

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA

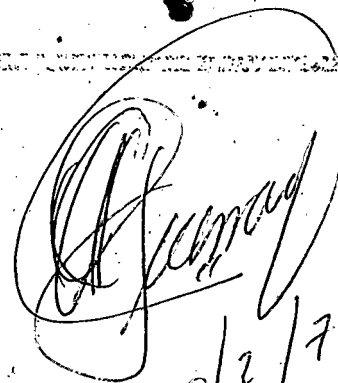
ESTUDIO DEL
APROVECHAMIENTO
INTEGRAL
DE LA CUENCA
DEL RIO MORADOR

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE LA
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL HIDROMETEOROLOGISTA
AREVALO J. SALAZAR GOMEZ
PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO HIDROMETEOROLOGISTA

CARACAS

MAYO-1974

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA



20/2/75

A. GUERRA

ESTUDIO DEL
APROVECHAMIENTO
INTEGRAL
DE LA CUENCA
DEL RIO MORADOR

TRABAJO ESPECIAL PRESENTADO ANTE LA
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL HIDROMETEOROLOGISTA
AREVALO J. SALAZAR GOMEZ
PARA OPTAR EL TITULO DE
INGENIERO HIDROMETEOROLOGISTA

CARACAS

MAYO-1976

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO INTEGRAL
DE LA CUENCA DEL RIO MORADOR

Prof. Guía:

Alfredo Rivas López

Autor:

Hidrº Arévalo J. Salazar.

RECONOCIMIENTO

A TODAS AQUELLAS PERSONAS, QUE EN UNA FORMA U OTRA CONTRIBUYERON
A LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO

I N D I C E

	Pág.
RECONOCIMIENTO	IV
INDICE	V
LISTA DE ANEXOS	IX
LISTA DE MAPAS	XI
LISTA DE CUADROS	XII
RESUMEN	1
I. OBJETIVO	2
II. METODOLOGIA	2
III. INTRODUCCION	4
IV. GENERALIDADES	4
1. PARTE A	6
1.1 INFORMACION BASICA DISPONIBLE	7
1.1.1 Estudios Realizados	7
1.1.2 Cartográfica	7
1.1.3 Pluviométrica	8
1.1.4 Evaporimétrica	8
1.1.5 Fluviométrica	8
1.2 USO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA COMO UNIDAD DE ESTUDIO	9
1.3 SITUACION Y CARACTERISTICAS FISICAS	9
1.4 HIDROGEOLOGIA	10
1.5 GEOLOGIA	11
1.6 CALIDAD DEL AGUA	12
1.6.1 Calidad del Agua para Riego	13
1.6.2 Calidad del Agua para Uso Doméstico	13

1.6.3	Calidad del Agua para Uso Industrial	14
1.7	INFORMACION ECOLOGICA	19
1.8	ASPECTO CLIMATICO	19
2.	PARTE B	22
2.1	ESTUDIO HIDROLOGICO PARA DISEÑO DEL EMBALSE	23
2.2	RECOPIACION DE INFORMACION	23
2.3	DETERMINACION DE LA LLUVIA MEDIA ANUAL EN LA CUENCA DEL RIO MORADOR	24
2.4	CARACTERISTICAS DE LA LLUVIA SOBRE EL EMBALSE	24
2.5	CARACTERISTICAS DE LA EVAPORACION SOBRE EL EMBALSE	25
2.6	PERDIDAS O GANANCIAS SOBRE EL EMBALSE	26
2.6.1	Días de Lluvia	26
2.7	DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DE LA CUENCA DEL RIO MORADOR EN PUENTE MORADOR	27
2.8	CORRELACION GRAFICA CON DOS VARIABLES	28
2.9	CRECIENTES	30
2.9.1	Origen de las Crecientes en la Cuenca	30
2.9.2	Análisis de Crecientes y Formación del Hidrograma Unitario	30
2.9.3	Hidrogramas de Crecientes para Diferentes Frecuencias	32
2.10	DIAGRAMA DE MASA POR DIFERENCIAS ACUMULADAS DE LAS APORTACIONES MENSUALES	32
2.11	GRAFICO DE EXTRACCION CONSTANTE-ALMACENAMIENTO UTIL	34
2.12	CRECIENTE MAXIMA PROBABLE	35
2.12.1	Precipitación Máxima Probable	35
2.12.2	Tormentas Seleccionadas	38

2.12.3	Transposición	38
2.12.4	Maximización	39
2.12.5	Tormenta Maximizada	39
2.12.6	Hidrograma de la Creciente Originada por la P.M.P	42
2.13	ANALISIS DE FRECUENCIA	43
2.13.1	Método de Totales Cabalgantes	44
2.14	FRECUENCIA DE ESCURRIMIENTO ANUAL	44
2.14.1	Determinación de la Frecuencia de Crecientes del Río Morador en Puente Morador	45
2.14.2	Frecuencia de Volúmenes Míñimos	46
2.14.3	Frecuencia de Volúmenes Máximos	47
2.14.4	Procesamiento	47
PARTE C		49
3.	PLANIFICACION PRELIMINAR DE LOS RECURSOS DISPONIBLES	50
3.1	EVALUACION DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA RIEGO Y CONTROL DE CRECIENTES	50
3.1.1	Metodología	50
3.2	REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA RIEGO	51
3.2.1	Determinación del Balance Hídrico	53
3.2.1.1	Estimación de la Evaporación Potencial	53
3.2.1.2	Procesamiento	53
3.3	CARACTERISTICAS OPTIMAS DE ALMACENAMIENTO EN EMBALSE PARA DIFERENTES ALTERNATIVAS DE RIEGO	57
3.4	OPTIMIZACION DE CAPACIDAD DE EMBALSE	58
3.4.1	Procesamiento	63
3.5	CARACTERISTICAS PRELIMINARES DEL SITIO DE APROVECHAMIENTO	63
3.5.1	Sedimentación en el Vaso de Almacenamiento	66

3.6	EFFECTOS DE REGULACION SOBRE LAS CRECIENTES POR EL EMBALSE	67
3.6.1	Dimensionado Preliminar del Aliviadero	71
3.6.2	Tránsito por Embalse	72
3.7	DIMENSIONADO PRELIMINAR DEL EMBALSE	72
3.8	SINTESIS DE LOS VALORES HIDROLOGICOS	74
3.9	PREDIMENSIONADO PARA LA ALTERNATIVA DE 30.000 HAS Y CONTROL DE AVENIDA	75
3.9.1	Rendimiento Garantizado	76
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
4.1	Conclusiones	77
4.2	Recomendaciones	78
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	79
6.	MAPAS	81
7.	ANEXOS	86

LISTA DE ANEXOS

	Anexo N°
DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO	1
DIAGRAMA DE ANALISIS DE AGUA	2
RIO MORADOR EN PUENTE MORADOR, GASTOS MEDIOS (m ³ /seg)	3
HISTOGRAMA DE LLUVIA: OSPINO--LA ESTACION	4
TABLA DE LLUVIA. OSPINO LA ESTACION	5
TABLA DE EVAPORACION X 0.80: GUACHE HACIENDA	6
HISTOGRAMA DE VALORES DE EVAPORACION -EST. GUACHE HDA. 1953-1972 -	7
TABLA DE PERDIDAS Y GANANCIAS (mts)	8
DIAS DE LLUVIA	9
ESCURRIMIENTOS MENSUALES - MILLONES m ³ -	10
CORRELACION DE GASTOS MENSUALES -RIO GUACHE EN PTE. VIEJO Y RIO MORADOR EN PTE. MORADOR - PERIODO 1958-1970	11
VALORES DE GASTO MENSUAL RIO GUACHE EN PTE. VIEJO	12
CRECIENTES ORIGINALES DEL RIO MORADOR EN PTE. MORADOR	13
FORMACION DEL HIDROGRAMA UNITARIO -RIO MORADOR - EN PTE. MORADOR	14
HIDROGRAMA UNITARIO -RIO MORADOR EN PTE. MORADOR -	15
REPRESENTACION GRAFICA DE LA CURVA S -RIO MORADOR EN PTE. MORADOR	16
VALORES CARACTERISTICOS DEL ANALISIS DE FRECUENCIA DE GUMBEL	17

RESULTADOS E HIDROGRAMAS DE CRECIENTES PARA DIFERENTES FRECUENCIAS	18
GRAFICO DEL DIAGRAMA DE MASA POR DIFERENCIA DEL ESCURRIMIENTO MENSUAL	19
RESULTADO DEL DIAGRAMA DE MASA	20
ANALISIS DE TORMENTA DEL 17 DE NOVIEMBRE DE 1965	21
ANALISIS DE TORMENTA DEL 29 DE MAYO DE 1964	22
ANALISIS DE TORMENTA DEL 21 AL 22 DE JUNIO DE 1963	23
TORMENTAS TRANSPUESTAS SOBRE LA CUENCA	24
MAXIMIZACION DE TORMENTA-ENVOLVENTE-RIO MORADOR EN PTE. MORADOR	25
RIO MORADOR EN PTE. MORADOR-HIDROGRAMA DE CRECIENTE ORIGINADA POR LA PMP	26
PROBABILIDAD DE ESCURRIMIENTO ANUAL, TABULACION Y CALCULO	27
RIO MORADOR EN PTE. MORADOR-CURVA DE FRECUENCIA DE ESCURRIMIENTO ANUAL	28
CURVA DE FRECUENCIA DE GASTOS MAXIMOS ANUAL	29
FRECUENCIA DE VOLUMENES MINIMOS PARA 1, 2, 3,....12 MESES	30
FRECUENCIA DE VOLUMENES MAXIMOS PARA 1, 2, 3,....12 MESES	31
OPTIMIZACION DE CAPACIDADES DE EMBALSES: RESULTADOS PARA 30, 25, 20, 15 y 10 MIL HECTAREAS REGABLES	32
CURVAS DE OPTIMIZACION DE CAPACIDAD DE EMBALSE PARA 30, 25, 20, 15 y 10 HAS. REGABLES	33
BALANCE HIDRICO SEGUN PROCEDIMIENTO DE THORNTHWAITE	34

CURVA DE ALMACENAMIENTO UTIL VS AREA REGABLE PARA UN RIESGO DEL 20% - RIO MORADOR EN PTE. MORADOR	35
RIO MORADOR SITIO DE PRESA N° 1 -CURVAS DE ELEVACION vs AREA-CAPACIDAD	36
RIO MORADOR SITIO DE PRESA 1 - SECCION POR EL EJE- CURVA DE ITERACION	37 38
RELACION ACARREO ANUAL VS-ESCURRIMIENTO ANUAL RIO MORADOR EN PTE. MORADOR	39
CURVA DESCARGA-ALMACENAMIENTO RIO MORADOR EN PTE. MORADOR	40
TRANSITO DE AVENIDA POR EMBALSE, ALIVIADERO PRELIMINAR PARA L = 20 MTS	41
TRANSITO DE AVENIDA POR EMBALSE, ALIVIADERO PRELIMAR PARA L = 25 MTS	42
TRANSITO DE AVENIDA POR EMBALSE ALIVIADERO PRELIMINAR PARA L = 30 MTS	43
CURVA PARA EL CALCULO DEL PORCENTAJE DE RETENCION	44

LISTA DE MAPAS

Mapa N°		Pág.
1	UBICACION GEOGRAFICA-CUENCA DEL RIO MORADOR-	82
2	GEOLOGIA SUPERFICIAL DE LA CUENCA DEL RIO MORADOR-	83
3	CUENCA DEL RIO MORADOR -ESTUDIO HIDROLOGICO	84
4	CUENCA DEL RIO MORADOR ESTUDIO HIDROLOGICO MAPA ISOYETICO	85

LISTA DE CUADROS

NOMBRE	Nº	Pág.
CALIDAD DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL	1	15
ANALISIS DE MUESTRA PARA DETERMINACION DE LAS CONDICIONES FISICO-QUIMICAS DEL AGUA RIO MORADOR EN PTE. MORADOR	2	16
INFORMACION BASICA -ESTUDIO HIDROLOGICO RIO MORADOR - ESTACIONES PLUVIOMETRICAS	3	17
TOTALES ANUALES DE PRECIPITACION EN M.M -ESTUDIO HIDROLOGICO DEL RIO MORADOR	4	18
VALORES CARACTERISTICOS DEL RENDIMIENTO	5	31
MAXIMIZACION DE TORMENTAS CALCULO DEL FACTOR DE AJUSTE POR HUMEDAD	6	36
ESTUDIO HIDROLOGICO RIO MORADOR CALCULO FACTOR DE AJUSTE POR HUMEDAD (FH)	7	37
RIO MORADOR ESTUDIO HIDROLOGICO FACTOR DE AJUSTE POR CUENCA	8	40
MAXIMIZACION DE TORMENTAS -TORMENTAS MAXIMIZADAS-	9	41
E.T.P CALCULADA PARA COEFICIENTE EVAPORIMETRICO = 0.80	10	52
RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL BALANCE HIDRICO TOTALES DE DEMANDA NETA DE RIEGO M.M PARA PERIODO 1958-1972	11	54
VALORES DEL REQUERIMIENTO DE RIEGO PARA DIFERENTES ALTERNATIVAS	12	55
RIO MORADOR EN PTE. MORADOR-DATOS HISTORICOS-VALORES DEL GASTO MAXIMO INSTANTANEO	13	60
CALCULO CAPACIDAD DE EMBALSE-OPERACION MENSUAL	14	62

	Nº	Pág.
TABULACION DE LA EFICIENCIA DE RETENSION DE SEDIMENTO EN EL EMBALSE	15	64
RIO MORADOR EN PTE. MORADOR AREA DE LA CUEN- CA = 611 Km ² - REGISTRO DE ACARREO ANUAL-	16	65
CURVA DE DESCARGA	17	70
PREDIMENSIONADO DEL EMBALSE	18	73
SINTESIS DE LOS VALORES HIDROLOGICOS	19	74
CARACTERISTICAS PRINCIPALES-ALTERNATIVA DE 30.000 HAS.-	20	76

R E S U M E N

El presente trabajo trata de establecer las posibilidades de aprovechamiento en la cuenca del río Morador.

Primeramente se conocieron las características generales de la región en estudio, determinando los sitios de medición, registro existentes, aspectos y condiciones climáticas, calidad de las aguas, geología superficial e hidrogeología.

A partir de los registros existentes, se efectuó un estudio hidrológico con el fin de determinar la disponibilidad de agua, a tal efecto, se hizo estudio de frecuencia para volúmenes mínimos, máximos, escurrimiento anual y gastos máximos anuales.

Se determinaron, el diagrama de masa para el escurrimiento anual y mensual, el gráfico de extracción-almacenamiento útil, estudio de crecientes máximas, como información básica para diseño de un embalse, en el sitio denominado sitio de presa N° 1, en jurisdicción de los Distritos Ospino y Guanare del Estado Portuguesa.

Por último, se establecieron las relaciones entre el potencial de riego y las disponibilidades de agua, los efectos de regulación de crecientes por el embalse a partir del conocimiento de las características del sitio de presa, los requerimientos o demandas para satisfacer los diferentes tamaños del proyecto.

Mediante un estudio operativo se evalúa la capacidad de embalse apropiada para los diferentes requerimientos.

I. OBJETIVO

Trata el presente trabajo, de lograr un doble fin, en primer lugar, la complementación a mi formación profesional, al estudiar y analizar dentro de la moderna tecnología las características fundamentales, uso y aportación de la información básica, a los fines de concretar un proyecto que defina y determine las disponibilidades de agua en una cuenca hidrográfica, y las posibilidades de administración del recurso para su aprovechamiento en un uso específico.

En segundo termino, al tratar de lograr la superación a nivel técnico se analizó la posibilidad de colaborar con el propósito de los organismos nacionales, de adelantar el conocimiento y desarrollo del recurso agua en las áreas de mayor prioridad de desarrollo agropecuario, recuperación de tierra, control de inundaciones, agua para su ministro, etc.

Para el segundo propósito a través de la División de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas, se obtuvo de su programación la posibilidad de realizar el Estudio Hidrológico para el Aprovechamiento de la Cuenca del Río Morador, comprendida entre los Distritos Guanare y Ospino del Estado Portuguesa, con el objeto de lograr a partir del conocimiento de las condiciones físicas regionales, los registros obtenidos en las mediciones hidrométricas, pluvio-evaporimétricas y generados por métodos estadísticos, el conocimiento del potencial hídrico y la información básica característica que permitan definir un proyecto de presa con fines de riego y las características de su comportamiento hidrológico.

II. METODOLOGIA

Se divide la realización del trabajo en tres partes que permiten definir el conocimiento integral de la cuenca.

PARTE "A"

Conocimiento de las características generales de la cuenca, a los fines de obtener una visión de los diferentes factores que puedan influir en el comportamiento hidrológico y los efectos que definen las condiciones climáticas regionales y elas

pecto humano.

Se logra la ubicación geográfica, aspectos climáticos, ecológicos, geología de superficie, hidrogeología de la cuenca baja, las características físico - químicas para la determinación de la calidad de agua para los diferentes usos; se obtiene y analiza la ubicación y record de las diferentes estaciones hidrométricas y meteorológicas en la cuenca y sus alrededores, concluyendo con esto la parte de Hidrología Descriptiva.

PARTE " B " :

Hidrología Cuantitativa: Usando los métodos estadísticos aplicados a la Hidrología, se obtiene a partir de la información básica suministrada y los patrones de comportamiento hidrológico las bases a ser aplicadas en el proyecto para diseño y construcción de una presa, condiciones para el requerimiento de riego, y las características óptimas de capacidad del embalse para diferentes áreas regables.

PARTE " C " :

Mediante un estudio operativo se evalúa la elección de la capacidad de embalse apropiada o requerida para los diferentes tamaños de los proyectos de riego asumido y el efecto de reducción de caudales en crecientes aguas abajo, transitando por el embalse las crecientes para diferentes frecuencias.

III INTRODUCCION

No existiendo limitaciones en cuanto a la posibilidad de los usos, y recursos agua-suelo, dentro de la región correspondiente al piedemonte andino y los llanos centro-occidentales, se hace necesario realizar un uso intensivo de estos recursos en el desarrollo integral a largo plazo de esta vasta zona; adquiriendo el riego, obras de control para prevención de inundaciones etc., una gran importancia.

El estudio de los ríos que conforman la red de drenaje superficial en esta región adquiere relevante importancia, al permitirnos conocer el comportamiento hidrológico de tal red hidrográfica, dados los fines de aprovechamiento de este recurso. El presente trabajo trata de aportar, a nivel de anteproyecto, una investigación que permita definir el diseño hidrológico para el proyecto de presa en el río Morador-Distritos Ospino y Guanare del Estado Portuguesa y, el análisis del aprovechamiento dentro del desarrollo de las actividades humanas y agropecuarias en la zona.

IV GENERALIDADES

Existe dentro de los organismos nacionales, el convencimiento, de la necesidad de optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos del país, y sólo se podrá realizar, mediante un proceso sistemático de estudios integrales, convergiendo hacia el uso de las metodologías y técnicas modernas que, permita producir la información necesaria para programar su desarrollo y apro-

vechamiento, en forma armónica. A tal efecto, el plan de desarrollo de una cuenca hidrográfica consiste, básicamente, en la determinación de toda la gama de demandas inmediatas y a largo plazo que puedan devenir sobre los recursos de tierra y agua de la zona, la previsión de cómo las demandas del recurso agua podrán suceder y las formas en que éstas deberán satisfacerse en el transcurso del tiempo; las soluciones físicas de aprovechamiento, a determinarse, se establecen dentro del patrón de necesidades estimadas.

De allí, el título y la motivación para la realización del presente trabajo, como parte de la continuación de una serie de estudios realizados, a nivel nacional, sobre el conocimiento del aprovechamiento INTEGRAL del recurso agua.

I. P A R T E A

1.1 Información Básica Disponible

1.1.1 Estudios Realizados

Estudio Preliminar para el Aprovechamiento Integral de los Recursos Hidráulicos.

Cuenca Río Portuguesa .

Caracas-MOP-DOH.

Análisis de Alternativas para el Desarrollo del Sistema de Riego Guanare.

Marco Polo Rivero; L.I. López y Filis Castro de Márquez.

Manual de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, Oficina de Planeamiento, MOP-DOH.

Estudio de las posibilidades de Riego del Asentamiento Campesino-Tierra Buena.

Domingo Padilla

DOH-MOP.

1.1.2 Cartográfica

Mapa de ubicación geográfica con Escala Gráfica

Mapa a Escala 1: 250.000, correspondiente a la cuenca, reducido con escala gráfica, elaborado por la Dirección de obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.

1.1.3 Pluviométrica:

Registro de las estaciones designadas en el Cuadro N° 3; los totales generales de precipitación correspondientes a estas estaciones, se indican en el Cuadro N° 4.

Se usaron los valores de la estación Ospino-La Estación como datos indicativos de la lluvia sobre la presa.

1.1.4 Evaporimétrica:

Registro de evaporación de la estación Guache-Hda, ubicada a 2.5 Km al Este de la presa.

1.1.5 Fluvimétrica:

Registro de niveles y aforos practicados en la estación del río Morador en Puente Morador, a partir del año 1958, con interrupciones debido a funcionamiento deficiente del registrador, durante marzo 61 a julio 62. Estos niveles fueron estimados según lo indicado en el aparte 2.8; se procedió a su evaluación y revisión general del cálculo, a través de técnicas por computación.

Se indica en el mapa N° 3, los sitios de mediciones y la ubicación del sitio de presa.

En el Anexo N° 3, se presenta los valores de gasto media del río Morador en Puente Morador.

1.2 USO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA COMO UNIDAD DE ESTUDIO

Desde el punto de vista hidrológico, las cuencas hidrográficas determinan regiones precisamente enmarcadas y son, generalmente, las unidades geográficas más adecuadas para planificar el uso y desarrollo de los recursos hídricos; por ello y de un modo u otro, su relación con toda aquellas obras que permitan el uso, control y conservación de los recursos naturales. Este enmarcamiento dentro de un área limitada requiere, el conocimiento o consideración de factores físicos y socio-económicos, más allá de dicha área.

Los esquemas preliminares para la planificación, constituyen los procesos de estudios que permiten definir los esquemas de aprovechamiento, para obtener un programa definitivo de desarrollo.

1.3 SITUACION Y CARACTERISTICAS FISICAS

Corresponde la cuenca del río Morador, en cuanto a su ubicación física y desde el punto de vista económico, a una de las regiones de mayor potencial agropecuario dentro del ámbito nacional. No existiendo restricciones, en cuanto a la disponibilidad de los recursos agua-suelo, se hace necesario el uso intensivo de estos recursos en el desarrollo integral a largo plazo, de esta vasta zona, adquiriendo, el riego y, la prevención y control de inundaciones, gran importancia.

Está localizada en la región occidental de Venezuela, extendiéndose en forma transversal por el flanco sur de la Cordillera de los Andes, Sierra

de Portuguesa y a través de los llanos centrooccidentales, hasta su desembocadura en el río Portuguesa; con una orientación en su red de drenaje NW-SE; desde su parte superior conformada por los ríos Laguneta, Amorador y Tamboral, en la jurisdicción del Distrito Moran del Estado Lara, desplazando en drenaje rectangular hasta conformarse con el río Toco, en los Distritos Ospino y Guanare del Estado Portuguesa, entre los $69^{\circ} 31'$ - $69^{\circ} 45'$ de longitud oeste y los $09^{\circ} 15'$ y $09^{\circ} 37'$ de latitud norte y con altura inferiores a los 2.000 m.s.n.m.

El área de drenaje hasta el sitio de estudio es de 611 Km², con una longitud de cauce principal de 62 Km aproximadamente, constituyendo en su parte baja una llanura uniforme y baja con una pendiente suave y, en su cuenca alta, un conjunto litológico de carácter permeable e impermeable en su alternancia, rematando en las terrazas y sedimento aluvionales. Las terrazas a diferentes niveles en la zona entre conos aluvionales en toda la extensión del piedemonte, están constituidas por gravas, peñones y arenas, con una matriz limo arcillosa de color rojizo o marrón rojizo. Los aluviones que rellenan la parte plana de la cuenca corresponden a dos tipos: aluvión reciente y aluvión más antiguo, acentuando el carácter divagante de los pronunciados meandros sobre estas planicies.

1.4 HIDROGEOLOGIA

En la parte plana de la cuenca existen, hasta la profundidad de 50

metros, dos acuíferos separados por un horizonte arcilloso de espesor uniforme y con las siguientes características:

- a) Acuífero Superior -Con un espesor variable, entre 5 y 14 metros, limitado por dos horizontes arcillosos; el superior con un espesor variable entre 1.50 y 7.60 metros, continuo, excepto en las márgenes del cauce principal del río Morador y el inferior con espesor entre 6 y 14 metros. En ciertas zonas del área al Oeste del río, se comporta como acuífero libre; en un pozo localizado a 150 metros de la margen derecha, el nivel estático coincide con el nivel de las aguas de éste y la superficie piezométrica se mantiene horizontal, en un corte normal al mismo.

La dirección del flujo esta señalada hacia el sur, paralela al curso del río, pero en la parte norte tiende a ser normal a éste, indicando que la fuente principal de abastecimiento la constituye el río. El valor promedio del gradiente hidráulico varía de 0.3% a 0.17% con espaciamiento uniforme en las líneas de flujo.

- b) Acuífero Inferior -Este tiene un espesor variable entre 15 y 19 metros, limitado en su parte inferior por un horizonte arcilloso a una profundidad alternante entre 38 y 42 metros; acuífero artesiano, en casi toda la extensión del área comprendida a 10 Km al oeste del río Morador, hasta unos 400 metros antes de la confluencia del río Caro y con una presión entre 25 a 29 metros; artesianismo que se manifiesta saltante hasta un poco mas de la mitad del área anterior, de allí hacia la parte norte, el flujo subterráneo no sale a la superficie por condiciones topográficas. Para este acuífero, también está indicado por la red de flujo, un perfil de depresión lineal con espaciamiento uniforme y un gradiente hidráulico de 0.15%. La dirección de la corriente es hacia el suroeste y divergente al curso principal del río, indicando que la alimentación se efectúa a través del lecho.

1.5 GEOLOGIA

La parte media y alta de la cuenca, situada al norte de la carretera que une a las ciudades de Ospino y Guanare, puede ser dividida para los efectos

tos del análisis hidrológico, en dos unidades de edades comprendidas entre el Cretáceo superior y Terciario inferior (Paleoceno). La primera de estas unidades aflora extensamente en la parte alta y recibe el nombre de Formación Villanueva, la cual se compone casi totalmente de lutitas silíceas de color negro y gris, meteorizadas y, algunas de las cuales pasan a ser cherts, mal estratificadas, muy lenticulares y disgregables en arcillas o barros. Intercaladas con estas lutitas se observan algunas areniscas, en capas delgadas, blancas, cuarzosas, mal estratificadas, relativamente blandas y friables. En la parte media aflora la segunda de estas unidades llamada, Formación río Guache y caracterizada, al estar constituida por una secuencia de flysch compuesta de capas de areniscas, lutitas de grano medio a muy fino y lutitas silíceas bien estratificadas, astillosas y de colores oscuros. Intercalados, se observan algunos conglomerados líticos, lenticulares, de colores grises y, con cantos de rocas ígneas y metamórficas. (Ver Mapa N° 2)

1.6 CALIDAD DEL AGUA

Para determinar la calidad físico-química del agua de la cuenca y ver como varía ésta con el tiempo, fueron analizadas varias muestras correspondientes a diferentes años (Cuadro N°1), para así, proceder a hacer las interpretaciones y emitir las opiniones a cerca de la calidad del agua, tanto para riego como para los consumos humanos e industriales.

1.6.1 Calidad del Agua para Riego

Con el fin de determinar la calidad del agua en relación a este uso, se utilizó el gráfico de adsorción de sodio contra conductividad específica (Anexo N°1), del cual se determinó que éstas eran de la clase C1 S1, es decir, que pueden ser usadas en la mayoría de los cultivos y en cualquier tipo de suelo, con poca probabilidad de que en ellos se desarrolle salinidad y de que alcancen niveles peligrosos de sodio intercambiable. Se necesitaría algo de lavado, pero esto se lograría con el mismo riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.

1.6.2 Calidad del Agua para Uso Doméstico

Las propiedades físicas del agua: turbiedad, olor, sabor y temperatura, resultaron ser óptimas para el consumo humano, sin ningún tratamiento.

Los análisis efectuados, no permitieron conocer los contenidos de algunos constituyentes menores que son requeridos para el consumo humano (arsénico, cromo, cianuro, plomo y selenio), sin embargo, los constituyentes mayores (calcio, magnesio, sodio + potasio, sulfatos, cloruro, carbonato + bicarbonato) fueron interpretados gráficamente, haciendo uso del diagrama trilinear de Piper-Anexo N° 2- con los resultados que a continuación se señalan:

- 1) Los alcalinos-térreos exceden a los alcalinos
- 2) Los ácidos débiles exceden a los ácidos fuertes
- 3) La dureza carbonatosa excede al 50%, es decir, que las propiedades químicas del agua están dominadas por alcalino-térreos y ácidos débiles.
- 4) El carácter químico del agua es cálcico-bicarbonático

1.6.3 Calidad del Agua para Uso Industrial

En general, muchas de las industrias aceptan o requieren una calidad del agua semejante a la usada para el consumo humano; un tratamiento adicional depende del tipo de industria.

Los aspectos más importantes de la calidad del agua, para este tipo de uso, son la constancia en su composición y temperatura, debido a que la variación de concentración de las sustancias, a corto plazo, requiere una dedicación permanente con el consecuente incremento de los costos de tratamiento.

Como en la zona, una de las industrias más importante, es la fabricación de azúcar y se prevé que, en un futuro próximo, se desarrollen en el área industrias procesadoras de alimentos, se da a continuación una tabla con algunas de las normas para este tipo de uso.

CUADRO N° 1

CALIDAD DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL

	Procesamiento de Alimentos en general	Fabricación de azúcar
Turbidez	1 - 10	
Color	5 - 10	
Olor y sabor	bajo poco notable	
Hierro (ppm)	0.2	0.1
Manganeso (ppm)	0.2	
Hierro y manganeso (ppm)	0.2 - 0.3	
Alcalinidad (ppm)	30 - 250	
Dureza (ppm)	10 - 250	
Tot. Sol. Dis. (ppm)	850	
Fluoruro (ppm)	1.0	
Calcio (ppm)		20
Magnesio (ppm)		10
Sulfato (ppm)		20
Cloruro (ppm)		20
Bicarbonato (ppm)		100

De acuerdo a estas normas, las aguas necesitarán tratamiento que reduzcan las concentraciones de calcio, hierro y sulfato, para su utilización en la industria del azúcar; mientras que para el procesamiento de alimentos, en general, será preciso reducir los contenidos de hierro.

CUADRO N° 2

ANALISIS DE MUESTRA PARA DETERMINACION DE LAS CONDICIONES FISICO-
QUIMICAS DEL AGUA
RIO MORADOR EN PUENTE MORADOR

	(1)	(2)	(3)
	29-01-70	22-06-70	24-11-72
Temperatura del agua (° C)	25	23	26
Color aparente (ppm)	0	Indeterminable	5
Color real (ppm)	0	4	0
pH	8.2	7.7	8.0
CE (Micromohs a 25° C)	22.6	15.5	249
Indice de Langelier	-0.3	-0.6	0.0
Sólidos disueltos (ppm)	180.	110.	210.
Hierro (Fe) (ppm)	0.	18.	0.06
Manganeso (Mn) (ppm)	0.	0.4	0.0
Fluoruros (F) (ppm)	Trazas	0.	0.1
Nitratos (NO ₃) (ppm)	Trazas	0.7	0.08
Calcio (Ca) (ppm)	34.	20.	34.4
Magnesio (Mg) (ppm)	5	3.9	6.3
Sodio (Na) (ppm)	9	5.2	6.
Carbonatos (CO ₃) (ppm)	2	0.	1.
Cloruros (Cl) (ppm)	2	1.5	1.0
Sulfatos (SO ₄) (ppm)	31.	18.5	34.0

INFORMACION BASICA

CUADRO N° 3

ESTUDIO HIDROLOGICO: RIO MORADOR

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS

Estación	Edo.	Serial	Lat.	Long.	Org.	Tipo
Tocuyo-Caja de Agua	LA	2222	09° 47'	69° 48'	OP	PR
Cubiro	LA	2225	09° 47'	69° 35'	OP	PR
Sarare	LA	2229	09° 47'	70° 16'	OP	PR
Sanare	LA	2234	09° 45'	69° 39'	OP	PR
Humocaro Bajo	LA	2241	09° 41'	69° 58'	OP	PR
Guarico	LA	2243	09° 37'	69° 47'	OP	PR
Camburito	PO	2246	09° 36'	69° 18'	OP	PR
Humocaro Alto	LA	2251	09° 37'	69° 59'	OP	PR
Hda. Guache	PO	2253	09° 26'	69° 21'	OP	PR
Potrerito	PO	2260	09° 18'	69° 43'	OP	PR
Chabasquén	PO	2261	09° 25'	69° 56'	OP	PR
Ospino Dispensario	PO	2265	09° 17'	69° 27'	OP	PR
Ospino La Estación	PO	2266	09° 24'	69° 29'	OP	PR
Biscucuy	PO	2273	09° 20'	69° 08'	OP	PR
Hda. San Rafael	PO	2286	09° 10'	69° 35'	OP	PR
Pte. Coromoto	PO	2292	09° 02'	69° 48'	OP	PR
Suruguapo	PO	2171	09° 12'	69° 43'	OP	PR
Agua Blanca	PO	2239	09° 39'	69° 06'	OP	PR

TOTALES ANUALES DE PRECIPITACION EN MM.

ESTUDIO HIDROLOGICO DEL RIO MORADOR

Nombre	Serial	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	Media Anual
Tocuyo C. de Agua	2222	368	419	396	558	586	591	450	553	704	576	417	755	644	510	538
Cubiro	2225	687	826	877	657	908	914	764	918	913	1170	967	1175	1175	826	912
Sarare	2229	930	1688	1448	1147	1031	1575	1123	1124	1429	1293	1230	1446	1403	1174	1286
Sanare	2234	659	722	717	865	788	826	733	825	877	888	804	930	882	791	807
Agua Blanca	2239	1185	1634	1551	1455	1111	1578	1367	1155	1356	1250	1564	1478	1589	1283	1448
Humocaro Bajo	2241	667	586	619	551	542	585	575	729	708	789	624	738	610	641	640
Guarico	2243	811	783	784	725	714	923	864	1051	971	1070	1060	1082	1128	991	925
Camburito	2246	1774	1861	-	1468	1550	2066	1572	1572	2088	1606	2154	2096	1958	1582	1796
Humocaro Alto	2251	610	511	946	595	631	604	628	779	763	888	803	883	825	814	734
Hda. Guache	2253	1561	1656	1890	1489	1229	1798	1457	1750	1625	1506	1762	1781	1526	1777	1754
Potrerito	2260	-	1758	2401	2264	1918	2629	1051	1093	1944	2162	1906	2910	2347	2015	2186
Chabasquen	2261	1859	2164	1703	1949	1577	1614	1497	2026	1766	2084	1788	1893	1696	1815	1817
Ospino Dispensario	2265	1240	1391	1635	1715	1583	1512	1598	1626	1505	1498	1681	1758	1487	1515	1567
Ospino La Estación	2266	1978	1495	2171	1829	1729	1836	1951	1917	2248	1670	1913	1978	1871	1756	1882
Biscucuy	2273	2553	2215	2104	2198	1699	2430	1780	2306	2355	2484	2158	2226	2007	1932	2177
Hda. San Rafael	2286	1527	1376	1416	1689	1631	1613	1380	1515	1561	1425	1629	1757	1554	1347	1612
Pte. Coromoto	2292	1624	1422	1497	1598	1370	1804	1414	1321	1491	1816	1572	1742	1516	1517	1722
Suruguapo	2171	1540	1746	1372	1729	1424	1857	1506	1563	1555	1786	1680	2134	1988	1706	1676

1.7 INFORMACION ECOLOGICA

Existe una marcada transición en la distribución del ambiente vegetal a medida que se desciende y ligada, no sólo a las variaciones topográficas y climáticas, sino también a los factores de transformación de las condiciones edáficas, a los distintos niveles y a la modificación de las condiciones naturales por el hombre.

La transición de la cobertura vegetal, está diferenciada por zonas características entre la cuenca superior y baja de la vertiente principal; se generaliza en la cuenca media en selvas tropófitas correspondientes al piso mesotérmico (altas temperaturas), presenta gran frondosidad y verdes durante la época lluviosa y, en el período seco se asemeja a formaciones xerófitas.

Existen árboles de alturas oscilantes de 20 a 40 metros, con una gran variedad de especies, constituyendo el sector de transición de selvas húmedas a sabanas y alcanzando hasta los 1000 metros de altitud. La casi totalidad de la cuenca baja, está conformada por una escasa densidad de vegetación baja con gramíneas y árboles aislados.

1.8 ASPECTO CLIMATICO

La cuenca del río Morador se encuentra, bajo la influencia de masas de aire provenientes del corrimiento hacia el Norte del cinturón de convergencia intertropical (bajas presiones ecuatoriales) que llegar hasta los 10° de latitud Norte, durante los seis meses correspondientes al período abril - mayo

hasta septiembre-octubre y, los seis meses siguientes, bajo la influencia de los alisios del Noreste. La masa de aire ecuatorial produce una alta pluviosidad y los alisios, se comportan como secos, a menos que exista un relieve que los haga ascender. Esto establece un período de lluvia y otro de sequía.

El patrón de distribución de lluvia sobre la cuenca, (según Mapa Isoyético), establece una variación de lluvia entre la cuenca baja con 1800 mm y un centro de precipitación superior a los 2000 mm de promedio por año, en la cuenca central; disminuye la precipitación en la parte superior hasta los 1200 mm por año, estableciéndose así, una lluvia media anual de 1885 mm de acuerdo al análisis isoyético sobre la cuenca.

En el Anexo N° 4 se presenta el histograma de lluvia de la estación Ospino-La Estación, considerada como representativa sobre el sitio de embalse.

Se establecen a partir de los valores observados, dos períodos bien definidos: un período de alta pluviosidad, correspondiente a los seis meses indicados (mayo-octubre) en el cual se encuentra el 82% de la pluviosidad, con máximas ocurrencias en los meses junio y julio, y un período seco o de baja pluviosidad, en donde las escasas precipitaciones corresponden, a menudo, a aguaceros ocasionales.

La división climática de la cuenca es marcada. La región superior a los 1000 m.s.n.m -piso mesotérmico-caracterizada por temperaturas moderadas y clima de montaña tropical, y, la región media-baja de la cuenca, por

presentar características de clima tropical lluvioso de sabana, diferenciándose las dos épocas mencionadas y la sequía bastante notable que afecta la vegetación. En la temperatura se observa una diferencia, entre el mes más frío y el más cálido, por debajo de 5° C; temperaturas máximas se observan antes de la estación lluviosa (mes de marzo).

P A R T E B

2.1 ESTUDIO HIDROLOGICO PARA DISEÑO DEL EMBALSE

Esta parte contempla el uso de las adecuadas técnicas estadísticas, a fin de lograr la información hidrológica necesaria para el diseño y construcción de la presa sobre el río Morador, tomando para ello, lo señalado por la División de Planeamiento de la Dirección General de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas (Referencia N° 1), es decir, la ubicación de la sección a llamar Sitio N° 1, en jurisdicción de los Distritos Ospino y Guanare del Edo. Portuguesa a 3.5 Kms. aguas arriba (de la Estación Fluviométrica. Pte. Morador).

Se consideran en las estaciones: Pluviométrica: Ospino-La Estación; Evaporimétrica: Guache-Hda; Fluviométrica: Pte. Morador, los registros observados, como los parámetros: lluvia, evaporación y caudales, respectivamente característicos, para los efectos de diseño del embalse.

Para la estimación de los valores faltantes, se genera información, mediante el uso de procesos estadísticos de correlación gráfica con dos variables (Ref. N° 2), aplicando el criterio de similitud orográfica y meteorológica entre las cuencas de los ríos Guache y Morador, correspondientes a la vertiente Sur-Oriental del Río Portuguesa.

2.2 RECOPIACION DE INFORMACION

- a) Hidrométrica: se obtuvieron los datos de gastos diarios de la estación fluviométrica del río Morador en Pte. Morador con una extensión del registro desde 1958 hasta 1971. Además se usaron los hidrogramas de

las crecientes significativas para la misma estación. En el Anexo N° 3 se indican los valores medios del gasto obtenido en los Anuarios Hidrométricos, División de Hidrología. MOP.

- b) Pluviométrica-Evaporimétrica: de los Anuarios Climatológicos de la División de Hidrología, se recopiló la información de lluvia media anual para las 18 estaciones pluviométricas correspondiente al período 1958-1971, indicada en el Cuadro N° 3 y, se obtuvo el cuadro de valores mensuales de lluvia y evaporación para las estaciones: Ospino-La Estación y Guache-Hda. indicado en los Anexos Nos. 5 y 6, respectivamente.

2.3 DETERMINACION DE LA LLUVIA MEDIA ANUAL EN LA CUENCA DEL RIO MORADOR

Se analizó, a partir del método isoyético, el período 1958-1971, obteniéndose el mapa isoyético (Mapa N° 4). Consideraron las áreas entre isoyetas para una lluvia media de 1885 mm sobre la cuenca, observándose las máximas concentraciones sobre el sector medio y, un ascenso del gradiente hacia la cuenca superior.

La variación de lluvia en el tiempo determina, de acuerdo a los registros de la estación para el período 53-72 (Anexo N° 4), una máxima de 2737 mm en el año 1954.

2.4 CARACTERISTICAS DE LA LLUVIA SOBRE EL EMBALSE

En el Anexo N° 5, se presenta un cuadro resumen de las lluvias mensuales en mm, registradas en la estación pluviográfica Ospino-La Estación,

ubicada a 09° 24' Lat. Norte y 69° 29' Longitud Oeste, correspondiente al período 1953-1972; registros seleccionados como representativos de las precipitaciones directas sobre el vaso del embalse.

En la variación inter-anual de la precipitación, según el correspondiente histograma del Anexo 4, se observa que en los años 1952; 53 y 1965, las precipitaciones fueron notablemente por encima del promedio del período; las anuales mínimas, en los años 1955 y 1958.

A través de la distribución anual se observan 4 meses de baja pluviosidad (inferior a los 40 mm), 2 períodos de transición en los meses de abril y noviembre y 6 meses de alta pluviosidad con valores superiores a los 120 mm (mayo a octubre).

2.5 CARACTERISTICAS DE LA EVAPORACION SOBRE EL EMBALSE

El Anexo N° 6 presenta un cuadro-resumen con los valores de evaporación mensual medidos en la estación Guache Hda., corregidos con el coeficiente de tina^(*) correspondiente al período 1953-1972 y seleccionados como representativos de la evaporación directa sobre el embalse.

Las pérdidas por evaporación muestran valores característicos a lo largo del record, oscilantes entre 1410 mm y 1625 mm y máximos en los años 64 y 65 hasta 1630 mm (Según Anexo N° 7).

La distribución a lo largo del año registra valores entre 85 y 105 mm en el lapso mayo-noviembre, observándose durante el mes de junio el valor

* obtenido según cálculos publicados por la referencia N° 1, para la zona considerada.

mínimo; las máximas evaporaciones durante el período seco (noviembre-abril), alcanzando su máximo valor superior a los 190 mm durante el mes de marzo.

2.6 PERDIDAS O GANANCIAS SOBRE EL EMBALSE

La diferencia entre los valores registrados de precipitación (Estación Ospino-La Estación) y evaporación (Estación Guache Hda.) seleccionados como característicos para efectos del diseño, se tomaron como las pérdidas o ganancias en mts., desde la superficie libre del embalse. Los resultados se presentan en el Anexo N° 8.

2.6.1 Días de Lluvia

El conocimiento de los días de lluvia, para diferentes profundidades, se considera un aspecto importante en la planificación de la construcción de la obra así como en su ejecución. El Anexo N° 9, presenta los valores de lluvia discriminándose por cantidades de lluvia, y considera su variación a lo largo del año. Se tomo como índice, la estación: Ospino-La Estación.

2.7 Determinación del Rendimiento de la Cuenca del Río Morador en Puente Morador.

La cuenca del Río Morador, en cuanto a características de escorrentía Superficial, determinada por la variabilidad o transición topográfica y vegetal, presenta diversificación en su comportamiento hidrológico, variando su factor de retención bastante alto en la cuenca superior, disminuyendo en la cuenca baja, de baja o poca cobertura vegetal, con un poder erosivo acentuado en las márgenes.

Existiendo la estación fluviométrica del Río Morador en Pte. Morador, con un área de la cuenca hasta el sitio de 611 Km^2 , se consideraron sus registros como válidos para los efectos del diseño, estimándose los valores faltantes correspondientes a los períodos marzo 1961-Julio 1962; Abril 1966-Marzo 1967 y el año 1969.

Disponiendo de los valores registrados de gasto en m^3/seg . (Anexo N° 3), durante el período 1958-1971, se obtuvieron los valores del rendimiento mensual para el mismo período en millones de m^3 , señalados en el Anexo N° 10, para el área total de la cuenca hasta el sitio de mediciones, determinando un gasto medio mensual para el período de $20.8 \text{ m}^3/\text{seg}$ y un rendimiento medio anual de 682.4 millones de m^3 , fluctuando desde un valor máximo en 1963 de $965.4 \times 10^6 \text{ m}^3$, un 41.5% superior al valor medio, hasta un valor mínimo de 464.60 millones de m^3 , que es un 32% de rendimiento medio del período. La desviación típica es de 26,3% ($+ 180.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$), lo cual señala que para años regulares el escurrimiento puede variar entre los 503 y

y 861.7 millones de m³ el Cuadro N° 5 presenta los valores característicos.

2.8 Correlación Gráfica con Dos Variables

Para obtener los valores del gasto faltante en el record, se estimaron mediante el uso del método de correlación gráfica con dos variables, a tal efecto se consideró la cuenca del Río Guache hasta Pte. Viejo, con características físicas y climáticas similares a la cuenca del Río Morador, correlacionando las aportaciones del Río Morador en Pte. Morador, durante el período observado con las aportaciones del Río Guache durante el mismo período.

Dicho método se basa en la elaboración de una curva de relación trazada entre las medianas horizontales y verticales de los gastos medios mensuales, dibujados en papel doble logarítmico (ver Anexos N° 11) de donde se obtienen los valores faltantes a partir de los correspondientes de la estación de apoyo.

Los parámetros estadísticos necesarios para el cálculo del coeficiente de correlación, se obtienen directamente de la gráfica trazando líneas equidistantes a la curva de relación para el error típico de estimación y líneas horizontales para la desviación standard.

Con la aplicación de este método se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.98, de acuerdo a los cálculos efectuados en la página siguiente.

CORRELACION GRAFICA CON DOS VARIABLE

CALCULO DE FACTOR DE CORRELACION

Nº de puntos = 120

Error normal de estimación (Se)

$$2 Se = \log \frac{6.6}{3.0} = 0.3424$$

$$Se = 0.1712$$

Error normal ajustado (Se¹)

$$Se^1 = Se \left(\frac{N}{N-PGL} \right)^{1/2}$$

$$PGL = 6$$

$$Se^1 = 0.171 \left(\frac{120}{120-6} \right)^{1/2} = 0.176$$

Desviación típica, según eje "Y"

$$Sy = \text{Distancia entre líneas} = \log 43 - \log 1.60$$

$$= 1.4293$$

$$Sy = 1.43$$

$$Sy^1 = Sy \sqrt{\frac{N}{N-1}} = 1.43 \sqrt{\frac{120}{119}} = 0.72$$

Factor de correlación (P)

$$P = \sqrt{1 - \left(\frac{Se}{Sy} \right)^2}$$
$$P = \sqrt{1 - \left(\frac{0.176}{0.720} \right)^2} = 0.98$$

PGL = Perdida de grados de libertad

Sy = Desviación típica.

Sy¹ = Desviación típica ajustada

N = Número de puntos

2.9 Crecientes

2.9.1 Origen de las Crecientes en la Cuenca

Las precipitaciones de gran magnitud, ocurridas durante la época lluviosa, entre los meses de mayo-noviembre y causadas por el desplazamiento y presencia más septentrional de la convergencia intertropical y a las convergencias secundarias paralelas a ella, como la intensificación de la dorsal anticiclónicas, sobre el este del Caribe o efectos orográficos locales, origina la formación de núcleos de nubes convectivas, sobre las laderas orientales de los Andes y sus estribaciones, entre los 500 y 1000 m.s.n.m, provocando fuertes y violentas avenidas en la corriente que drenan la cuenca pie de montaña.

2.9.2 Análisis de Crecientes y Formación del Hidrograma Unitario.

Se seleccionaron a partir de los registros de crecientes en la estación Pte. Morador, las avenidas producidas en las fechas siguientes 01-09-62; 03-10-64 y 16-08-68. Se procedió a la construcción del hidrograma registrado, partiendo de las bandas del fluviógrafo de la estación y de las curvas y tablas de gasto; posteriormente se separaron la escorrentía directa, mediante la determinación y separación del gasto base, considerado como el gasto que hubiera tenido el cauce de no haber ocurrido la creciente (ver Anexo N° 13).

Con los hidrogramas de las avenidas analizadas, se procedió a la formación del hidrograma unitario, considerado como el hidrograma correspondiente a tormentas de igual duración y con un volumen neto igual a la unidad, en la tabulación indicada en el Anexo N° 14, para cada creciente se obtuvo el volumen neto en m^3 , las ordenadas del escurrimiento directo entre el volumen neto en mm, nos darán las ordenadas del hidrograma unitario de la cuenca, correspondiente a una lluvia excedente de 1 mm y de una duración igual a la duración de la lluvia efectiva.

Los hidrogramas unitarios obtenidos para cada una de las diferentes crecientes analizadas, se promedian, obteniendo un pico, tiempo pico y tiempo base promedio y definiéndose al hidrograma unitario típico de la cuenca mostrado en el Anexo N° 15.

Al no contar con las tormentas productoras de las cre

CUADRO N° 5

VALORES CARACTERISTICOS
DEL RENDIMIENTO

Rendimiento Medio Anual	=	682.40 mill m ³	(\bar{X})
Rendimiento Medio Mensual	=	56.87 mill m ³	
Gasto Medio Anual	=	260.00	
Gasto Medio Mensual	=	21.64	

DESVIACION STANDARD (d)

X	X - \bar{X}	(X - \bar{X}) ²
832.6	150.2	22.560
554.4	-128.0	16.384
952.4	270.0	72.900
464.6	-217.8	47.437
708.8	26.4	6.970
965.2	282.8	79.976
491.8	-190.6	36.328
507.8	-174.6	30.485
831.6	149.2	22.261
749.9	67.5	4.556
520.2	-162.2	26.309
809.1	126.7	16.053
687.2	4.8	23
478.5	-203.9	41.575
		<hr/>
		423.817

$$d = \sqrt{\frac{(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$d = \sqrt{\frac{423.817}{n - 1}}$$

$$d = \sqrt{32.601} = 180.6$$

cientes analizadas, se procedió al cálculo de la duración del hidrograma unitario, por el método de la curva S, obteniendo una duración de 2 horas para la lluvia efectiva (ver Anexo N° 16).

2.9.3 Hidrogramas de Crecientes para Diferentes Frecuencias

Con el hidrograma unitario promedio y los resultados del análisis de frecuencia de Gumbel (Anexo N° 17) para diferentes períodos de retorno, se obtuvieron las láminas efectivas generadoras de crecientes para cada una de las diferentes frecuencias, dividiendo el correspondiente pico entre el pico unitario y multiplicando cada una de las ordenadas del hidrograma unitario por las láminas efectivas correspondientes. El Anexo N° 18, nos indica los cálculos, tabulación y resultados obtenidos.

2.10 Diagrama de Masa por diferencias acumuladas de las Aportaciones Mensuales.

Para definir al comportamiento del escurrimiento, a fin de resaltar los lapsos de aguda deficiencia y máxima excedencia, se elaboró a partir de los valores de aportación mensual y anual del río, el diagrama de Rippl (referencia N° 8) o curva de masas por diferencias acumuladas que para el caso del funcionamiento de un embalse es la base para el procedimiento gráfico de análisis de la relación existente entre la escorrenfía, la capacidad del embalse y los caudales regulados, considerando que el período de observación se repite cíclicamente.

El diagrama de masa por diferencia mensual, se construye sobre dos ejes coordenados, tomando como datum o referencia el escurrimiento medio mensual del río, esto es la unidad o un 100%. En las abscisas, se representan los tiempos transcurridos desde la fecha inicial enero de 1958, y el período considerado se extiende hasta diciembre

1971. Se uso como unidad de tiempo el mes. El eje coordenado se representa los porcentajes de volúmenes acumulados.

Tomando como base el volumen medio mensual igual a $56.81 \times 10^6 \text{ m}^3$, se calculan las diferencias algebraicas entre el volumen base y las aportaciones mensuales y se calcula el % por encima o por debajo de la media, con su signo respectivo, estas diferencias acumuladas (Anexo N° 20) son las ordenadas del diagrama, representado en el Anexo N° 19.

El diagrama representa las fluctuaciones del volumen acumulado por la creciente con relación a los volúmenes que durante el mismo tiempo habría acumulado el volumen constante de $56,87 \times 10^6 \text{ m}^3$ que se tomo como base las fluctuaciones correspondientes al período observado, el cual se supone se repetirá cíclicamente, o sea, se calcula la capacidad máxima de un embalse que funcionando desde el 1° de enero de 1958, hubiera trabajado durante los 14 años siguientes con la máxima eficiencia suponiendo que en los períodos subsecuentes se repite otro tanto. El análisis del diagrama de masa del escurrimiento por diferencia, se supusieron las extracciones correspondientes al 95; 90; 80; 70% del aporte medio anual y se dedujeron las capacidades necesarias para que no ocurran déficit. Para ello se dibujó la escala de pendiente, (indicada en el lado superior derecho del diagrama) tomando como base el volumen medio escurrido durante el período determinado.

$$X = 682,4 \times 10^6 \text{ M}^3$$

Para el período de un año, corresponde un escurrimiento me-

dio de 682.4 millones de m^3 , a una rata constante de $21.6 m^3/seg$ (gasto medio para el período). Cada línea inclinada corresponde al porcentaje de extracción del gasto indicado, así la recta horizontal representa el gasto medio ($21.6 m^3/seg$); la recta del 95%, indica para un gasto constante de $20.5 m^3/seg$, se regulan 34.10 millones de m^3 menos que lo indicado por la recta horizontal.

Cada una de estas rectas se lleva a cada uno de los picos del diagrama y se miden las distancias desde la recta a las depresiones del diagrama, hasta encontrar la máxima distancia, lo cual indica el volumen de almacenaje necesario para regular el caudal representado por la recta.

2.11 Gráfico de Extracción Constante-Almacenamiento Util.

Con los gastos regulados en el eje de las abscisas y las capacidades de vaso requeridas para regular los gastos en el eje de las ordenadas, se obtiene el gráfico de extracciones en % vs capacidades útiles, presentado en la parte inferior-izquierda.

Las curvas de capacidad extracción se divide en dos partes una desde 0 a un punto de quiebre agudo, en la cual a un incremento de aproximadamente 110×10^6 de la capacidad útil corresponde un incremento del 5% caudales y la otra desde el punto de quiebre, tomando para el mismo aumento en la capacidad un incremento superior en los caudales regulados, por lo cual las capacidades económicas estan cerca del punto de quiebre.

Procesamiento:

A los efectos del cálculo, se usaron los programas señalados en la referencia N° 11 y 12, elaborados en la División de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas, cuyas salidas se indican en el Anexo N° 20.

2.12 Creciente Máxima Probable

La creciete máxima probable, será el resultado de aplicar al hidrograma típico de la cuenca, la lámina efectiva para la duración del hidrograma generadas durante la ocurrencia de la lluvia máxima probable.

Calculando las potenciales de las diferentes tormentas, determinando los valores máximos de intensidad y duración de lluvia sobre el área, conociendo los límites y la probable lluvia resultante, se proporciona un punto inicial para la estimación de la avenida máxima probable.

2.12.1 Precipitación Máxima Probable

Los valores máximos probables de lluvia, se definen como la envolvente de los valores de máxima intensidad y duración obtenidas de las tormentas acaecidas o transpuesta sobre la cuenca.

Las estimaciones de las lluvias máximas probables se basan en el análisis de transposición física y maximización de las tormentas acaecidas, generalizando en tres etapas:

- a) Determinación de la distribución superficial y con respecto al tiempo de las mayores tormentas registradas en el área (curva lámina-área-duración).

RIO MORADOR
ESTUDIO HIDROLOGICO

MAXIMIZACION DE TORMENTAS
CALCULO DEL FACTOR DE AJUSTE POR HUMEDAD

FECHA	Td °C OBSERVADO		Td °C MAXIMO PERSISTENTE		Td OBSERVADO °C CORREGIDO A 1000 mb		Td MAX. PERSISTENTE °C CORREGIDO A 1000 mb	
	SN. FNDO.	BARO.	SN. FNDO.	BARO.	SN. FNDO.	BARO.	SN. FNDO.	BARO.
21/22/6/63	23.6	-	27.2	27.1	(24)	-	27.5	29.3
29/30/5/64	-	20.4	27.2	27.1	-	23	27.5	29.3
17/11/65	-	20.7	27.2	27.1	-	23.2	27.5	29.3

ESTUDIO HIDROLOGICO RIO MORADOR
CALCULO FACTOR DE AJUSTE POR HUMEDAD (FH)

Cuadro N° 7

FECHA	AGUA PRECIPITABLE OBSERVADA (mm.)		DIFERENCIA PARA W OBS. 15000-800	AGUA PRECIPITABLE MAXIMA		DIFERENCIA PARA W MAXIMA	FACTOR DE AJUSTE POR HUMEDAD
	800ms.n.m.	1500ms.n.m.		800	15.000		
21-22/6/63	16.2	75.3	59.1	20.0	102.0	82.0	1.38
29-30/5/64	15.3	69.0	53.7	22.2	118.9	96.7	1.80
17/11/65	15.5	70.3	54.8	22.2	118.9	96.7	1.76

①

②

③

③ = ② / ①

- b) Incrementando hasta su límite superior máximo, los valores observados de cada tormenta, tomando en cuenta la humedad observada en relación a la máxima que pudiera asociarse en una tormenta semejante es decir, una relación entre el potencial máximo de humedad y la carga de humedad de la masa de aire que afluye con la tormenta (maximización).
- c) Considerando la transposición física de tormentas o las cuencas con menos tiempo de registro, con la misma probabilidad de ocurrencia de fenómenos meteorológicos y con características orográficas semejantes.

2.12.2 Tormentas Seleccionadas

De la publicación informe técnico N° 2, de la División de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas, se tomaron las tormentas acaecidas durante las fechas siguientes: 21-22/06/63; 29-30/05/64 y 17/11/66 sobre la cuenca superior central del río Portuguesa, según lo indicado en los Anexos N°s 21, 22 y 23, observándose su distribución superficial y el análisis de intensidad-área-duración y su ubicación física.

2.12.3 Transposición

Las diferentes tormentas observadas se transponen físicamente sobre la subcuenca del río Morador, según lo indicado en el Anexo N° 24, observando una restricción en el patrón isoyético limitado a unos 20° con respecto a su orientación original.

Se determina la lluvia total producida en la cuenca por la tormenta observada, sin determinar su distribución en el tiempo.

Para la duración total de la lluvia y el área de la cuenca, se obtienen de la curva lámina-área-duración, la distribución en el tiempo de la lluvia sobre la cuenca.

La tabulación y cálculo de lo anterior, determinado en el Cuadro N° 8, nos da el valor del factor de aporte por cuenca, según lo siguiente:

$$\text{Factor de cuenca} = \frac{\bar{P}_1 \text{ (transpuesta)}}{\bar{P}_2 \text{ (tormenta)}}$$

\bar{P}_1 (transpuesta) = precipitación media, calculada del mapa isoyético de la tormenta transpuesta sobre la cuenca.

\bar{p}_2 (tormenta) = precipitación media para el área de la cuenca, obtenida de la curva lámina-área-duración.

2.12.4 Maximización

La maximización nos determina un factor de ajuste por humedad de acuerdo a la relación entre el agua máxima precipitada y el valor del agua precipitable observada, obteniendo los valores registrados de temperatura de rocío para la fecha de la tormenta y el punto de rocío máximo observado durante el tiempo de registro, estos valores se corrigen al nivel del mar (1000 milibares) y se adopta una amplitud de barrera entre los 800 y 1500 m.s.n.m. para estas altitudes y los valores correspondientes a la temperatura de rocío corregidas a 1000 milibares, se obtienen de la referencia N° 5, los valores de agua precipitable para cada tormenta.

En el Cuadro N° 6, se indica la tabulación y cálculo para el factor de ajuste por humedad obtenido según la siguiente relación:

$$\text{Factor de Humedad} = \frac{W_p \text{ máxima}}{W_p \text{ observada}}$$

W_p máxima = agua máxima precipitable

W_p observada = agua precipitable observada

2.12.5 Tormenta Maximizada

Los valores característicos para el área de la cuenca de la curva área-lámina-duración de cada una de las tormentas, se le aplican los valores obtenidos para los factores de ajuste por cuenca y humedad, obteniendo los resultados indicados en el Cuadro N° 9.

CUADRO Nº 8

RIO MORADOR
ESTUDIO HIDROLOGICO
FACTOR DE AJUSTE POR CUENCA

Area: 611 Km.²
Duración 6 horas

FECHA	PRECIPITACION TORMENTA	PRECIPITACION TORMENTA TRANSPUESTA	FACTOR DE AJUSTE por CCA
21-22/6/63	82.0	82.0	1.00
29-30/5/64	132.0	130.5	0.98
17/11/65	112.0	102.0	0.90
①	②	③	④

Para maximizar e. tor-
menta, se ha tomado el
área del morador (611),
en la curva LAD
de la tormenta, los valores
de precip. para diversas
duraciones y se
multiplican por los
factores de ajuste de
Cuadro 9.

TORMENTA MAXIMIZADA

DURACION (horas)	LLUVIA (mm)
0	0
1	93
2	130
3	145
6	163
9	182
12	189

Se puede maximizar
una sola tormenta.
Si se transponen esas
como es este caso
3), después de dar origen cada
una se dibujó una curva
de masa y se hizo una
insolvente para la CCA
del Morador, que es este
Cuadro.

Estos cuadros para puntos,
la PMP de la cual se
toma la longitud para
la duración que se
desea. En este caso

2 horas

- Col. 2 - precip. media para area cea. del morador de la
la curva LAD de la Tormenta
- Col 3 - Precip. media calculada del mapa yorquitas de la
tormenta con una cota de 600 m.

CUADRO N° 9

MAXIMIZACION DE TORMENTAS
TORMENTAS MAXIMIZADAS
en caa. del noroeste

692

Fecha: 21/22/06/63

Area de la cuenca = 611 Km²

Duración (horas)	LL real (mm)	LL max. (mm)
0	0	0
1	30.5	53.8
3	68.0	112.5
6	76.0	134.1
12	85.0	144.6
18	87.0	153.5
24	93	164.0
①	②	③

③ = ② × f_c × f_H

F_c = .98
F_H = 1.80 - 1.78

F _c = FACTOR DE AJUSTE POR CUENCA
F _H = FACTOR DE AJUSTE POR HUMEDAD

Fecha: 29/30/05/64

1	20.	27.6
2	32.7	34.1
3	50.0	69.0
6	92.	126.9
9	127.	175.3
12	134	184.9

F_c = 1.
F_H = 1.38 - 1.80

Fecha: 17/11/65

0	0.0	0.0
1	46.0	72.9
2	78.0	125.1
3	92.0	145.7
6	105.0	166.3
12	113.0	179.0

F_c = .90
F_H = 1.76

La tormenta maximizada, será el resultado de los envolventes de los valores máximos intensidad-duración anteriores, Anexo N° 25.

2.12.6 Hidrograma de la Creciente Originada por la P. M. P.

Para la lámina efectiva de dos horas 130 mm, correspondiente a la tormenta maximizada, se le aplica al hidrograma unitario de la cuenca para esa misma duración, se obtendrá las ordenadas del hidrograma de la creciento que originaría la precipitación máxima probable, en el Anexo N° 26, se indican los valores y el gráfico del hidrograma total, siendo sus valores característicos los siguientes:

$$\text{Pico máximo} = 3.094 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Volumen} = 79.45 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Duración Hidrograma} = 2 \text{ Horas}$$

$$\text{Lluvia Efectiva para 2 horas} = 130 \text{ m.m.}$$

$$\text{Pico Hidrograma Unitario} = 23.8 \text{ m}^3/\text{seg.} \times \text{mm.}$$

$$Q_{ui} = \frac{Q_{si}}{L_E}$$

$$L_E = 130 \text{ mm}$$

$$Q_{ui} = 23.8 \text{ m}^3/\text{seg.}/\text{mm.}$$

$$Q_{si} = 23.8 \times \text{m}^3/\text{mm} \times \text{seg} \times 130 \text{ mm.}$$

$$Q_{si} = 3.094 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

cada ordenada del hidrograma unitario se multiplica, por la lámina de 130 mm y nos da los valores para trazar el hidro-

grama de la creciente máxima probable.

Q_{si} = pico de la creciente máxima probable

Q_{ui} = pico del hidrograma unitario

LE = lámina efectiva

2.13 Análisis de Frecuencia

El análisis de frecuencia se usa para seleccionar por medio de procesos estadísticos, las condiciones para Diseño de Obras Hidráulicas y para Análisis Económicos de Proyecto de Control de Avenidas. En el primer caso permite escoger el grado de seguridad requerido, así como el de preparar la curva de frecuencia.

Una curva de frecuencia es un gráfico que muestra las relaciones entre la magnitud del evento y la probabilidad de su ocurrencia. Existen varios métodos para preparar las curvas de frecuencias, en este estudio se aplican:

- 1° El método de Gumbel, el cual hace uso de la distribución de valores extremos, para establecer el período de retorno que indica el intervalo medio entre sucesos iguales o mayores que una magnitud dada, o la probabilidad de que el evento ocurra en un año cualquiera.
- 2° Método de Hanzen, basado en que todas las distribuciones siguen una ley básica de probabilidades, ya que pueden ser expresado en términos matemáticos. Para determinar la forma de una curva de frecuencia, es preciso conocer dos parámetros:

C_v : coeficiente de variación para indicar la dispersión de la curva y

C_s : coeficiente de oblicuidad para indicar el sesgo de la curva. Estos coeficientes se calculan a partir de los datos básicos, y así es posible determinar para una serie de datos, el tipo de curva de frecuencia que teóricamen

te puede corresponder a los datos.

- 3° Se analiza el método de promedio y totales cabalgantes, para la determinación de los valores máximos y mínimos de las fluctuaciones por debajo y por encima del valor medio a fin de aplicar el método de Gumbel, para la evaluación de las curvas de frecuencia de volúmenes máximos y mínimos.

2.13.1 Método de Totales Cabalgantes

Se basa en que dado un conjunto de valores (datos) $Y_1; Y_2; Y_3; \dots; Y_n; \dots$; se define un movimiento de orden N al que viene dado por la sucesión de medias aritméticas.

$$\frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{N} \quad \frac{Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{n+1}}{N}, \text{ etc.}$$

la suma de los numeradores se denominan totales cabalgantes de orden N .

Si los datos, son dados anual, mensualmente se llama cabalgantes medios de orden N a un movimiento de N años o promedio cabalgante de N meses respectivamente.

Los promedios cabalgantes tienen la propiedad de tender a reducir la cantidad de variaciones presentes en un conjunto de datos.

En el caso de serie de tiempos, esta propiedad se usa de menudo para eliminar las fluctuaciones no deseadas y el proceso se llama suavización de series de tiempo.

2.14 Frecuencia de Esguerramiento Anual

La curva de frecuencia de esguerramiento anual (Anexo N° 12) muestra que, durante cada año, hay un 86% de posibilidad de que el

escurrimiento esté comprendido entre los 500 y 1100 millones de $m^3/año$.

Se calculó la curva de frecuencia para escurrimiento anual, según el método de Hanzen (Referencia N° 3), para lo cual, se tabulan los valores de aporte en orden descendente de magnitud y se obtienen las posiciones de ploteo, para el cálculo de probabilidades, de una serie de 14 términos (Tabla N° 5, Pág. 94, Ref. 3). La columna N° 5 es la relación de los valores ordenados de los aportes con respecto al promedio aritmético ($682.4 \times 10^6 m^3$).

Las columnas 6 y 8 se completan haciendo los cálculos allí indicados. Se calculan los valores del coeficiente de variación y el coeficiente de oblicuidad, de acuerdo a las ecuaciones indicadas en el Anexo N° 27, con el valor del coeficiente de oblicuidad (CS) igual a 1.83, en la Tabla N° 4 de la Ref. 3, se obtienen los valores de la columna 11. Las columnas siguientes se completan de acuerdo a los cálculos allí indicados. Las columnas 13 y 14 nos definen los valores calculados para una curva que debe servir para los datos de la columna 5 y 6 respectivamente.

Se plotean en papel de probabilidad los valores indicados en la columna 10, en función de los valores de la columna 13, obteniéndose la curva indicada en el Anexo N° 28.

2.14.1 Determinación de la Frecuencia de Crecientes del Río Morador en Puente Morador.

Para la determinación de la frecuencia de crecientes,

se aplicó el método estadístico de los valores extremos de Gumbel a los gastos instantáneos máximos correspondiente a un período de 13 años.

De los Anuarios Hidrométricos publicados por la División de Hidrología del Ministerio de Obras Públicas, se obtuvieron los gastos máximos instantáneos ocurridos en el río Morador en la estación Puente Morador.

En el Cuadro N° 13 se dan los gastos máximos correspondientes al período con los cuales se determinó la frecuencia de la creciente.

En el Anexo N° 29 se indican los valores para los distintos períodos de retorno y la curva de frecuencia de creciente.

2.14.2 Frecuencia de Volúmenes Míminos

Con el objeto de obtener las curvas de sequía, correspondientes, se hizo un análisis de frecuencia de volúmenes míminos.

A tal efecto, se sometió la serie de datos S (13 años de registro) en sus valores mensuales, al método de promedios cabalgantes (movimiento promedio de la serie) en la siguiente forma:

Comenzando con los primeros N meses consecutivos, y, calculando su volumen medio mensual, se desplaza un mes el período de N meses, cada vez, para calcular los subsiguientes volúmenes medios mensuales; obteniéndose así 12 S-N promedios cabalgantes.

A la nueva serie de valores, anteriormente obtenida, se le calcula su media aritmética simple; eliminando posteriormente de la serie, todos aquellos valores que resultaren iguales o mayores a la media calculada.

De la serie depurada, se seleccionan los valores míminos de las fluctuaciones, obviamente por debajo de la media ya calculada, como eventos independientes.

Con la serie parcial resultante, se construye una serie anual, tomando el promedio cabalgante mínimo de cada

año; calculándosele a esta nueva serie anual las probabilidades de ocurrencia y sus períodos de retorno. Estos resultados se plotean en papel log-probabilístico. (Ver Gráfico de Anexo 30)

2.14.3 Frecuencia de Volúmenes Máximos

Se trata de obtener la frecuencia de aportes máximos, factor importante para el diseño de cualquier obra hidráulica, para ésto, se construye la serie anual con las máximas fluctuaciones de los totales cabalgantes por encima de la media, para intervalos de 1 mes, 2 meses, hasta 12 meses consecutivos de duración del análisis.

Obtenida la media para estos totales cabalgantes, se eliminan aquellos valores menores e iguales a la media, tomando la serie anual formada de los valores máximos de los totales cabalgantes por encima de la media y se calcula la probabilidad de ocurrencia (resultado en Anexo N° 31).

2.14.4 Procesamiento

A los efectos del cálculo se usaron para el análisis de frecuencia de volumen máximos y mínimos y el análisis de frecuencia de gastos máximos programas para computadora IBM-1620, elaborado en la División de Hidrología (MOP), los cuales emplean las técnicas de evaluación definidas.

Datos de Entrada:

Volúmenes mensuales

Gastos máximos instantáneos para cada año período de registro.

Efectúan:

1º Método de Gumbel, basado en el análisis de mínimos cuadrados.

2º Frecuencia de volúmenes máximos y mínimos.

Salidas: Valores para trazar curvas de frecuencia.

PARTE C

3. PLANIFICACION PRELIMINAR DE LOS RECURSOS DISPONIBLES

3.1 Evaluación de la Disponibilidad de Agua para Riego y Control de Creciente.

Las condiciones de disponibilidad de agua, resultado de Estudio Hidrológico en la Cuenca en conjunto con otros Recursos Regionales presentes, indican circunstancias favorables para un Plan Preliminar de Aprovechamiento del Recurso que llene los requerimientos de la demanda del Desarrollo Regional.

Esta alternativa de desarrollo hacen necesario el conocimiento de los requerimientos de agua del proyecto propuesto en función de su magnitud, método de riego, tipo de cultivo, el clima predominante y la provisión de capacidad de almacenamiento en el sistema fluvial que incremente el caudal seguro disponible para riego y las posibilidades de aprovechamiento.

Las alternativas de aprovechamiento integral, se reducen en este estudio a las disponibilidades de agua para riego, efectos de mitigación del embalse para control de inundaciones y recomendaciones para uso hidreléctrico futuro y el acondicionamiento de área para recreo.

3.1.1 Metodología

Interesa establecer las relaciones entre el potencial de riego y las disponibilidades de agua, los efectos de regulación sobre crecientes por el embalse a partir del conocimiento de las características hidrológicas de la cuenca, características físicas del sitio de presa y los requerimientos o demandas para satisfacer los diferentes tamaños de proyectos.

A tal fin, mediante un estudio operativo se evalúa la elección de la capacidad de embalse apropiada o requerida para los diferentes tamaños de los proyectos de riego asumido y el efecto de reducción de caudales en crecientes aguas abajo, transitando por el embalse las crecientes para diferentes frecuencias y comparando los hidrogramas de salida con los hidrogramas de las crecientes afluentes.

3.2 Requerimientos de Agua para Riego

Por cuanto la actividad económica regional gira alrededor de la producción agropecuaria, deberemos determinar los requerimientos de agua asociados, y cuanta tierra puede ser regada con el agua disponible.

Con relación al primer punto, definimos los siguientes términos a utilizar:

a) Requerimiento de Riego o Demanda Neta de Riego (DNR)

Cantidad de agua que se debe entregar mediante riego a la tierra para asegurar la producción de los cultivos.

b) Eficiencia de Riego

Porcentaje del agua de riego entregada a los cotes de terreno, que permanece en la zona de raíces y esta disponible para el desarrollo de la planta. Para esta región se asume entre el 30 al 50%.

c) Demanda Bruta de Riego (DRB)

Volumen de agua requerido para abastecer la demanda neta mas las pérdidas que ocurren durante la aplicación del agua a los lotes de terreno y las pérdidas precedentes en los procesos de conducción y distribución del agua desde la derivación hasta los campos cultivos.

La determinación de los requerimientos de agua para riego,

CUADRO N° 10

E.T.P. CALCULADA PARA COEFICIENTE EVAPORIMETRICO = 0.80

Período 53-72 Estación: Guache Hda.

Mes	Evaporación	ETP
Enero	178.8	143.
Febrero	195.0	156
Marzo	242.5	194
Abril	191.2	153
Mayo	133.8	107
Junio	108.8	87
Julio	116.2	93
Agosto	132.5	106
Septiembre	125.0	100
Octubre	127.5	102
Noviembre	127.5	102
Diciembre	147.6	118

esta relacionado con la estimación del uso consuntivo o evapotranspiración potencial, el cual es una función de las características locales de clima-suelo y del tipo de cultivo, y a la precipitación efectiva disponible, función a su vez de la capacidad de retención del suelo. Estos valores esta integrado mediante el Balance Hidrológico.

3.2.1 Determinación del Balance Hídrico

Mediante el Balance Hídrico, se determinan los requerimientos de agua conocidas las necesidades de agua, se desarrollo mediante el método C.W. Thornthwaite, utilizando los datos de evaporación y lluvia característicos.

3.2.1.1 Estimación de la Evaporación Potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, se aplicó un coeficiente de 0.8, a los datos de evaporación mensual para el período 1958-1971, obtenido en la estación Guache Hacienda.

Los resultados obtenidos, representan el uso consuntivo, en el Cúndro N° 14, se presenta los valores de ETP promedio para el período 1952-1972.

3.2.1.2 Procesamiento

A los fines del cálculo se procesó la información con el programa: "Balance" (Referencia N° 15) para computadora IBM-360.

Datos Suministrados:

Lluvia mensual para el período 1958-1972.

Evaporación mensual para el mismo período.

Coficiente evaporimétrico = 0.80

Capacidad de campo = 150 mm

(asumida de acuerdo a valores obtenidos según la referencia N° 15).

CUADRO N° 11

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL BALANCE HIDRICO
TOTALES DE DEMANDA NETA DE RIEGO M.M
PARA PERIODO 1958-1972

AÑO	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL
1958	17	133	149	142	76	0	517
1959	1	180	181	167	137	0	661
1960	0	80	138	177	0	0	395
1961	0	0	155	174	53	108	490
1962	0	130	148	112	182	0	572
1963	0	103	161	153	71	0	488
1964	0	123	164	218	43	0	548
1965	0	104	117	229	212	0	662
1966	0	6	168	186	36	0	396
1967	0	76	159	219	0	0	454
1968	0	150	171	238	96	0	657
1969	0	14	112	147	0	0	273
1970	0	0	56	169	67	0	292
1971	0	28	137	199	56	0	420
1972	0	0	45	146	0	0	191
Total	20	1127	2061	2677	1025	108	7016
Promedio	1	75	137	178	68	7	468

CUADRO N° 12

VALORES DEL REQUERIMIENTO DE RIEGO PARA DIFERENTES ALTERNATIVAS

AREA = 5.000 Has.		DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	ANUAL
L. N	(mm)	1.	75	137	178	68	7	466
DNR	(10 ⁶ m ³)	.05	3.8	6.9	8.9	3.4	.4	23.3
DBR	(10 ⁶ m ³)	.16	11.4	23.	29.7	11.3	1.3	77.7

AREA = 10.000 Has.

L. N	(mm)	1	75	137	178	68	7	466
DNR	(10 ⁶ m ³)	.10	7.6	13.8	178	6.8	.8	46.6
DBR	(10 ⁶ m ³)	.32	22.8	46.	59.4	22.6	2.6	155.4

AREA = 15.000 Has.

L. N	(mm)	1	75	137	178	68	7	466
DNR	(10 ⁶ m ³)	.15	11.4	20.7	26.7	10.2	1.2	69.9
DBR	(10 ⁶ m ³)	.48	34.2	69.	89.1	33.9	3.9	233.1

AREA = 20.000 Has.

L. N	(mm)	1	75	137	178	68	7	466
DNR	(10 ⁶ m ³)	0.20	15.2	27.6	35.6	13.6	1.6	93.2
DBR	(10 ⁶ m ³)	.64	45.6	92.	118.8	45.2	5.2	310.8

AREA = 25.000 Has.

L. N	(mm)	1	75	137	178	68	7	466
DNR	(10 ⁶ m ³)	0.25	19.0	34.5	44.5	17.0	2.0	116.5
DBR	(10 ⁶ m ³)	.80	57.0	115.	148.5	56.5	6.5	388.5

AREA = 30.000 Has.

L. N	(mm)	1	75	137	178	68	7	466
DNR	(10 ⁶ m ³)	0.30	22.8	41.4	54.3	20.4	2.4	139.8
DBR	(10 ⁶ m ³)	.96	68.4	13.8	178.2	67.8	7.8	466.2

L.N = Lámina Neta de Riego

DNR = Demanda Neta de Riego

DBR = Demanda Bruta de Riego

Efectua:

Balance hidrológico por el Método de Thornwaite.

Salida:

Demanda neta de riego

Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo N° 34.

En el Cuadro N° 11, se presenta los valores de requerimiento promedio para el período 1952-1972, para diferentes alternativas de áreas regables, para los meses de sequía y considerando un 50% de pérdidas por aplicación a los terrenos y 0.2 por conducción desde el embalse.

3.3 Características Óptimas de Almacenamiento en Embalse para Diferentes Alternativas de Riego.

La discusión en este punto es como establecer una relación entre el potencial de riego estimado y el volumen de almacenamiento de un embalse, es decir, hacer las determinaciones a partir del caudal disponible, demanda de agua probable y las eficiencias de riego asumidas de las capacidades óptimas de embalse apropiadas a los requerimientos de agua para riego de las diferentes alternativas en el proyecto.

Las características del diagrama de masa para el escurrimiento, discutido en el aparte 2-11, nos permite determinar la capacidad de almacenamiento requerida para una extracción constante, en este punto de la discusión se hace necesario establecer una optimización de la capacidad de almacenamiento anual adaptada a los rendimientos garantizados requeridos del embalse para cubrir las demandas anuales, de

los distintos tamaños del proyecto de riego.

Los valores de capacidad se usarán para realizar un análisis de riesgo para las diferentes eficiencias de riego. La relación entre el almacenamiento de embalse y los requerimientos garantizados, para los diferentes tamaños del proyecto de riego, se representa en un gráfico (Anexo N° 35) en la cual la escala horizontal representa la alternativa de riego en hectáreas y en la escala vertical-volumen-almacenamiento útil en 10^6 m^3 asumiendo:

Un riesgo del 20%, es decir caudal seguro durante un 80% del tiempo y las eficiencias de riego extremas.

3.4 Optimización de Capacidad de Embalse

Los métodos comunes para analizar las relaciones entre aporte, extracción y capacidad de almacenamiento, son derivados de la contribución de Rippl, cuyo procedimiento aparece en las literaturas standar de suministro de agua. El método de Rippl, basado en el diagrama de masa, asume que entradas y salidas son funciones conocidas del tiempo. Dando el mínimo almacenamiento efectivo requerido tal, que no ocurran déficits de agua dentro el período de tiempo bajo consideración. El método adolece de tres fallas principales:

1. El análisis se basa solamente en los registros históricos, y es improbable que la misma secuencia de flujo ocurra durante la vida activa de la estructura.
2. El diagrama de masa no permite al diseñador establecer o calcular el riesgo que corre con respecto al déficit de agua du -

rante los períodos de gasto bajo.

3. La longitud del registro histórico, probablemente, es diferente de la vida económica de la estructura propuesta, y como la capacidad de almacenamiento obtenida por el método de Rippl crece con la longitud de registro, esta capacidad seguramente será incompatible con un diseño basado en la vida económica, la cual está apropiadamente determinada por consideraciones sociales y económicas, así como por consideraciones puramente físicas del proyecto.

Considerando los puntos anteriores se procedió a utilizar un método alternativo que evite estos defectos y que conduzca a soluciones que permitan al diseñador establecer una política de decisión en base a análisis de factibilidad.

La base fundamental del procedimiento es el algoritmo de secuencia de picos de Thomas (6) con una ligera modificación en lo referente a la longitud (T) de la secuencia de variables (aporte y extracción). El algoritmo se fundamenta en "dado un registro de escurrimiento de período T en el sitio propuesto para una presa y dada las extracciones para T-períodos, se requiere calcular la capacidad mínima de embalse tal que no ocurra deficiencia en la extracción, si ésta y los aportes se repiten en una progresión cíclica, de ciclos de T períodos cada uno".

La solución propuesta por Thomas sólo requiere dos ciclos y es equivalente a una solución de programación lineal para la optimización del patrón de derrame W_i . El algoritmo es aplicado a varias tasas de extracción y en cada caso el embalse se vacía por lo menos una vez en el intervalo $1, 2, \dots, T$.

Si llamamos (X_i) los aportes y (D_i) el patrón de demanda, el

CUADRO N° 13

RIO MORADOR EN PUENTE MORADOR
DATOS HISTORICOS

VALORES DEL GASTO MAXIMO INSTANTANEO

Año	Qmax
1958	515.
1959	480.
1960	341
1961	355.
1962	704
1963	353
1964	389
1965	450.
1966	495
1967	346
1968	487
1969	395
1970	962
1971	806.

procedimiento de cálculo se resume en:

1. Calcular: $X_i - D_i$, para todo $i = 1, 2, \dots, 2T$, y el aporte neto acumulado $(X_i - D_i)$ para $t = 1, 2, \dots, 2T$.
2. Localizar en la serie anterior el primer pico, P_1 , (máximo local) y el siguiente, P_2 , de magnitud mayor que el primero.
3. Entre ellos buscar la depresión más baja en la serie (mínima local), T_1 , y calcular $P_1 - T_1$.
4. Comenzando con P_2 , localizar el siguiente pico, P_3 , de magnitud mayor que P_2 , y la depresión más baja, T_2 , entre P_2 y P_3 . Calcular $P_2 - T_2$.
5. Continuar el procedimiento para toda la secuencia de picos en la serie de $2T$ períodos.
6. El tamaño requerido de embalse será $S_m = \max (P_j - T_j) = P_m - T_m$.
7. El programa de derrames es ahora identificado. El embalse llegará vacío en el momento de la ocurrencia de la mínima depresión, T_m , entre el par de picos secuentes P_m y P_{m+1} . El índice m , necesariamente no se identifica con el máximo pico o la mínima depresión, sino se asocia con la máxima diferencia, $P_j - T_j$.
8. El almacenamiento S_i , al final de período i -ésimo (mes o estación) y el flujo derramado durante éste, pueden calcularse por medio de las relaciones:

$$S_i = \min \left\{ S_m, [S_{i-1} + (X_i - D_i)] \right\}$$

$$W_i = \max \left\{ 0, [(X_i - D_i) - (S_m - S_{i-1})] \right\}$$

$$S_m = \max (P_j - T_j)$$

CUADRO N° 14

CALCULO CAPACIDAD DE EMBALSE

OPERACION MENSUAL

Rendimiento mill m ³	Regulación %	Extracción mill m ³	Almac. mill m ³
56,87	100,00	56,87	652,21
56,87	95,00	54,02	543,23
56,87	90,00	51,18	457,98
56,87	85,00	48,34	382,18
56,87	80,00	45,49	328,16
56,87	75,00	42,65	274,14
56,87	70,00	39,81	240,98
56,87	65,00	36,96	218,23
56,87	60,00	34,12	195,48
56,87	55,00	31,28	172,73
56,87	50,00	28,43	152,64
56,87	45,00	25,59	132,74
56,87	40,00	22,75	113,68
56,87	35,00	19,90	96,64
56,87	30,00	17,06	79,58
56,87	25,00	14,22	62,52

3.4.1 Procesamiento

El método señalado, algoritmo de secuencia de pico de Thomas, se procesó con una modificación al programa Alsepi, Referencia N° 13.

Datos de Entrada para el Programa:

Aportación del río en $m^3 \times 10^6$

Demandas de riego en m.m.

Areas de Riego

Eficiencias de Riego

Efectua:

El algoritmo de secuencia de pico de Thomas.

Resultados:

Capacidad de almacenamiento para cada año del ciclo y las frecuencias de riesgo. (en el anexo N° 32 se presentan estos resultados obtenidos).

Estos valores se plotearon en papel logaritmico-probabilidad, resultando las curvas de riesgos vs capacidad útil ($10^6 m^3$) para cada eficiencia de riego (Anexo N° 33).

Para un 80% de probabilidad y las eficiencias de 30 y 50%, se tomaron los valores de almacenamiento útil (Cuadro N° 17) y se plotearon en papel milimetrado obteniendo el gráfico del Anexo N° 35.

3.5 Características Preliminares del Sitio de Aprovechamiento.

De acuerdo al estudio preliminar efectuado por la Oficina de Planeamiento, Dirección General de Recursos Hidráulicos del Ministerio de Obras Públicas (Referencia N° 1), se escogió el sitio denominado Sitio N° 1 para los efectos del proyecto, ubicado a 3.5 km aguas arriba del puente sobre el río Morador, en jurisdicción de los Distritos

CUADRO N° 15

TABULACION DE LA EFICIENCIA DE RETENCION DE SEDIMENTO EN EL EMBALSE

CAPACIDAD 10 ⁶ m ³	EFICIENCIA DE LA RETENCION		SEDIMENTO ANUAL RETENIDO		INCREMENTO EN EL VOLUMEN 10 ⁶ m ³	AÑOS PARA LLENARSE	
	EN VOLUMEN %	PROMEDIO DEL INCREMENTO %	TON.	10 ⁶ m ³			
74	92						
64	87	.895	597x10 ³	.066	10	15	
54	82	.845	564x10 ³	.062	10	16	
44	80	.810	540x10 ³	.060	10	17	
34	75	.775	517x10 ³	.057	10	18	
24	70	.725	484x10 ³	.054	10	19	
14	60	.650	433x10 ³	.048	10	21	
		TOTALES		0.348		106	
		VOLUMEN TOTAL RETENIDO = .348 x 106 x 10 ⁶ = 37. x 10 ⁶					

CUADRO N° 16

RIO MORADOR EN PUENTE MORADOR

AREA DE LA CUENCA = 611 Km²

REGISTROS DE ACARREO ANUAL

Año	Volumen (10 ⁶ m ³)	Acarreo (10 ³ ton)	Concentración (%)
1962	907,152	836,000	0,092
1963	961,673	357,000	0,037
1964	830,110	982,120	0,118
1965	969,322	394,544	1,714
1966	490,686	183,044	0,037
1967	517,655	152,400	0,029
1968	734,608	827,500	0,112
1970	520,636	135,500	0,026
1971	687,076	615,000	0,090
1972	478,591	221,800	0,046

Guanare y Ospino del Estado Portuguesa.

Al sitio de cierre se llega desde el Pte. Morador por un camino de tierra entrando por el estribo Norte del Puente.

A los efectos de analizar las características, se tomó de la referencia N° 1, las curvas de elevación-área-capacidad, (Anexo N° 36,) construida, planimetrando cada curva de nivel del sitio de embalse, el incremento de almacenamiento, se calcula multiplicando el promedio de las áreas entre dos elevaciones por la diferencia entre las elevaciones.

3.5.1 Sedimentación en el Vaso de Almacenamiento

La planificación de un vaso de almacenamiento, debe incluir la consideración de la intensidad o ritmo probable en la acumulación de sedimentos, con objeto de determinar si la vida útil del embalse será suficiente para garantizar su diseño y construcción.

La velocidad de reducción de la capacidad de un embalse por sedimentación depende de: a) la aportación de sedimentos; b) la capacidad de retención del embalse y c) la densidad del sedimento retenido.

Las aportaciones de sedimentos anuales obtenidas de las mediciones en la estación fluviométrica Puente Morador, nos permiten definir la relación acarreo anual vs volumen de escorrentía, indicado en el Anexo N° 39, para el valor medio anual de largo período del escurrimiento, calculado en $682 \times 10^6 \text{ m}^3$, se estima un valor de $580 \times 10^3 \text{ ton}$ producción promedio de sedimento en suspensión por año para el cálculo del acarreo total, se considera para un largo período las aportaciones o carga de sedimento no medido sea aproximadamente un 15% del total en suspensión, en el Cuadro N° 15 se presentan la tabulación y resultado obtenido para el acarreo total en ton/años y el volumen de aportaciones sólidas tomando el valor de 0.9 ton/m^3 como peso específico del sedimento

retenido.

Cuando la información de sedimento puede compararse con la afluencia de sedimento medido, es posible determinar la eficiencia de retención de sedimento del embalse, definida como el porcentaje de aportación que queda retenido en un embalse y es una función de la capacidad del embalse y el volumen de escurrimiento anual de largo período, en el Anexo N° 44, se presenta la curva de la relación capacidad-aportación vs sedimento retenido, tomada de la pág. N° 303 de la Referencia N° 5.

Empleando una capacidad inicial de $70,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ en el embalse, el escurrimiento medio anual de $682 \times 10^6 \text{ m}^3$ y la aportación anual de sedimento en 667.000 ton. y un peso específico de $0,9 \text{ ton/m}^3$, se determina la vida probable del vaso de almacenamiento según la tabulación Cuadro N° 15, en la cual para las relaciones capacidad/aportaciones Anexo N° 34, se obtienen los porcentajes de retención, para los promedios de estos %, se tiene en la siguiente columna la cantidad de sedimento detenido en ton y en 10^6 m^3 por año, la columna del tiempo para llenarse, es el resultado de la relación del incremento de capacidad al volumen de sedimento detenido.

Establecemos el período de 106 años para llenarse la capacidad de $74 \times 10^6 \text{ m}^3$, a partir de lo anterior podemos establecer a los efectos del proyecto, la vida útil en un período de 100 años y la capacidad de operación mínima ó sea la capacidad muerta en $70 \times 10^6 \text{ m}^3$.

3.6. Efectos de Regulación Sobre las Crecientes por el Embalse.

El objeto principal es definir sobre las crecidas máximas los efectos de mitigación del escurrimiento máximo por el vaso de almacenamiento. A tal fin se transitan las crecientes para diferentes frecuencias por el embalse, obteniendo los hidrogramas de salidas.

El método del tránsito se basa en resolver la ecuación de almacenamiento.

$$\bar{I} - \bar{O} = \frac{ds}{dt}$$

siendo \bar{I} = caudal medio entrante

\bar{O} = caudal medio de salida

S = almacenamiento

suponiendo que la media de la caudal al principio y fin de un período de tiempo t (período de elevación) es igual al caudal medio durante el período, se indica el principio con el sub-índice 1 y el fin de período con el sub-índice 2

$$\left[\frac{I_1 + I_2}{2} \right] t - \left[\frac{O_1 + O_2}{2} \right] t = S_2 - S_1$$

conociendo los valores de I_1 e I_2 , O_1 y S_1

hay que determinar los valores de O_2 y S_2

Para el cálculo de un embalse en que la descarga es función de la altura de superficie del agua, conocida la curva de elevación-capacidad y la de descarga por el aliviadero, la ecuación anterior puede transformarse:

$$I_1 + I_2 + \left(\frac{2 S_1}{t} - O_1 \right) = \frac{2 S_2}{t} + O_2$$

La solución de la ecuación requiere una curva de iteración que relacione