62	3.182,88
Pr16	Aducción Quibor-Barquisimeto	30,4	60	0,00	0,00
Pr17	Túnel trasvase Yacambú - Quibor	24,3	192	0,00	0,00

ANEXO 32: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE INTERCONEXIÓN SIN LAS MAJAGUAS (2010-2020)



ANEXO 33: DIAGRAMA DEL SISTEMA DE INTERCONEXIÓN SIN LAS MAJAGUAS (2020-2030)

