

126  
29

---

Facultad de Ingeniería

**Estudio de Transferencia de agua  
Del Alto Usumacinta al Grijalva**

**T E S I S**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO CIVIL**  
p r e s e n t a  
**CARLOS A. PIÑA DEL VALLE**



---

México, D.F.

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I	1
I.1 INTRODUCCION	
CAPITULO II	
PLANEACION DEL APROVECHAMIENTO	5
2.1 GENERALIDADES	
2.2 LOCALIZACION Y CARACTERISTICAS FISICAS DE LA ZONA	7
2.2.1 LOCALIZACION	7
2.2.2 CLIMA	7
2.2.3 HIDROGRAFIA	8
2.2.4 GEOLOGIA	9
2.3 DESCRIPCION DEL PROYECTO	10
CAPITULO III	
MODELO Y SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	16
3.1 GENERALIDADES	16

3.2	FUNCIONAMIENTO DE VASO	20
3.3	MODELO Y SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL SISTEMA	28
3.3.1	SISTEMA ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN	30
3.3.2	SISTEMA CHACTE	55
3.3.3	DETERMINACION DE TIPO, NUMERO Y DIMENSIONES PRINCIPALES DE LAS UNIDADES GENERADORAS	80
CAPITULO IV		
	EVALUACION Y CONCLUSIONES	92
4.1	EVALUACION ECONOMICA	92
4.2	ANALISIS DE ALTERNATIVAS	94
4.2.1	BENEFICIOS	94
4.2.2	COSTOS	96
4.2.3	CONCLUSIONES	104

3.2	FUNCIONAMIENTO DE VASO	20
3.3	MODELO Y SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL SISTEMA	28
3.3.1	SISTEMA ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN	30
3.3.2	SISTEMA CHACTE	52
3.3.3	DETERMINACION DE TIPO, NUMERO Y DIMENSIONES PRINCIPALES DE LAS UNIDADES GENERADORAS	77
CAPITULO IV		
EVALUACION Y CONCLUSIONES		89
4.1	EVALUACION ECONOMICA	89
4.2	ANALISIS DE ALTERNATIVAS	91
4.2.1	BENEFICIOS	91
4.2.2	COSTOS	93
4.2.3	CONCLUSIONES	102

# CAPITULO I

## 1.1 INTRODUCCION

EL TEMA DE ESTA TESIS ES EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO PARA TRANSFERIR AGUA DE LA CUENCA DEL ALTO USUMACINTA A LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA, CON FINES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

EN PRINCIPIO EL PROYECTO SE PRESENTA AUDAZ, SI CONSIDERAMOS LA MAGNITUD DE LAS OBRAS A REALIZAR PARA LLEVARLO A CABO. PERO ANTE TODO SE DEBE CONSIDERAR QUE SU INTERÉS RADICA EN DETERMINAR EL PROBABLE COMPORTAMIENTO DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO AL INCREMENTAR SUS CAUDALES TURBINABLES

POR LA TRANSFERENCIA DE AGUA DE UNA CUENCA A OTRA.

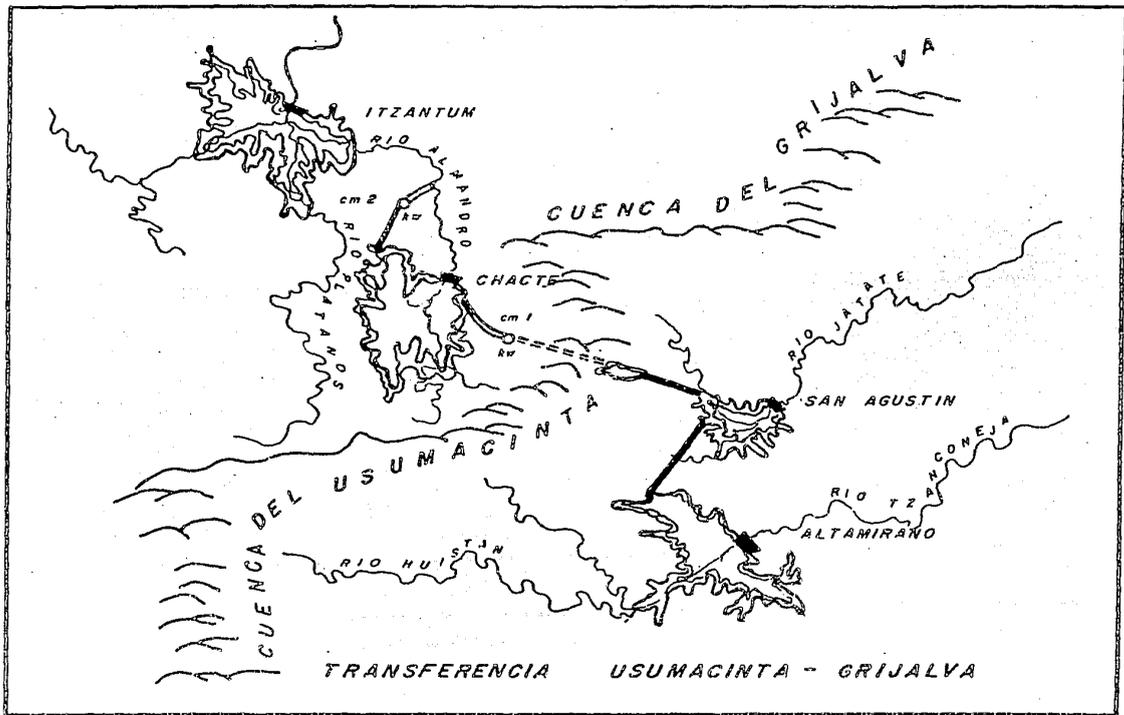
LAS CUENCAS DEL GRIJALVA Y EL USUMACINTA SON DE ESPECIAL INTERÉS DADO QUE EN CONJUNTO INTEGRAN EL SISTEMA HIDRÁULICO MÁS IMPORTANTE DE MÉXICO, YA QUE REPRESENTAN APROXIMADAMENTE EL 30 % DE SUS RECURSOS ACUÍFEROS, Y POR LA IMPORTANCIA DEL SISTEMA HIDROELÉCTRICO DEL GRIJALVA, QUE ESTÁ INTEGRADO POR LAS PLANTAS DE LA ANGSTURA, CHICOASEN, MALPASO Y PEÑITAS, TIENE UNA CAPACIDAD INSTALADA DE 8000 MW. DE TAL FORMA QUE SE JUSTIFICA TODO ESTUDIO QUE IMPLIQUE EL MEJOR APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS DE ESAS CUENCAS Y POR CONSIGUIENTE UNA MAYOR RENTABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA YA INSTALADA.

EL ESTUDIO COMPRENDE LA PLANEACIÓN DEL APROVECHAMIENTO, EL ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA Y LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS BENEFICIOS ESPERADOS EN FUNCIÓN DE

### LAS INVERSIONES A REALIZAR.

LA TESIS SE HA ENFOCADO A LA FORMULACIÓN DEL MODELO QUE REFLEJA EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA QUE INTEGRARÁ EL PROYECTO PARA LO CUAL SE IDEÓ UN MODELO MATEMÁTICO, BASADO EN EL PROCEDIMIENTO TRADICIONAL DE CÁLCULO DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO, EFECTUANDO EL DESARROLLO HIDRÁULICO CON LAS SIMPLIFICACIONES QUE PERMITIERON LAS RESTRICCIONES PROPIAS DEL PROYECTO, CON EL FIN DE INTEGRAR UN MODELO SENCILLO PERO A LA VEZ REPRESENTATIVO.

EL SISTEMA A ANALIZAR ESTARÁ INTEGRADO POR DOS VASOS EN LA CUENCA DEL RIO USUMACINTA Y UNO EN LA CUENCA DEL GRIJAL VA INTERCONECTADOS POR TÚNELES FIG. 1



# CAPITULO II

## PLANEACION DEL APROVECHAMIENTO

### 2.1 GENERALIDADES

LA PLANEACIÓN ES DENTRO DEL CICLO DE UN PROYECTO, -  
TAL VEZ, LA ETAPA MÁS IMPORTANTE, PORQUE ES EN ESTE NIVEL EN  
EL QUE SE DEFINEN Y FIJAN METAS, SE ESTABLECEN CRÍTERIOS Y SE  
PROPONEN POLÍTICAS, QUE PERMITIRÁN EL DESARROLLO DEL PROYEC-  
TO HASTA SU CULMINACIÓN.

EN TODO PROYECTO EXISTE SIEMPRE UN AMPLIO RANGO DE  
SOLUCIONES ALTERNATIVAS, QUE CUMPLEN EN MAYOR O MENOR GRA  
DO CON LOS OBJETIVOS QUE SE BUSCAN. EN GENERAL SE PUEDE DE

CIR QUE LA PLANEACIÓN ES UN PROCESO DE SELECCIÓN PARA OBTENER LA SOLUCIÓN QUE MEJOR CUMPLA CON LOS OBJETIVOS DE UN PROYECTO, APOYÁNDOSE EN LAS CONDICIONES NATURALES DE LA ZONA Y EN LOS RECURSOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS DISPONIBLES PARA SU REALIZACIÓN.

## 2.2 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA.

### 2.2.1 LOCALIZACIÓN

LA ZONA EN ESTUDIO COMPRENDE PARTE DE LAS CUENCAS - DE LOS RÍOS GRIJALVA Y USUMACINTA, REGIÓN QUE ABARCA PARTE DE LOS ESTADOS DE CHIAPAS Y TABASCO EN EL SURESTE DE LA REPÚBLICA MEXICANA, Y CUBRE UNA SUPERFICIE APROXIMADA DE 7 500 KM<sup>2</sup> QUE SE EXTIENDE ENTRE LOS PARALELOS 91° Y 93° DE LATITUD NORTE Y LOS MERIDIANOS 16° 15' Y 17° 30' DE -

LONGITUD ESTE DE GREENWICH.

2.2.2 CLIMA

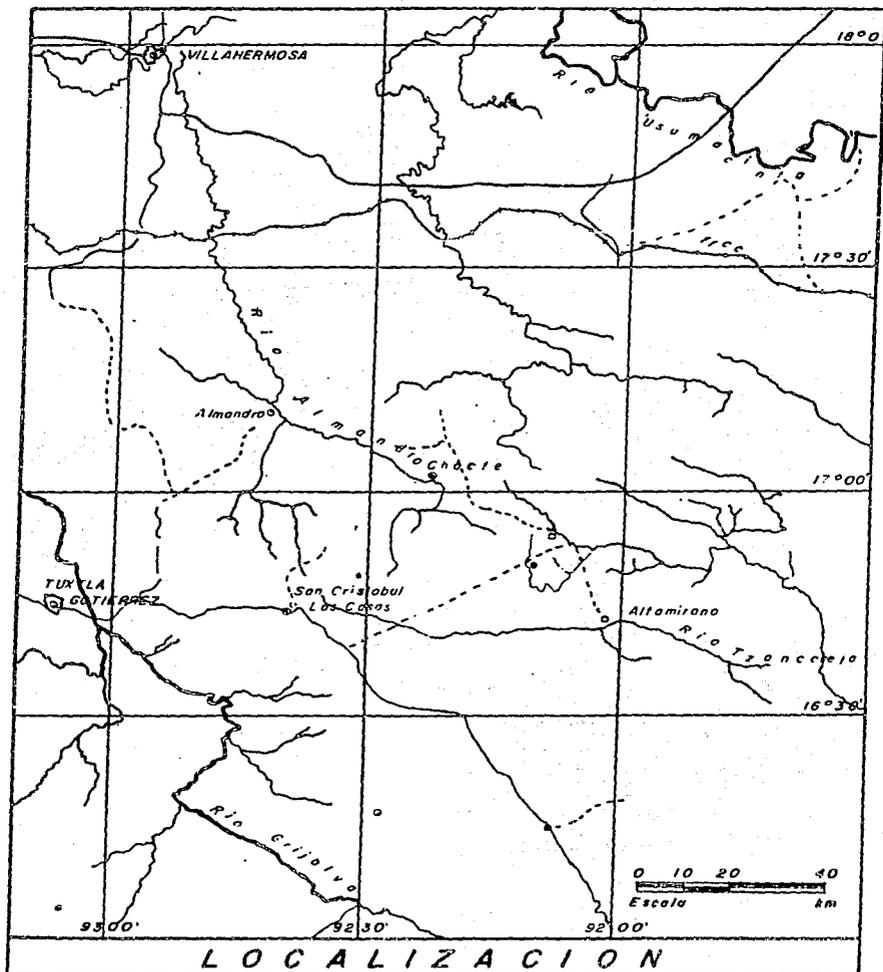
DE ACUERDO CON LA CLASIFICACIÓN DE THORNTHWAITTE LA -  
 REGIÓN TIENE CLIMA CÁLIDO Y HÚMEDO CON ESTACIÓN SECA, LA TEM-  
 PERATURA OSCILA ENTRE LOS 16°C Y 30°C, REGISTRÁNDOSE TEMPE-  
 RATURAS MÁS ALTAS DURANTE EL VERANO. SIN EMBARGO, SE PUEDE -  
 DECIR QUE LA GAMA DE CLIMAS TIENE GRANDES CONTRASTES, TALES -  
 COMO BOSQUES TEMPLADOS EN LA LLAMADA MESETA CENTRAL, QUE IN -  
 CLUYE SAN CRISTOBAL DE LAS CASAS Y BOSQUE TROPICAL DECIDUO HA -  
 CIA EL VALLE DEL ALTO GRIJALVA.

2.2.3 HIDROGRAFÍA

EL SISTEMA HIDROLÓGICO DE LA ZONA SE COMPONE DE VA -  
 RIAS CORRIENTES QUE NACEN EN LAS VERTIENTES DE LA SIERRA DE -

DE CHIAPAS, Y QUE DAN ORIGEN A LOS RÍOS GRIJALVA Y USUMACINTA. EL RÍO GRIJALVA NACE EN GUATEMALA, EN DONDE SE LE CONOCE COMO - CHAJEL, ENTRA A MÉXICO FORMANDO VARIAS CORRIENTES ENTRE LAS - PRINCIPALES ESTAN LOS RÍOS LAGARTERO, DOLORES Y SELEGUA QUE AL CONFLUIR DAN ORIGEN AL RÍO SAN GREGORIO; POR OTRA PARTE EL RÍO SAN MIGUEL BAJA DE LA SIERRA DEL SOCONUSCO Y SE UNE AL SAN -- GREGORIO PARA FORMAR EL RÍO GRIJALVA QUE DRENA UNA CUENCA DE - 60 800 Km.<sup>2</sup> Y UNA LONGITUD DE 700 Km.

EL RÍO USUMACINTA NACE EN LAS MONTAÑAS DEL NORTE DE - GUATEMALA, Y LIMITA EN GRAN PARTE LA FRONTERA DE MÉXICO CON - ESE PAÍS, EL USUMACINTA ES UN RÍO CAUDALOSO, NAVEGABLE EN CERCA DE 500 Km. DE SUS APROXIMADAMENTE 800 Km., DE LONGITUD Y - SU CUENCA CUBRE POCO MÁS DE 61 900 Km.<sup>2</sup>



#### 2.2.4. GEOLOGÍA

LA ZONA ES GRAN PARTE MONTAÑOSA Y SUS SUELOS SE COMPONEN PRINCIPALMENTE DE CALIZAS Y EN MENOR PARTE DE ARENISCAS Y CONGLOMERADOS, EXISTE UNA ZONA DE ANTICLINAL AL NOROESTE - CON UNA PEQUEÑA PORCIÓN DE FALLA CON SUELO DE CALIZA, ARENAS Y LUTITAS.

#### 2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

PARA EL PROYECTO DE TRANSFERENCIA DE AGUA DE LA CUENCA DEL ALTO USUMACINTA A LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA, LAS CONDICIONES DE LA ZONA TANTO HIDRÁULICAS COMO TOPOGRÁFICAS INDUCEN A UNA SOLUCIÓN CONSISTENTE EN UN SISTEMA DE VASOS ALIMENTADORES, CON CAPACIDAD DE REGULACIÓN EN LA CUENCA ALTA DEL USUMACINTA Y LA CONSTRUCCIÓN DE UN TUNEL PARA EL CRUCE DEL PARTE-AGUAS ENTRE

LAS DOS CUENCAS. SE REQUIERE CAPACIDAD DE REGULACIÓN PORQUE EL ESCURRIMIENTO QUE ES POSIBLE DE APROVECHAR TIENE UN REGÍMEN POCO UNIFORME, CON UN CAUDAL TORRENCIAL EN LOS MESES DE JULIO A NOVIEMBRE Y UN VOLÚMEN ESCASO EL RESTO DEL AÑO, DE ACUERDO CON LOS REGISTROS HISTÓRICOS DE ESCURRIMIENTO MENSUAL PARA LAS CORRIENTES DE LA CUENCA ALTA DEL USUMACINTA. ESE PROBLEMA DEBE RESOLVERSE CON LOS VASOS REGULADORES QUE AL APORTAR VOLÚMENES CON UNA UNIFORMIDAD Y MAGNITUD TAL, PERMITIRÁN EL ENVÍO DE CAUDALES HACÍA LA CUENCA DEL GRIJALVA.

LA SELECCIÓN DE LOS SITIOS PARA FORMAR LOS ALMACENAMIENTOS REQUIRIÓ EL ANÁLISIS CUIDADOSO DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS TOPOGRÁFICAS Y CONSTRUCTIVAS QUE OFRECÍA CADA UNO DE LOS LUGARES CON POSIBILIDAD DE CONSTITUIR UN VASO ALMACENA

DOR. PARTE IMPORTANTE PARA ESA SELECCIÓN SON LAS OBRAS DE CONDUCCIÓN E INTERCONEXIÓN, YA QUE REPRESENTAN UNA PARTE IMPORTANTE DE LA INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO.

EL SISTEMA QUE SE ESTUDIARÁ EN ESTE TRABAJO ESTA INTEGRADO POR TRES VASOS, DOS DE ELLOS QUE SON ÁLTAMIRANO Y SAN AGUSTÍN EN LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA Y EL TERCERO CHACTÉ EN LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA. SE ELIGIÓ ESTE SISTEMA, PORQUE EL SITIO EN LA CUENCA DEL GRIJALVA, CHACTÉ, YA HA SIDO AMPLIAMENTE ESTUDIADO ESTIMÁNDOSE QUE ES MUY ADECUADO PARA INSTALAR AHÍ UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO, DE HECHO LOS ESTUDIOS ANTERIORES (1) CONCLUYEN LA CONVENIENCIA DE INCREMENTAR LOS CAUDALES DEL FUTURO VASO, A FIN DE INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS QUE SE TENDRÍAN DE ACUERDO A LA CAPACIDAD INSTALADA DE SU PLANTA.

POR OTRA PARTE EN LA CUENCA DEL USUMACINTA EL PLANTEAMIENTO SE HIZO BAJO LA PREMISA DE APROVECHAR LOS ESCURRIMIENTOS DE LA PARTE MÁS ALTA DE LA CUENCA, ESTA CONDICIÓN TIENE COMO META EL FACILITAR EL CRUCE DEL PARTEAGUAS Y DEMÁS SE TIENE LA LIMITANTE DE LA ELEVACIÓN DEL VASO EN LA CUENCA DEL GRIMALVA ( NAMD A 900 M.S.N.M. ), POR ÚLTIMO TAMBIÉN ERA IMPORTANTE CONSERVAR EN LO POSIBLE LAS MAYORES CARGAS CON LA META DE LOGRAR UN MEJOR APROVECHAMIENTO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SE INICIA CON LA CAPTACIÓN DE LOS ESCURRIMIENTOS DEL RÍO TZANCONEJA EN ALTAMIRANO, EL CUAL SE ENCUENTRA CONECTADO A SAN AGUSTÍN POR MEDIO DE UN TUNEL, MEDIANTE EL CUAL SAN AGUSTÍN RECIBE UN SUMINISTRO IMPOR

TANTE DE AGUA DE ALTAMIRANO, ADEMÁS DE RECIBIR LA APORTACIÓN -  
DEL RÍO JATATE, QUE ES SU CORRIENTE ALIMENTADORA. DE SAN -  
AGUSTÍN SALDRÁ EL CAUDAL COMBINADO DE LOS DOS VASOS HACÍA -  
CHACTÉ, ATRAVEZANDO EL PARTEAGUAS POR MEDIO DE TUNEL, ANTES  
DE DESCARGAR ESTE CAUDAL AL RÍO ALMANDRO QUE ES LA CORRIENTE  
QUE APORTA A CHACTÉ, SE APROVECHARÁ LA DIFERENCIA DE NIVEL -  
ENTRE SAN AGUSTÍN Y EL DESFOGUE EN ESE RÍO PARA GENERAR. CON  
EL VOLÚMEN APORTADO Y LA PROPIA CAPTACIÓN EN CHACTÉ SE PODRÁ  
GENERAR UNA VEZ MÁS, CON UNA EFICIENCIA NOTABLE. FINALMENTE  
EL CAUDAL SE DESCARGARÁ EN ITZANTUM QUE SE ENCUENTRA AGUAS -  
ABAJO DE CHACTÉ, LOGRANDO CON ELLO INCREMENTAR EN BUENA ME-  
DIDA SU EFICIENCIA.

**REGISTRO DE ESCURRIMIENTO DEL VASO ALTAMIRANO**

TOTAL EN MILL DE METROS CUBICOS													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1950	21	20	18	18	19	49	77	61	123	119	77	44	646
1951	19	20	17	20	22	73	125	121	129	170	79	50	855
1952	24	19	18	17	22	62	78	85	131	155	105	46	762
1953	45	23	31	30	45	108	165	94	162	171	91	44	1009
1954	27	25	20	19	20	40	101	67	133	142	111	66	771
1955	32	24	20	17	22	115	115	79	133	170	83	58	868
1956	45	29	24	19	21	49	79	87	131	123	72	43	722
1957	30	19	20	17	24	92	134	107	108	113	72	64	800
1958	40	22	27	26	25	68	61	72	101	114	92	44	692
1959	29	21	18	17	23	71	101	114	162	163	91	53	863
1960	47	33	35	27	22	69	106	103	111	127	95	38	813
1961	28	22	23	30	25	57	86	128	131	82	33	30	675
1962	28	22	23	30	25	57	86	86	128	131	82	33	731
1963	21	20	20	17	17	39	66	66	135	142	86	40	669
1964	28	20	17	17	18	76	158	72	151	139	68	108	872
1965	47	26	25	19	20	49	64	57	104	183	120	59	773
1966	42.1	25.8	23.6	28.5	24.2	83	180.5	88.9	113.7	197.6	98.5	57.8	964.2
1967	39.3	26.9	22.5	30.5	21.4	72.6	42.5	42.9	57.3	198.7	90.4	46.8	691.8

TABLA

---

TOTAL EN MILL DE METROS CUBICOS													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	36.2	27.7	21.4	17.7	31.3	119.2	132.3	82.4	139.6	157.8	82.3	43.9	891.8
1969	30.1	22.9	23	23.5	23.6	78.5	166.4	218.7	263.3	168.9	119.1	95.2	1233.2
1970	44.1	29.5	25.1	21	23.2	33.6	99.5	186.3	197.6	144.1	93.6	55.1	952.7
1971	35.4	22.8	21.2	16.5	18.6	26.9	33.3	56.9	144	107.1	91.9	45.6	620.3
1972	40.2	27	19.9	15.9	16.2	64.8	71.4	89.8	73.3	79.7	43.1	28.9	570.2
1973	20.9	16.3	16	14.8	16.2	56.3	76.9	186.5	178.2	162.7	99.3	60.8	904.9
1974	38	24	25.4	28.5	28.3	85.2	126	54.2	190.5	229.4	113.6	61.1	1004.2
MEDIA	33.9	23.5	22.2	21.0	22.9	67.8	101.2	96.2	137.2	147.6	87.5	52.6	814.2

ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL = 71.2 MILL DE METROS CUBICOS

---

TABLA 1

**REGISTRO DE ESCURRIMIENTO DEL VASO SAN AGUSTIN**

AÑO	TOTAL EN MILL DE METROS CUBICOS												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1950	4	6	6	6	5	16	27	2	41	31	17	12	173
1951	7	6	6	7	6	25	42	45	44	61	18	13	280
1952	5	6	6	5	6	21	27	3	44	53	28	12	216
1953	13	7	9	12	15	37	55	34	56	62	23	12	335
1954	6	7	7	7	6	13	35	22	45	47	31	17	243
1955	8	7	7	5	6	4	39	27	45	61	2	15	226
1956	13	9	7	7	6	16	28	31	44	38	16	11	226
1957	8	6	7	5	8	31	45	39	36	33	16	16	250
1958	12	7	8	1	8	23	22	24	33	33	23	12	206
1959	7	6	6	5	7	24	35	42	56	58	23	14	283
1960	14	1	9	11	6	23	36	38	37	4	24	11	214
1961	7	7	7	12	8	19	3	3	46	42	19	9	182
1962	4	6	7	5	5	13	23	22	51	47	21	11	215
1963	7	6	6	5	5	26	53	24	31	46	14	36	259
1964	14	7	7	6	6	18	24	19	52	64	29	12	258
1965	12	8	7	9	6	35	48	19	36	66	22	14	282
1966	11	7	7	12	6	21	17	2	42	92	21	17	255
1967	17	1	8	7	12	38	47	3	91	45	16	12	297

---

AÑO	_ TOTAL EN MILL DE METROS CUBICOS												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	8	7	7	1	11	24	43	73	68	46	4	24	316
1969	11	8	7	6	6	14	44	61	7	47	24	15	250
1970	1	7	7	6	6	9	13	26	29	35	36	12	187
1971	2	8	1	5	7	17	47	37	42	34	11	13	224
1972	7	5	5	5	5	22	21	98	63	6	24	15	276
1973	12	9	8	13	7	22	35	9	5	66	19	11	216
1974	5	5	5	5	5	12	14	9	5	76	41	15	197
MEDIA	8.6	6.4	6.7	6.8	7	21	33	28.5	42	47.7	20.9	14.4	242.6

ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL = 20.2 MILL DE METROS CUBICOS

---

TABLA 11

**REGISTRO DE ESCURRIMIENTO DEL VASO CHACTE**

AÑO	TOTAL EN MILL DE METROS CUBICOS												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1950	24	18	17	12	55	37	83	49	149	105	137	46	733
1951	22	16	12	16	18	84	115	124	133	189	39	59	827
1952	23	14	10	10	14	61	65	39	104	102	71	52	565
1953	31	19	38	18	28	119	101	67	162	94	37	35	750
1954	21	26	41	11	12	26	97	69	120	159	162	42	760
1955	21	12	16	10	33	154	63	41	112	120	56	41	680
1956	28	14	12	12	13	52	56	52	132	78	76	58	523
1957	31	14	13	10	18	162	115	50	104	95	77	68	757
1958	41	12	26	46	21	80	54	48	42	88	137	56	650
1959	36	17	14	13	15	75	122	127	142	104	48	45	757
1960	36	26	23	13	20	69	80	107	67	142	94	30	707
1961	32	13	12	29	18	43	65	63	128	141	41	29	615
1962	29	24	28	11	14	25	86	93	175	140	51	44	721
1963	39	17	13	22	17	122	140	63	107	141	78	70	769
1964	30	28	27	12	16	38	53	74	70	148	60	47	602
1365	40	28	23	17	19	102	98	54	106	133	66	42	729

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1966	48	25	21	17	10	64	30	42	85	196	55	54	649
1967	41	29	19	13	31	72	75	39	97	119	42	34	608
1968	25	13	10	12	13	42	100	167	192	87	115	50	826
1969	31	25	14	11	24	53	105	145	162	140	91	31	832
1970	20	14	18	16	12	35	60	90	130	108	74	28	603
1971	25	19	12	10	15	54	59	54	67	52	32	56	456
1972	25	20	12	11	21	64	58	172	114	155	60	57	770
1973	32	21	18	15	19	71	82	90	118	128	71	44	708
1974	30	15	12	9	11	35	40	40	138	165	109	42	646
MEDIA	30	20	17	15	19	68	80	78	118	125	75	46	690

ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL = 57.5 MILL DE METROS CUBICOS

# CAPITULO III

## MODELO Y SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

### 3.1. GENERALIDADES

PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO SE NECESITA PRECISAR Y ESTRUCTURAR LA INFORMACIÓN DE QUE SE DISPONE, A FIN DE ESTABLECER LAS RELACIONES QUE GUARDAN LAS DIFERENTES VARIABLES QUE INTERVIENEN Y SUS EFECTOS AL INTEGRARSE EN UN SISTEMA.

LA SOLUCIÓN MAS ADECUADA PARA CONOCER EL PROBABLE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA QUE PERMITIRÁ LA TRANSFERENCIA DE AGUA DE UNA CUENCA A OTRA, SERÁ A TRAVÉS DE PLANTEAR UN MODE

LO, SE OPTÓ POR UN MODELO MATEMÁTICO SENCILLO, PERO QUE AL SIMULAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA NOS PROPORCIONE RESULTADOS CONFIABLES PARA LA EVALUACIÓN DE CADA UNA DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS QUE SE ANALICEN Y SE LLEGUE A UNA DECISIÓN CON MAYOR CERTIDUMBRE DE ÉXITO.

SIN EMBARGO, SE DEBE TENER EN CUENTA QUE UNA DECISIÓN ACERTADA IMPLICA EL PONDERAR LOS RESULTADOS DE UNA SIMULACIÓN, CONOCIENDO QUE UN MODELO SÓLO ES UNA REPRESENTACIÓN DE LA REALIDAD Y POR LO MISMO NO INCLUYE TODAS LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN; PERO SI DESTACA SUS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES Y SU FIDELIDAD TENDRÁ LA APROXIMACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS GENERADOS POR EL MODELO Y LOS RESULTADOS QUE SE PRODUCIRÁN EN LA REALIDAD, QUE SE REQUIERA.

EL DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODELO TENDRÍA LA ESTRUCTURA QUE SE MUESTRA FIG. 3

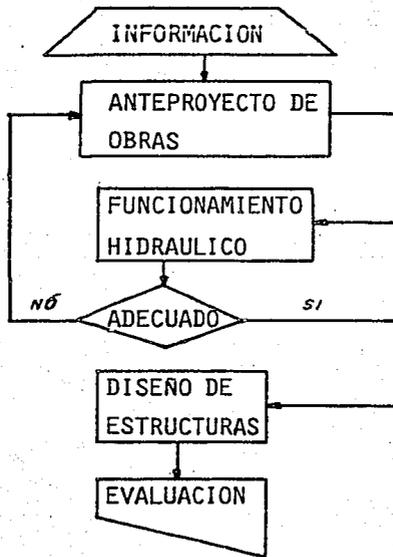


FIG. 3

LA INFORMACIÓN CONSTA PRIMORDIALMENTE DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ZONA DEL PROYECTO Y SERÁ LA BASE DE TODO EL ANÁLISIS.

EL ANTEPROYECTO DE LAS OBRAS CORRESPONDE A LA ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE ESTRUCTURAS TALES COMO :

ELEVACIÓN DE CORTINA, DIÁMETRO, LONGITUD Y TIPO DE CONDUCTOS DE LAS OBRAS DE CONDUCCIÓN E INTERCONEXIÓN, ETC.

EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO VERIFICARÁ LA FUNCIONALIDAD DE LAS OBRAS PROPUESTAS Y PROPORCIONARÁ ELEMENTOS PARA SU CORRECCIÓN Y MEJORAMIENTO.

EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS SE REALIZARÁ CON LOS PARÁMETROS APORTADOS POR EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO Y SE PODRÁ AFINAR TANTO COMO SE QUIERA.

LA EVALUACIÓN SERÁ POSIBLE AL OBTENER LOS COSTOS -  
DE REALIZACIÓN DE CADA ALTERNATIVA QUE SE ANALICE EN FUNCIÓN  
DE LOS BENEFICIOS GENERADOS.

VISTO DE ESTA MANERA EL PUNTO BÁSICO DEL ANÁLISIS  
SERÁ EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO.

### 3.2. FUNCIONAMIENTO DE VASO

LLAMAMOS FUNCIONAMIENTO DE VASO AL PROCEDIMIENTO -  
DE SIMULAR LA OPERACIÓN DE UN VASO ALMACENADOR ATRAVÉS DE UN  
MODELO MATEMÁTICO EN BASE A LA EC DE CONTINUIDAD :

$$A_I = A_{I-1} + V_I - E_I$$

$A_i$  — ALMACENAMIENTO EN EL INSTANTE  $i$

$A_{i-1}$  — ALMACENAMIENTO EN EL INSTANTE  $i-1$

$V_i$  — VOLUMEN QUE ENTRA EN EL INSTANTE  $i$

$E_i$  — VOLUMEN QUE SALE EN EL INSTANTE  $i$

PARA INICIAR EL CÁLCULO REQUERIMOS LOS REGISTROS -  
DE ESCURRIMIENTO MENSUAL DE LA O LAS CORRIENTES ALIMENTADO  
RAS DEL VASO TABLAS I, II, III, DURANTE UN PERÍODO LO SUFI -  
CIENTEMENTE LARGO PARA LOGRAR UN FUNCIONAMIENTO SIGNIFICATI -  
VO. DEPENDIENDO DE LO DETALLADO DEL CÁLCULO TAMBIÉN SE USA -  
RAN LOS REGISTROS DE EVAPORACIÓN Y LLUVIA.

ADEMÁS DEBEMOS CONTAR CON LA CURVA ELEVACIONES CA  
PACIDADES DEL VASO. CUADROS 1, 2 Y 3.

FINALMENTE ELEGIMOS UNA LEY DE DEMANDAS PARA DETERMINAR LAS EXTRACCIONES DE CADA MES.

EL MÉTODO SE PRESENTA POR MEDIO DE TABLAS DE LA -

FORMA :

MES	ALMACEN INICIAL	VOLUM ESCURR.	EXTRACC	DERRAM	DEFIC	ALMACEN FINAL
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

O BIEN COMO MUESTRA LA SIGUIENTE TABLA SI EL ALMACENAMIENTO TIENE FINES DE GENERACIÓN :

AÑO

MES	ALMACEN INICIAL	VOLUM ESCURR	EXTRACC	DERRAM	DEFIC	ALMACEN FINAL	CARGA DISP	GENER
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

LA PRIMERA COLUMNA CORRESPONDE AL MES PARA EL QUE SE REALIZA EL CÁLCULO. EL PRIMER MES PARA INICIAR NO SERÁ NECESARIAMENTE EL PRIMER MES CALENDARIO Y PODRÁ ELEGIRSE EL MES CON QUE INICIA EL REGISTRO DE ESCURRIMIENTO O EN BASE AL TIPO DE ESCORRENTÍA PREDOMINANTE EN LA ZONA DEL PROYECTO. ESTO ES, EN OCASIONES SE SIGUE LA POLÍTICA DE INICIAR EL FUNCIONAMIENTO DE VASO AL TERMINAR LA TEMPORADA DE LLUVIA EN LA ZONA DE PROYECTO, EN EL SUPUESTO DE QUE ESTA ES UNA CONDICIÓN MAS REAL DEL COMPORTAMIENTO DEL VASO.

LA SEGUNDA COLUMNA ES EL ALMACENAMIENTO INICIAL EN ESE MES Y CON VALOR IGUAL AL ALMACENAMIENTO FINAL DEL MES ANTERIOR. PERO PARA EL PRIMER MES DEL FUNCIONAMIENTO SE ELIGE DE ENTRE ESTAS DOS EXPRESIONES :

$$ALIN = 0.75 ( NAMO - CAPMIN ) + CAPMIN$$

$$ALIN = NAMO$$

LA PRIMERA ES UNA FÓRMULA EMPIRICA Y SE USA GENERALMENTE EN EMBALSES PARA RIEGO. LA SEGUNDA CORRESPONDE A INICIAR CON VASO LLENO. EL USO DE UNA U OTRA NO PRODUCE CAMBIOS SIGNIFICATIVOS EN EL FUNCIONAMIENTO DE VASO, SI SE CONSIDERA QUE EL PERÍODO DE ANÁLISIS ES TAN AMPLIO, QUE ESA DIFERENCIA DE VOLUMEN ES MÍNIMA.

NAMO — ALMACENAMIENTO MAXIMO ORDINARIO

CAPMIN — ALMACENAMIENTO MINIMO DE OPERACION

ALIN — ALMACENAMIENTO INICIAL

LA COLUMNA (3) INDICA LAS APORTACIONES AL VASO, QUE ESTARÁN EN RIGOR INTEGRADAS POR EL ESCURRIMIENTO, LA EVAPORACIÓN Y LA LLUVIA SOBRE EL VASO.

LA COLUMNA (4) CONTIENE LAS EXTRACCIONES QUE SE REALIZAN EN FUNCIÓN DE UNA LEY DE DEMANDAS PROPUESTAS.

EL ALMACENAMIENTO FINAL COLUMNA (7) SE OBTIENE SUJANDO LAS COLUMNAS (2) Y (3) Y SUSTRAYENDO LA COLUMNA (4). DEPENDIENDO DE LOS VALORES DEL ALMACENAMIENTO INICIAL, DE LAS APORTACIONES Y DE LAS EXTRACCIONES TENDREMOS TRES POSIBILIDADES :

- 1°.- EL ALMACENAMIENTO FINAL ES MAYOR AL NAMO, SE TENDRA UN DERRAME IGUAL A LA DIFERENCIA ENTRE EL NAMO Y EL ALMACENAMIENTO FINAL COLUMNA (5)

2°.- EL ALMACENAMIENTO FINAL ES MENOR A LA CAPMIN, SE TENDRÁ UNA DEFICIENCIA, DE MAGNITUD IGUAL A LA DIFERENCIA DEL ALMACENAMIENTO FINAL -- MENOS LA CAPMIN COLUMNA (6).

3°.- EL ALMACENAMIENTO FINAL TIENE UN VALOR ENTRE EL NAMO Y LA CAPMIN, PARA FINES DE GENERACIÓN NECESITAREMOS DETERMINAR LA ELEVACIÓN DEL - VASO QUE CORRESPONDE AL ALMACENAMIENTO, PARA QUE AL SUSTRAERLE LA ELEVACIÓN DEL DESFOGUE DETERMINEMOS LA CARGA DISPONIBLE COLUMNA - (8). ( VER NOTA )

FINALMENTE CON LA CARGA DISPONIBLE Y EL VOLUMEN DE EXTRACCIÓN CALCULAREMOS LA ENERGÍA GENERADA CON :

$$\text{GEN} = 0.0022 * \text{EXTR} * \text{ELEV.}$$

GEN = ENERGÍA GENERADA EN GWH/MES

EXTR = VOLUMEN TURBINADO EN MILL M<sup>3</sup>/MES

ELEV = CARGA NETA EN M.

0.0022 = COEFICIENTE PARA LA CONVERSIÓN DE UNIDADES Y LA  
EFICIENCIA DEL EQUIPO TURBO GENERADOR.

EL PROCESO ENUMERADO CONTINUARÁ SUCESIVAMENTE MES  
A MES DEL REGISTRO DE ESCURRIMIENTO HASTA AGOTAR TODOS SUS -  
VALORES.

NOTA .- USUALMENTE SE INICIA EL SIGUIENTE MES CON ALIN =  
CAPMIN Y SE PROSIGUE EL CÁLCULO, AQUÍ ASI LO HAREMOS, Y ADE-  
MÁS AJUSTAREMOS EL VOLUMEN DE EXTRACCIÓN DE ACUERDO AL - -

NIVEL MÍNIMO DE OPERACIÓN, ES DECIR SUSTRAEEREMOS EL VALOR DE LA DEFICIENCIA A LA EXTRACCIÓN, ANTES DE INTEGRAR ESE VOLUMEN AL REGISTRO ACUMULADO.

### 3.3. MODELO Y SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL SISTEMA

EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA, TRABAJANDO EN CONJUNTO LOS VASOS ALTAMIRANO, SAN AGUSTÍN Y CHACTÉ SUPONDRÍA UN MODELO DEMASIADO COMPLEJO, POR EL NÚMERO DE VARIABLES QUE INTERVENDRÍAN Y LA DEPENDENCIA QUE HABRÍA ENTRE - - ELLAS, SIN EMBARGO EL MODELO ES SUCEPTIBLE DE SIMPLIFICARSE, SIN DESVIRTUAR LOS RESULTADOS, SI LO REALIZAMOS POR PARTES. ESTO ES INICIAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS VASOS EN LA CUENCA DEL USUMACINTA. DADO QUE EXISTE UNA DEPENDENCIA BÁSICA ENTRE EL FUNCIONAMIENTO DE UNO CON RESPECTO A LA DEL OTRO. ES -

DECIR EL NIVEL EN ALTAMIRANO Y EN SAN AGUSTÍN, DETERMINA EL VOLUMEN A ENVIAR DEL PRIMER VASO AL SEGUNDO Y ESA APORTACIÓN PERMITIRÁ CONOCER DE NUEVO LOS NIVELES EN LOS VASOS PARA CONTINUAR LA SIMULACIÓN.

PARA EL VASO DE CHACTÉ EL FUNCIONAMIENTO SÓLO CONSIDERARÍA COMO UNA PARTE DE LAS APORTACIONES, EL CAUDAL PROVENIENTE DE LA CUENCA DEL USUMACINTA, REALIZANDO LA SIMULACIÓN EN FORMA INDEPENDIENTE DE LOS VASOS ALTAMIRANO Y SAN AGUSTÍN.

DE ACUERDO CON EL ESQUEMA PLANTEADO SE ELABORARÁN DOS MODELOS DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO CON LAS VARIANTES QUE CADA CASO PRESENTA. PERO OBSERVANDO EN GENERAL LA SIGUIENTE POLÍTICA DE OPERACIÓN :

1°.- MAXIMIZAR LOS VOLUMENES APROVECHABLES

2°.- MANTENER UN GASTO CONSTANTE POR INTERVALO PARA GENERAR

3°.- CONSERVAR LOS NIVELES DE LOS VASOS DENTRO DE UN RANGO  
DEFINIDO

4°.- EVITAR O MANTENER AL MÍNIMO LOS DERRAMES

### 3.3.1. SISTEMA ALTAMIRANO — SAN AGUSTIN

PARA ESTE SISTEMA SE DEBERÁ OPTAR POR ALGUNA DE -  
LAS ALTERNATIVAS QUE SIGUEN :

1°.- LOS DOS VASOS TIENEN CAPACIDAD DE REGULACIÓN Y ALIMEN-  
TAN A CHACTÉ.

2°.- SÓLO UNO DE LOS VASOS, ALTAMIRANO, ES DE ALMACENAMIENTO  
Y EL OTRO TRABAJA COMO DERIVADOR APORTANDO A CHACTÉ.

LA PRIMERA ALTERNATIVA ES MÁS GENERAL, PERO TAMBIÉN  
MÁS ELABORADA Y ESTABLECER UN MODELO LLEVA A VARIAS SIMPLI -

FICACIONES. SIN EMBARGO LAS LIMITANTES DE MAYOR PESO SON LAS CONDICIONES TOPOGRÁFICAS, ESTO PORQUE EL SITIO EN QUE SE FORMARÁ EL VASO DE SAN AGUSTÍN TIENE UNA ELEVACIÓN MAYOR AL LUGAR QUE OCUPARÁ EL VASO ALTAMIRANO.

ESA LIMITANTE IMPLICA QUE LA CORTINA EN SAN AGUSTÍN TIENDA HACIA UNA ALTURA PEQUEÑA, YA QUE LA CORTINA DE ALTAMIRANO SIEMPRE DEBERÁ ESTAR POR ENCIMA DE SU NIVEL, PARA CUMPLIR CON EL COMETIDO DEL PROYECTO.

TENEMOS ASÍ QUE LA TENDENCIA ES HACIA UN VASO REGULARIZADOR Y UNO DERIVADOR, CON EL PROPÓSITO DE EVITAR UN GRAN VOLUMEN DE CAPACIDAD MUERTA EN ALTAMIRANO A CAMBIO DE UNA CAPACIDAD ÚTIL RELATIVAMENTE PEQUEÑA EN SAN AGUSTÍN -- DADO EL ORDEN DE LOS ALMACENAMIENTOS EN CADA VASO.

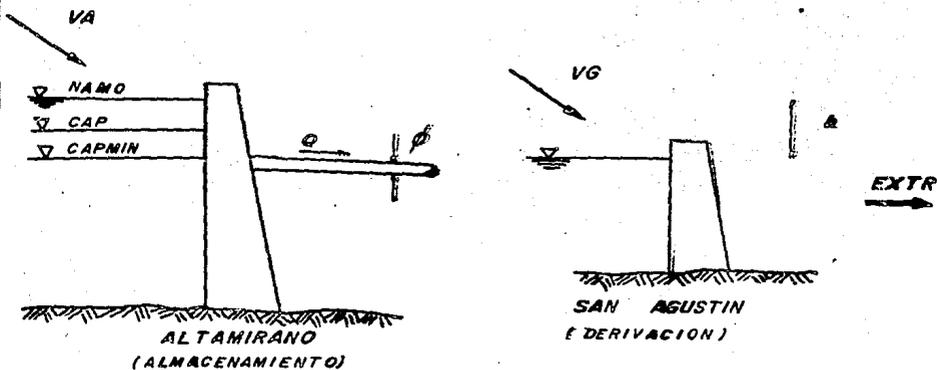
ESTA ALTERNATIVA DEPENDERÁ PARA SU FUNCIONAMIENTO -

DE :

NIVELES EN LOS VASOS

LEY DE EXTRACCIONES

CAPACIDAD DE LAS OBRAS DE CONDUCCIÓN



**SISTEMA ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN**

SISTEMA ALTAMIRANO SAN AGUSTIN  
DIAGRAMA DE FLUJO

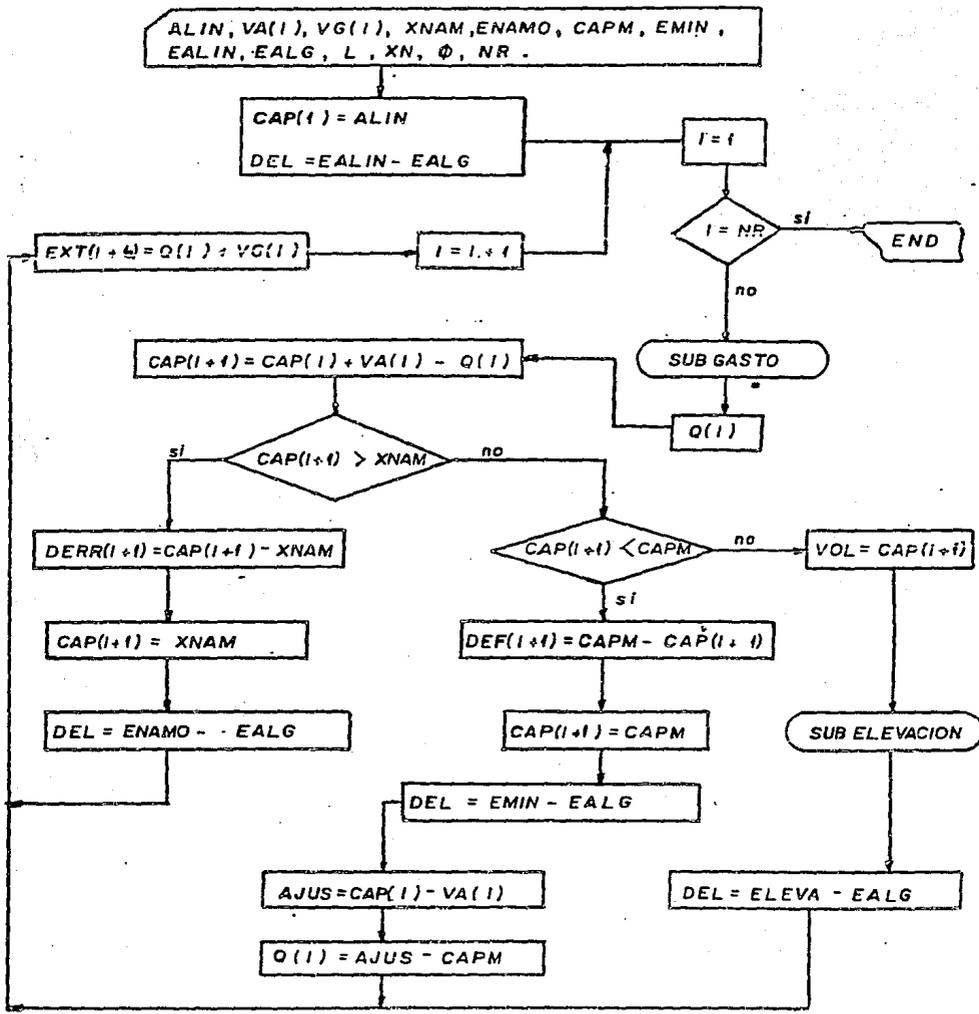
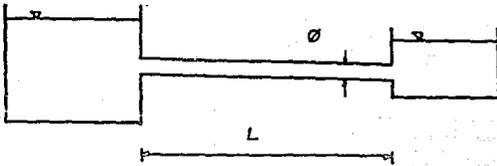


FIG. 5

**SUBROUTINA GASTO**  
**DIAGRAMA DE FLUJO**



$DEL$

$$S = \frac{DEL}{L}$$

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{N}$$

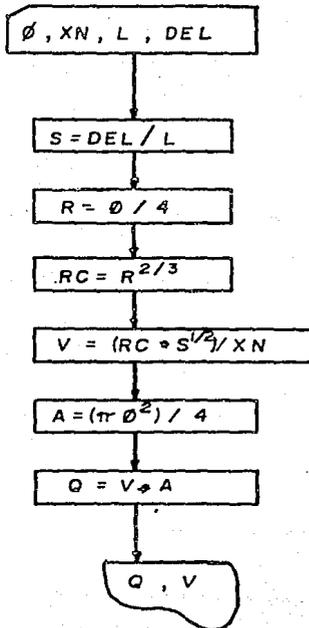
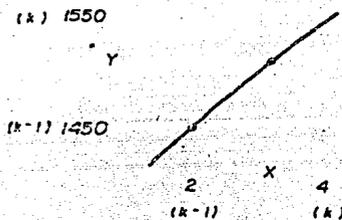
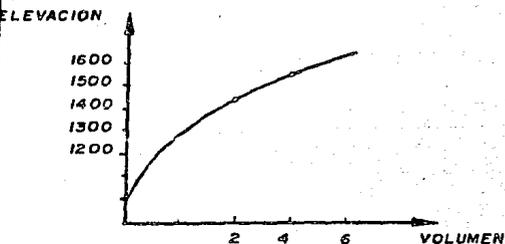


FIG. 6

# SUBROUTINA ELEVACION

## DIAGRAMA DE FLUJO



$$Y = mX + b$$

$$m = \frac{X_k - X_{k-1}}{Y_k - Y_{k-1}}$$

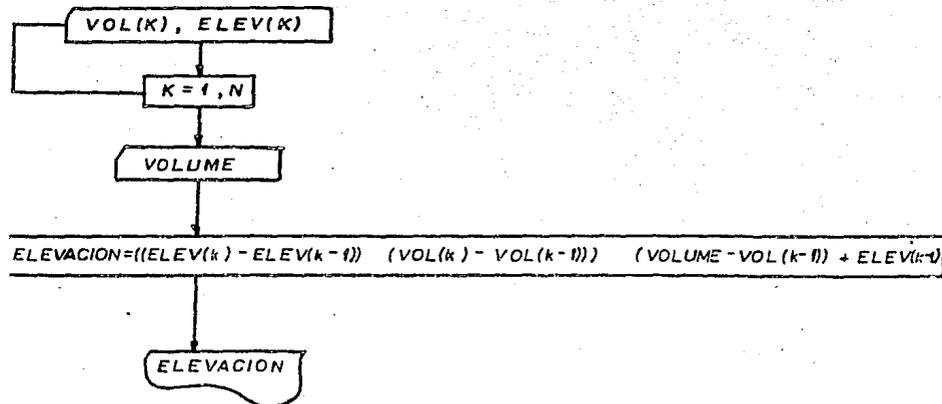


FIG. 7

CODIFICACION DEL PROGRAMA PARA EL MODELO DEL SISTEMA  
ALTAMIRANO - SAN AGUSTIN ( BASIC A )

```
80 ' PROGRAMA APORTACION
90 ' INICIA LECTURA DE DATOS
100 DIM VA ( 300 ), VG ( 300 )
110 REGISTRO DE ESCURRIMIENTO ALTAMIRANO
120 FOR K = 1 TO 300
130 READ VA ( K )
140 NEXT K
150 DATA
160 DATA
170 DATA
180 DATA
```

```
190 DATA
195 ' REGISTRO DE ESCURRIMIENTO SAN AGUSTIN
200 FOR K = 1 TO 300
210 READ VG (K)
220 NEXT K
230 DATA
240 DATA
250 DATA
260 DATA
270 DATA
280 DIM Q ( 300 ), EXTR ( 300 )
300 DIM CAP ( 310 ), DERR ( 300 ), DEFC ( 300 )
310 DIM ELEA ( 12 ), VOL ( 12 )
315 CURVA ELEVACIONES - CAPACIDADES
```

```
320   FOR K = 1 TO 12
330   READ ELEA (K)
340   NEXT K
350   FOR K = 1 TO 12
360   READ VOL (K)
370   NEXT K
380   DATA
390   DATA
395   ENTRADA DE DATOS
400   INPUT D, XN, L, DC
410   ALIN =
420   XNAMO =
430   CAPMIN =
440   EALIN =
```

```
450     EMIN =
460     EALING =
470     ENAMO =
500     CAP (1) = ALIN
510     DELTA = EALIN - EALING
515     ' FUNCIONAMIENTO ALT - SN AGUSTIN
520     FOR I = 1 TO 300
530     GOSUB 1200 SUB GASTO
540     CAP ( I + 1 ) = CAP (I) + VA (I) - Q (I)
550     I F CAP (I + 1 ) CAPMIN THEN 660
570     VOLUME = CAP (I+1)
580     GOSUB 1100 SUB ELEVACION
590     DELTA = ELEVA - EALING
```

```
600     EXTR (I) = Q (I) + VG (I)
605     EXTRA = EXTR (I) + EXTRA
610     GOTO 695
620     DERR = CAP (I) - XNAMO + DERR
625     NDR = NDR + 1
630     CAP (I + 1) = XNAMO
640     DELTA = ENAMO - EALING
650     GOTO 600
660     DEFC = CAPMIN - CAP (I + 1) + DEFC
665     ND = ND + 1
670     CAP (I + 1) = CAPMIN
```

```
680 DELTA = EMIN - EALING
681 AJUST = CAP (I) + VA (I)
682 Q (I) = AJUST - CAPMIN
683 IF Q (I) < 0 THEN 690
685 Q (I) = 0
690 GOTO 600
695 IF DC = I THEN 710
696 TA = VA (I) + TA
697 TV = VG (I) + TV
698 TT = TA + TV
700 PRINT
710 NEXT I
711 PD = (DEFC/EXTRA) * 100
712 PDR = (DERR/EXTRA) * 100
```

713 P A = EXTRA/25

715 PRINT "NUMERO DE DEF", ND

716 PRINT "NUMERO DE DERRAMES" , NDR

717 PRINT " % DE DEFICIENCIAS ", PD, " % "

718 PRINT " % DE DERRAMES ", PDR, " % "

719 PRINT " VOLUMEN TOTAL APORTADO ", EXTRA, " MILL DE M3 "

720 PRINT " VOLUMEN PROM. ANUAL ", PA, " MILL DE M3 "

730 PRINT " VOLUMEN DE REGISTRO ALTAMIRANO ", TA, "MILL DE M3"

731 PRINT " VOLUMEN DE REGISTRO SN AGUSTIN ", TV, "MILL DE M3"

732 PRINT " VOLUMEN TOTAL DE REGISTRO ", TT, "MILL DE M3"

740 PRINT

750 END

800 ' SUBROUTINAS

1100 ' SUB ELEVACION

```
1110 FOR K = 1 TO 12
1120 IF VOLUME = VOL (K) THEN 1150
1130 NEXT K
1150 ELEVA = ((ELEA (K) - ELEA (K-1))/(VOL (K) - VOL (K-1)))
          *(VOLUME - VOL (K-1)) + ELEA (K-1)
1160 RETURN 590
1170
1200 SUB GASTO
1210 S = DELTA/L
1220 R = D/4
1230 RC = EXP (0.667 * LOG (R))
1240 V = RC * (SQR(S)) / XN
1250 A = 0.785 * (D * D)
1260 Q (I) = V * A * 2.592
1270 RETURN 540
```

EL SISTEMA TENDRÍA EL SIGUIENTE FUNCIONAMIENTO EN UN INSTANTE DADO :

- 1).- CON LOS NIVELES DE LOS VASOS SE OBTENDRÁ  $\Delta H$ .
- 2).- CON  $\Delta H$  SE CALCULARÁ LA EXTRACCIÓN  $Q$ , LA QUE DEPENDE TAMBIÉN DE  $\phi$ .
- 3).- CON  $Q$  Y  $V_A$  PARA EL SIGUIENTE INSTANTE SE CALCULA EL NIVEL FINAL EN ALTAMIRANO.
- 4).- CON  $Q$  Y  $V_G$  SE OBTIENE LA EXTRACCIÓN, LA APORTACIÓN DE SAN AGUSTÍN A CHACTÉ.
- 5).- EL NIVEL EN SAN AGUSTÍN SE SUPONDRÁ CONSTANTE.

EL DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO ES EL MOSTRADO Y LAS VARIABLES SE DEFINEN COMO :

- ENAMO — VALOR DEL NIVEL EN ALTAMIRANO PARA EL ALMACENAMIENTO DE AGUA MÁXIMA ORDINARIA.
- CAP — ALMACENAMIENTO FINAL EN ALTAMIRANO.
- CAPG — ALMACENAMIENTO FINAL EN SAN AGUSTÍN.
- ALIN — ALMACENAMIENTO INICIAL EN ALTAMIRANO.
- ALING — ALMACENAMIENTO INICIAL EN SAN AGUSTÍN.
- VA — VOLUMEN ESCURRIMIENTO MENSUAL EN ALTAMIRANO.
- VG — VOLUMEN ESCURRIMIENTO MENSUAL EN SAN AGUSTÍN.
- Q — VOLUMEN APORTADO POR ALTAMIRANO.
- EXT — VOLUMEN APORTADO POR SAN AGUSTÍN Y ALTAMIRANO.
- XNAM — ALMACENAMIENTO DE AGUA MÁXIMA ORDINARIA EN ALTAMIRANO.
- CAPM — ALMACENAMIENTO DE AGUA MÍNIMA DE OPERACIÓN EN ALTAMIRANO.

DEL — DIFERENCIA DE NIVELES ENTRE ALTAMIRANO Y SAN AGUSTÍN.

DERR — VOLUMEN DERRAMADO.

DEF — VOLUMEN DEFICIT PARA CUBRIR LA CAPACIDAD MÍNIMA DE  
OPERACIÓN.

AJUST — FACTOR DE AJUSTE DE LA EXTRACCIÓN A UN VALOR REAL.

VOLUME — VALOR DEL ALMACENAMIENTO FINAL EN ALTAMIRANO PARA -  
OBTENER SU NIVEL.

ELEVA — VALOR DEL NIVEL EN ALTAMIRANO PARA EL ALMACENAMIENTO  
FINAL.

S — PENDIENTE HIDRÁULICA.

R — RADIO HIDRÁULICO.

Q — DIÁMETRO DE CONDUCTO.

XN — COEFICIENTE DE MANNING.

L — LONGITUD DEL CONDUCTO.

EMIN — VALOR DEL NIVEL EN ALTAMIRANO PARA EL ALMACENAMIENTO

## MÍNIMO DE OPERACIÓN.

NR — NÚMERO DE AÑOS DEL REGISTRO DE ESCURRIMIENTO MENSUAL.

DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DE TOPOGRAFÍA, QUE SE DEDUCEN DEL ANÁLISIS DE LAS CURVAS ÁREAS CAPACIDADES, CUADROS 1 Y 2, LA SIMULACIÓN SE HIZÓ PARA CUATRO ALTERNATIVAS DE ELEVACIÓN DE NAMO, CON SUS RESPECTIVAS ELEVACIONES DE TOMA EN ALTAMIRANO, Y DERIVACIÓN EN SAN AGUSTÍN PARA LAS VARIANTES QUE SE GENERARÓN AL MODIFICAR EL DIÁMETRO DEL CONDUCTO DE INTERCONEXIÓN ENTRE LOS VASOS.

AQUI ES IMPORTANTE ACLARAR QUE EL DIÁMETRO SELECCIONADO TIENE LA FUNCIÓN DE SER UN FACTOR QUE ESTABLECE UNA LEY DE EXTRACCIÓN PARA EL VASO, MÁS QUE DETERMINAR LAS DIMENSIONES DEFINITIVAS DE LA CONDUCCIÓN ENTRE ALTAMIRANO Y SAN AGUSTÍN.

LA RAZÓN QUE EXPLICA ESTA CONSIDERACIÓN, ESTA EN -  
EL MÉTODO DE CÁLCULO DEL FUNCIONAMIENTO DE VASO, ESTO ES QUE  
EN ESE CÁLCULO SE MANEJAN VARIABLES DISCRETAS ( ESCURRIMIEN-  
TOS ) CUYO INTERVALO DE OCURRENCIA ES DE UN MES Y TODOS LOS  
RESULTADOS ESTAN BASADOS EN ESE FACTOR, POR LO MISMO AL ELE  
GIR UN DIÁMETRO LO HACEMOS PARA CONDUCIR UN GASTO PROMEDIO  
MENSUAL.

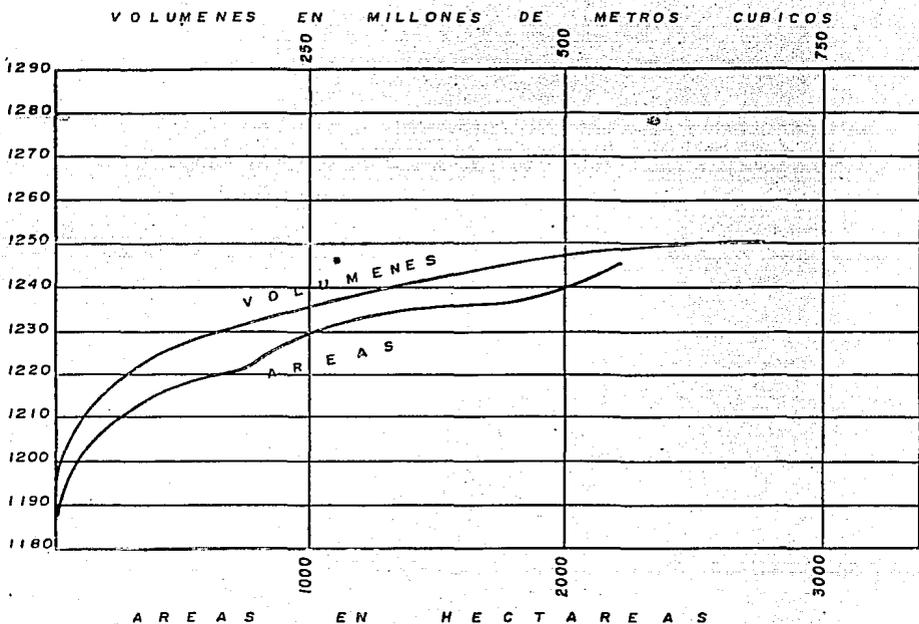
PARA ESE GASTO PROMEDIO MENSUAL LAS DIMENSIONES -  
DEL CONDUCTO NO SON POR NECESIDAD LAS DEFINITIVAS, DADO QUE  
PARA ESA DECISIÓN SE PONDERA MAS EL CRÍTERIO DE ELEGIR EL -  
DIÁMETRO DEL CONDUCTO DE ACUERDO AL GASTO DE DISEÑO;DEFINIDO  
POR LA CAPACIDAD INSTALADA PREVIAMENTE SELECCIONADA PARA EL  
FUNCIONAMIENTO DE UN VASO CON FINES DE GENERACIÓN.

LOS RESULTADOS DE LOS FUNCIONAMIENTOS REALIZADOS -  
SE RESUMEN EN LA SIGUIENTE TABLA :

DIAMETRO (M)	DEFICIENC %	DERRAMES %	VOLUMEN TOTAL MILL DE M. <sup>3</sup>	VOLUMEN PROM MILL DE M. <sup>3</sup>	ALTERNATIVA
6.0	83.45	0.00	26 618.76	1064.750	A I
4.0	1.67	1.22	25 971.33	1038.853	B NAMO-1220
5.0	31.57	0.00	26 510.74	1060.430	C TOMA-1205
3.0	0.00	39.77	18 787.99	751.519	D DERIV-1200
4.5	13.86	0.26	26 322.90	1052.916	E
4.0	7.98	22.21	21 542.73	861.709	A II
3.0	0.00	73.63	15 161.17	606.450	B NAMO-1210
5.0	34.57	3.41	25 516.46	1020.658	C TOMA-1205
6.0	85.09	0.27	26 355.03	1054.120	D DERIV-1200
4.5	19.01	9.87	23 983.18	959.327	E
4.0	1.80	0.00	26 477.91	1059.116	A III
3.0	0.00	21.18	21 605.05	864.200	B NOMO-1230
5.0	31.46	0.00	26 749.74	1069.990	C TOMA-1205
6.0	32.70	0.00	26 854.40	1074.176	D DERIV-1200
4.0	1.19	0.58	26 115.09	1044.603	A IV
3.0	0.00	39.04	18 870.16	754.806	B NAMO-1230
5.0	30.75	0.00	26 559.57	1062.383	C TOMA-1215
6.0	83.04	0.00	26 685.21	1067.408	D DERIV-1210

TABLA IV

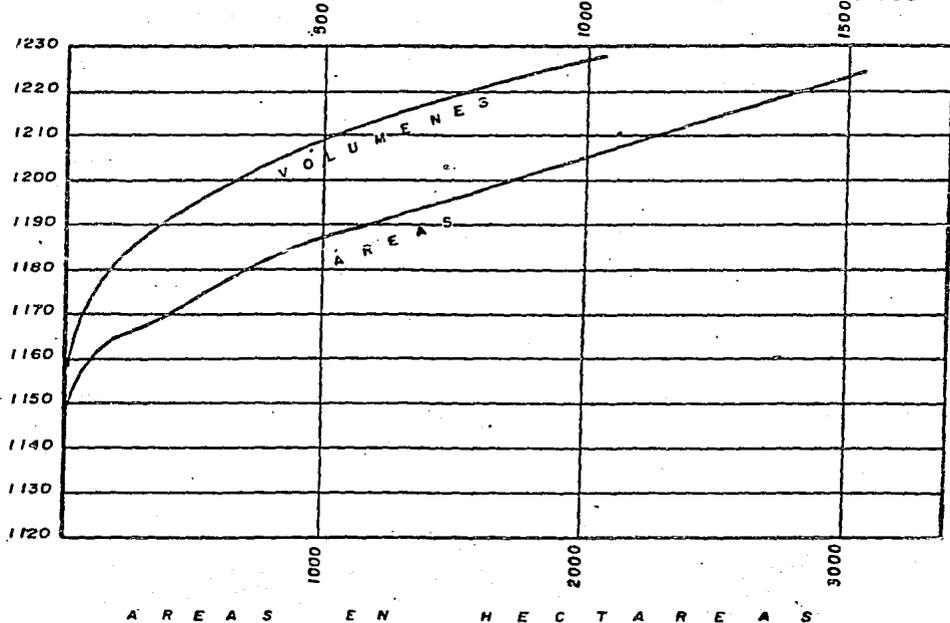
DE LOS RESULTADOS AHÍ MOSTRADOS SE HAN ELEGIDO LAS ALTERNATIVAS I-B, I-E, II-E Y III-A COMO LAS MÁS IMPORTANTES PARA CONTINUAR EL ANÁLISIS EN CONJUNTO CON LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA CHACTÉ, ESTO EN BASE A QUE PRESENTAN LOS MEJORES APROVECHAMIENTOS, EN CUANTO A VOLUMEN APORTADO HACIA CHACTÉ CONTRA % DE DEFICIENCIAS Y % DE DERRAMES PARA LA COMBINACIÓN DE NAMO, TOMA Y DIÁMETRO DE CONDUCTO QUE SE INDICA.



ELEVACION msnm	AREAS hectareas	VOLUMENES mill de m3
1180	00.00	00.000
1190	12.80	0.640
1200	86.00	0.580
1210	230.00	21.380
1220	684.40	67.100
1230	1008.80	171.760
1240	1999.60	342.180
1250	2396.00	586.960

**VASO SAN AGUSTIN**  
**CURVA AREAS - CAPACIDADES**

VOLUMENES EN MILLONES DE METROS CUBICOS



AREAS EN HECTAREAS

ELEVACION msnm	AREAS hectareas	VOLUMENES mill de m <sup>3</sup>
1120	0.000	0.000
1130	1.200	0.060
1140	7.200	0.480
1150	15.200	1.600
1160	68.800	5.500
1170	450.800	31.480
1180	680.000	88.020
1190	1200.800	182.060
1200	1714.400	327.820
1210	2230.800	525.080
1220	2852.800	779.260
1230	3562.800	1100.040

VASO ALTAMIRANO  
CURVA AREAS - CAPACIDADES

### 3.3.2 SISTEMA CHACTE

EL MODELO PARA LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA CHACTÉ, -  
 QUE COMPLEMENTA EL PROYECTO, SUPONE COMO ENTRADAS LOS CAUDALES  
 DEL SISTEMA ALTAMIRANO - SAN AGUSTÍN, LOS CUALES SE TUR-  
 BINARAN ANTES DE SUMARSE A LAS APORTACIONES POR ESCURRIMIEN-  
 TO DEL VASO CHACTÉ.

CON LA APORTACIÓN TOTAL SE PROCEDERÁ A FUNCIONAR  
 EL VASO, CUANTIFICANDO LA ENERGÍA GENERADA Y ENVIANDO EL VO-  
 LUMEN YA TURBINADO HACIA ITZANTUM.

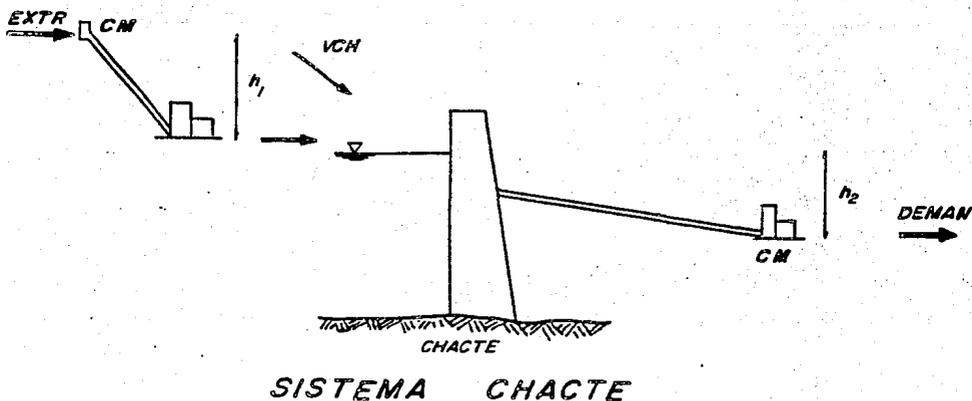


FIG. 8

# SISTEMA CHACTE DIAGRAMA DE FLUJO

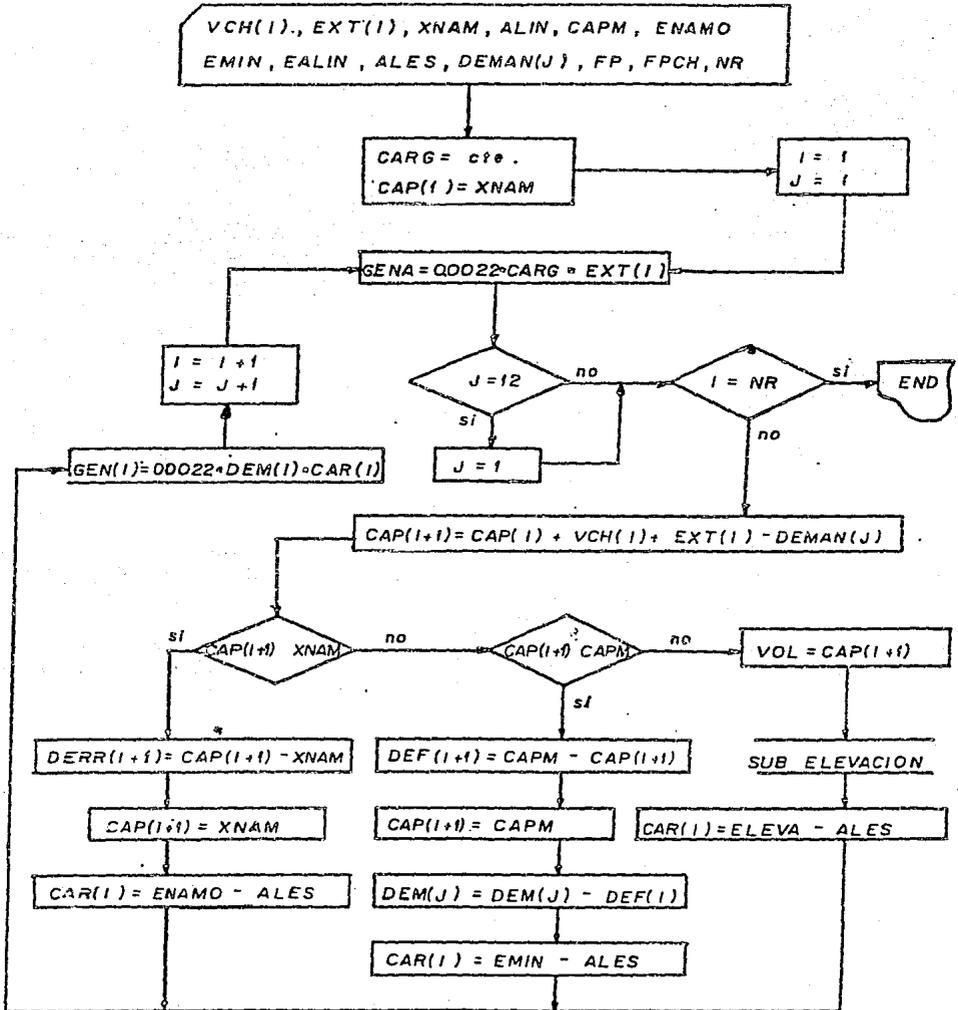


FIG. 9

CODIFICACION DEL PROGRAMA PARA EL MODELO DEL SISTEMA CHACTE  
( BASIC A )

```
100 ' PROGRAMA GENERACION
110 ' INICIA LECTURA DE DATOS

111   DIM DEMA (12)
120   DIM VCH (300), EXTR ( 300 )
130   DIM GENA (310), GENE( 310 )
135   DIM CARG (310), CAP ( 310 )
140   DIM ELEA ( 12), VOL ( 12 )
150   FOR I = 1 TO 300
160     READ VCH (I)
170     NEXT I
```

180 ' REGISTRO DE ESCURRIMIENTO CHACTE

190 DATA

200 DATA

210 DATA

220 DATA

230 DATA

240 ' CURVA ELEVACIONES - CAPACIDADES

250 FOR K = 1 TO 12

260 READ ELEA (K)

270 NEXT K

280 FOR K = 1 TO 12

290 READ VOL (K)

300 NEXT K

310 DATA

320 DATA

```
330 ' EXTRACCIONES ALTAMIRANO - SAN AGUSTIN
350   FOR I = 1 TO 300
360     READ EXTR (I)
370   NEXT I
380   DATA
385   DATA
390   DATA
395   DATA
400   DATA
405   DATA
410   DATA
415   DATA
420   DATA
425   DATA
```

```
490 ' LEY DE EXTRACCION
500 FOR K = 1 TO 12
510 READ DEMA (K)
520 NEXT K
530 DATA

535 ' ENTRADA DE DATOS
540 ALES =
550 F P =
555 FPCH =
560 XNAMO =
570 ENAMO =
580 CAPMIN =
590 EMIN =
600 ALIN =
```

```
610 EALIN =
620 CARGA =
630 ' FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA
640 CAP (1) = XNAMO
645 J = 1
650 FOR I = 1 TO 300
660 GENA (I) = 0.0022 * CARGA * EXTR (I)
670 IF J = 12 THEN 690
680 GOTO 700
690 J = 1
700 CAP (I + 1) = CAP (I) + VCH (I) + EXTR (I) - DEMA (J)
710 IF CAP (I+1) XNAMO THEN 770
720 IF CAP (I+1) CAPMIN THEN 810
730 VOLUME = CAP (I + 1)
```

```
740  GOSUB 1500 SUB ELEVACION
750  CARG (I) = ELEVA - ALES
760  GOTO 850
770  DERRAM = DERRAM + CAP (I+1) - XNAMO
775  ND = ND + 1
780  CAP (I+1) = XNAMO
790  CARG (I) = ENAMO - ALES
800  GOTO 850
810  DEFI = CAPMIN - CAP (I+1)
812  DEFC = DEFI + DEFC
815  NDEF = NDEF + 1
820  CAP (I+1) = CAPMIN
830  DEMA (J) = DEMA (J) - DEFI
840  CARG (I) = EMIN - ALES
```

850 GENE (I) = 0.0022 \* DEMA (J) \* CARG (I)

855 HMED = HMED + CARG (I)

860 AGENA = AGENA + GENA (I)

870 AGENE = AGENE + GENE (I)

880 DEMAN = DEMAN + DEMA (J)

890 J = J + 1

900 PRINT

950 NEXT I

1200 GMED = AGENA /25

1210 CAINS = GMED/ (FP \* 8.76)

1220 GMCH = AGENE/25

1230 CAINCH = GMCH/ (FPCH \* 8.76)

1250 P D = ( DERRAM/DEMAN ) \* 100

1260 PDF = ( DEFC/DEMAN ) \* 100

1270 P A = DEMAN/25

1280 ' IMPRESION DE CUADRO RESUMEN

1300 PRINT " NUMERO DE DEFICIENCIAS " NDEF

1310 PRINT " NUMERO DE DERRAMES " ND

1320 PRINT " % DE DEFICIENCIAS " PDF

1330 PRINT " % DE DERRAMES " PD

1340 PRINT " VOLUMEN PROMEDIO ANUAL APORTADO " PA "MILL M3 "

1350 PRINT " VOLUMEN TOTAL APORTADO " DEMAN " MILL M3 "

1360 PRINT " GENERACION ANUAL ALT-SN. AGST " GMED " GW "

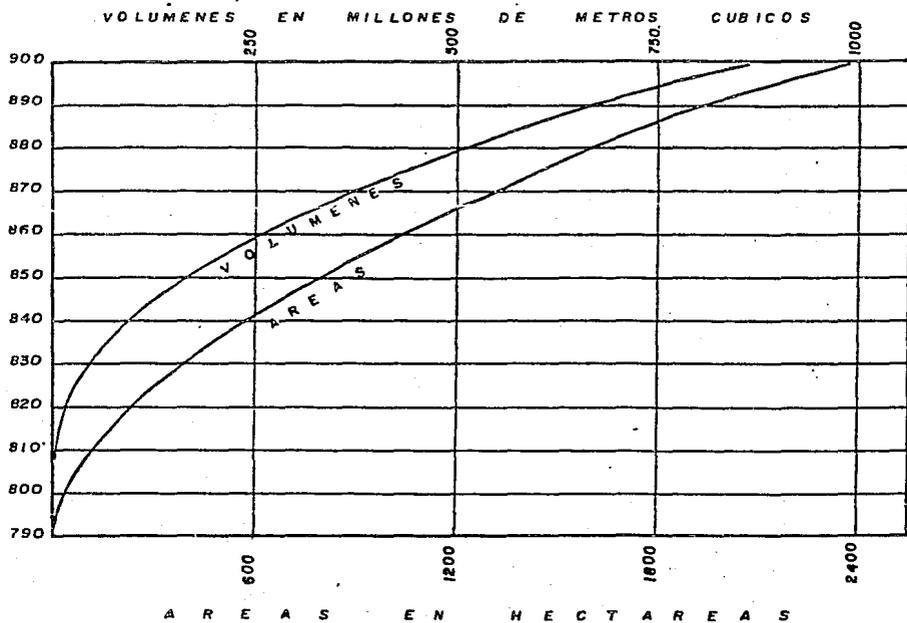
1370 PRINT " GENERACION ANUAL CHACTE " GMCH " GW "

1380 PRINT " ENERGIA TOTAL GENERADA ALT-SN. AGST " AGENA  
" GW "

1390 PRINT " ENERGIA TOTAL GENERADA CHACTE " AGENE " GW "

1400 PRINT " ENERGIA TOTAL GENERADA " AGENA + AGENE " GW "

```
1410 PRINT " CAPACIDAD INSTALADA ALT-SN AGST " CAINS " MW "  
1420 PRINT " CAPACIDAD INSTALADA CHACTE " CAINCH " " MW "  
1430 PRINT " FACTOR DE PLANTA ALT-SN AGST " F P  
1440 PRINT " FACTOR DE PLANTA CHACTE " F P C H  
1444 HMED = HMED 1300  
1445 PRINT " CARGA PROMEDIO " HMED  
1450 END  
  
1500 ' SUB ELEVACION  
1510 FOR K = 1 TO 12  
1520 IF VOLUME = VOL (K) THEN 1550  
1530 NEXT K  
1550 ELEVA = ( ( ELEA (K) - ELEA (K-1) / (VOL (K) - VOL (K-1))  
* VOLUME - VOL (K-1) + ELEA (K-1)  
1560 RETURN 750
```



ELEVACION msnm	AREAS hectáreas	VOLUMENES mill de m <sup>3</sup>
790	0.000	0.000
800	50.000	2.000
810	98.000	9.800
820	208.000	25.200
830	394.000	55.300
840	604.400	105.220
850	790.000	174.400
860	893.200	264.100
870	1285.600	377.940
880	1570.800	520.660
890	1914.200	696.260
900	2230.000	905.620

**VASO CHACTE**  
**CURVA AREAS-CAPACIDADES**

EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FIG. 8 SERÍA :

- 1).- CON LA APORTACIÓN DE ALTAMIRANO - SAN AGUSTÍN, EXT Y LA CARGA  $H_2$ , QUE SE SUPONE CONSTANTE, SE CALCULA LA ENERGÍA GENERADA CON ESE VOLUMEN.
- 2).- AL SUMAR EL ESCURRIMIENTO HACÍA EL VASO, VCH, MAS EXT SE OBTIENE LA APORTACIÓN QUE ENTRA AL VASO.
- 3).- LA POLÍTICA DE EXTRACCIÓN, DEMA (I), PERMITE OBTENER EL ALMACENAMIENTO FINAL EN EL VASO, CAP (I + 1) Y LA CARGA  $H_2$ .
- 4).- SE CALCULA LA ENERGÍA GENERADA Y EL VOLUMEN ENVIADO HACÍA ITZANTUM.

EL DIAGRAMA DE FLUJO ES EL MOSTRADO FIG. 9, Y LAS VARIABLES SE DEFINEN EN LA SIGUIENTE LISTA :

ENAMO.- VALOR DEL NIVEL PARA EL ALMACENAMIENTO DE AGUA MÁXIMO ORDINARIO

MO ORDINARIO

XNAM.- VALOR DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA MÁXIMO ORDINARIO.

CAP (I).- ALMACENAMIENTO EN EL VASO EN EL INSTANTE (I).

ALIN.- ALMACENAMIENTO INICIAL EN EL VASO.

EALIN.- VALOR DEL NIVEL PARA EL ALMACENAMIENTO INICIAL EN  
EL VASO.

EXT.- VOLUMEN APORTADO POR ALTAMIRANO - SAN AGUSTÍN.

FP.- FACTOR DE PLANTA PARA EL SISTEMA ALTAMIRANO - SAN AGUS  
TÍN.

FPCH.- FACTOR DE PLANTA PARA EL SISTEMA CHACTÉ.

CAPMIN.- ALMACENAMIENTO DE AGUA MÍNIMO PARA LA OPERACIÓN DEL  
VASO.

EMIN.- VALOR DEL NIVEL PARA EL ALMACENAMIENTO MÍNIMO DE OPE  
RACIÓN.

DEMA (J).- VALOR DEL VOLUMEN DE AGUA QUE CUBRE UNA DEMANDA ESTABLECIDA.

ELES.- VALOR PARA EL NIVEL DEL DESFOGUE EN EL RÍO ALMANDRO.

NR.- NÚMERO DE DATOS DE REGISTRO DE ESCURRIMIENTO MENSUAL.

HMED.- CARGA PROMEDIO DE GENERACIÓN.

CARGA.- VALOR DEL DESNIVEL CONSTANTE PARA LA GENERACIÓN CON EL CAUDAL EXT.

CON EL FIN DE SINTETIZAR EL NÚMERO DE CASOS A -  
EVALUAR Y ASÍ MISMO APROVECHANDO LA INFORMACIÓN DE LAS CON-  
CLUSIONES DE LA REFERENCIA (1); REFERENCIA DE LA QUE SE HA  
RECABADO LA INFORMACIÓN BÁSICA DE ESTE TRABAJO, QUE SUGIEREN  
QUE EL ANÁLISIS SE DIRIJA HACIA ALTERNATIVAS CON NIVELES DE  
NAMO IGUAL O SUPERIOR A LA COTA 900.00 M.S.N.M. Y A CONTAR -

CON CAPACIDAD INSTALADA REGIDA POR FACTORES DE PLANTA DE 0.5  
PARA GENERAR LOS MEJORES BENEFICIOS.

LA SIMULACIÓN SE HIZO CON UNA CARGA CONSTANTE DE -  
300.00 M PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA POR LA APOB  
TACIÓN DE ALTAMIRANO - SAN AGUSTÍN Y UNA ELEVACIÓN DEL NAMO  
EN EL VASO CHACTÉ A LA COTA 900.00 M.S.N.M. Y SE MANEJARON -  
DOS VARIANTES PARA LA ELECCIÓN DEL NIVEL DE DESFOGUE; A LA -  
COTA 450.00 Y A LA COTA 600.00 M.S.N.M., EL FACTOR DE PLANTA  
USADO FUE EN TODOS LOS CASOS DE 0.5

LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN SON LOS QUE SE MUES  
TRAN EN LOS SIGUIENTES CUADROS RESUMEN :

## ALTERNATIVA A - 1

CHACTE		ALTAMIRANO - SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1220.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	450.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4.00 M
DEFICIENCIAS	1 % 0.73	VOLUMEN	310.00 MILL M <sup>3</sup>
DERRAMES	33 % 3.15	VOLUMEN	1323.73 MILL M <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1681.56 MILL M <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN		685.68	GW
GENERACION ANUAL SIST CHACTE		1615.71	GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN		156.55	MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE		368.88	MW
CARGA PROMEDIO SIST CHACTE		438.07	M

## ALTERNATIVA A - 2

CHACTE		ALTAMIRANO - SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1220.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	450.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4,5
DEFICIENCIAS	3 % 0.81	VOLUMEN	337.71 MILL M <sup>3</sup>
DERRAMES	49 % 5.68	VOLUMEN	2347.54 MILL M <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1653.89 MILL M <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			694.45 GW
GENERACION ANUAL SIST CHACTE			1587.20 GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			158.55 MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE			362.38 MW
CARGA PROMEDIO SIST CHACTE			437.57 M

## ALTERNATIVA A - 3

CHACTE		ALTAMIRANO - SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1230.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	450.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4.0
DEFICIENCIAS	1 % 0.05	VOLUMEN	20.30 MILL M <sup>3</sup>
DERRAMES	46 % 6.52	VOLUMEN	2687.76 MILL M <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1647.76 MILL M <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN		699.02	GW
GENERACION ANUAL SIST CHACTE		1576.89	GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN		159.59	MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE		360.02	MW
CARGA PROMEDIO SIST CHACTE		437.37	M

## ALTERNATIVA A - 4

CHACTE		ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1210.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	450.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4.5
DEFICIENCIAS	4 % 0.65	VOLUMEN	261.96 MILL M <sup>3</sup>
DERRAMES	21 % 2.42	VOLUMEN	980.46 MILL M <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1617.77 MILL M <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			632.99 GW
GENERACION ANUAL SIST CHACTE			1538.47 GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			144.52 MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE			351.25 MW
CARGA PROMEDIO SIST CHACTE			434.06 M

## ALTERNATIVA B - I

CHACTE		ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1220.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	600.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4.0
DEFICIENCIAS	2 % 0.74	VOLUMEN	310.04 MILL M. <sup>3</sup>
DERRAMES	33 % 3.15	VOLUMEN	1323.73 MILL M. <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1681.56 MILL M. <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			685.68 GW
GENERACION ANUAL SIST CHACTE			1060.78 GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			156.55 MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE			242.19 MW
CARGA PROMEDIO SIST CHACTE			288.07 M

## ALTERNATIVA B - 2

CHACTE		ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1220.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	600.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4.5
DEFICIENCIAS	3 % 0.82	VOLUMEN	2347.54 MILL M <sup>3</sup>
DERRAMES	49 % 5.68	VOLUMEN	337.71 MILL M <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1653.89 MILL M <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			694.45 GW
GENERACION ANUAL SISTE CHACTE			1041.42 GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			158.55 MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE			237.77 MW
GARCA PROMEDIO SIST CHACTE			287.57 M

## ALTERNATIVA B - 3

CHACTE		ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1230.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	600.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4.0
DEFICIENCIAS	1 % 0.05	VOLUMEN	20.30 MILL M <sup>3</sup>
DERRAMES	46 % 6.52	VOLUMEN	2687.76 MILL M <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1647.76 MILL M <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			699.02 GW
GENERACION ANUAL SIST CHACTE			1033.12 GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			159.59 MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE			235.87 MW
CARGA PROMEDIO SIST CHACTE			287.37 M

## ALTERNATIVA B - 4

CHACTE		ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN	
NAMO	900.00 M.S.N.M.	NAMO	1210.00 M.S.N.M.
TOMA	850.00 M.S.N.M.	TOMA	1205.00 M.S.N.M.
DESFOGUE	600.00 M.S.N.M.	DERIVACION	1200.00 M.S.N.M.
F.P	0.5	DIAMETRO CONDUCCION	4.5
DEFICIENCIAS	4 % 0.65	VOLUMEN	261.96 MILL M <sup>3</sup>
DERRAMES	21 % 2.42	VOLUMEN	980.46 MILL M <sup>3</sup>
VOLUMEN APORTADO PROMEDIO ANUAL			1617.77 MILL M <sup>3</sup>
GENERACION ANUAL SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			632.99 GW
GENERACION ANUAL SIST CHACTE			1004.61 GW
CAPACIDAD INSTALADA SIST ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN			144.52 MW
CAPACIDAD INSTALADA SIST CHACTE			229.36 MW
CARGA PROMEDIO SIST CHACTE			284.06 M

SI CONSIDERAMOS QUE LOS RESULTADOS DE LAS ALTERNATIVAS A-1, A-2 Y A-3 SON MUY SEMEJANTES EN CUANTO A APROVECHAMIENTO, LA MEJOR OPCIÓN ES LA A-1 POR TENER UNA MENOR ELEVACIÓN DE NAMO EN ALTAMIRNAO Y MENOR DIÁMETRO PRELIMINAR DE CONDUCCIÓN. TAMBIÉN ES INTERESANTE LA ALTERNATIVA A-4, DADO QUE SU ELEVACIÓN DE NAMO EN ALTAMIRANO ES A LA COTA 1210.00 LO QUE LA HACE MENOS COSTOSA.

LAS ALTERNATIVAS B-1 Y B-4 SON SIMILARES A LAS ANTES SELECCIONADAS AUNQUE CON UNA MENOR GENERACIÓN DADA LA MENOR CARGA EN CHACTÉ. SIN EMBARGO, SON ATRACTIVAS POR LA MENOR LONGITUD DE LAS TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN Y DE PRESIÓN LO CUAL RESULTA SIGNIFICATIVO PARA EL COSTO TOTAL DEL PROYECTO.

### 3.3.3 DETERMINACION DE TIPO, NUMERO Y DIMENSIONES PRINCIPALES DE LAS UNIDADES GENERADORAS.

#### ALTERNATIVA A-1

#### DATOS PRINCIPALES

CHACTE	ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN
NAMO = 900.00	NAMO = 1220
NAMNO = 850.00	DERIVACION = 1200
$\eta$ = 0.86	$\eta$ = 0.86
CI = 369.00 MW	CI = 157.00 MW
F.P = 0.5	F.P = 0.5
H <sub>MED</sub> = 438.00 M	H <sub>MED</sub> = 300.00 M

PARA EL SISTEMA ALTAMIRANO-SAN AGUSTÍN CONSIDERAMOS UNA VELOCIDAD DE GIRO DE 600 R P M QUE ES USUAL PARA PROYECTOS CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES, QUEDANDO LA VELOCIDAD ESPECÍFICA :

$$N_s = \frac{N P^{1/2}}{H} = \frac{600 (1.36 \times 157000)^{1/2}}{(300)^{5/4}} = 222.06$$

$N_s$  — VELOCIDAD ESPECÍFICA

$N$  — VELOCIDAD DE GIRO, EN RPM

$P$  — POTENCIA AL FRENO, EN CV

$H$  — CARGA NETA, EN M

POR EL ALTO VALOR DE VELOCIDAD ESPECÍFICA REQUERIMOS

MÁS DE UNA UNIDAD :

CON 4 UNIDADES

$$N'_s = \frac{N_s}{4} = 111$$

QUE ES ACEPTABLE PARA TURBINAS FRANCIS LENTAS YA QUE SI BIEN

LA  $N'_s$  ESTÁ EN EL LIMITE DE SELECCIÓN, ACTUALMENTE SE CONS -

TRUYEN ESTE TIPO DE TURBINAS CON VALORES DE  $N'_s$  HASTA DE -

116 CON UN BUEN FUNCIONAMIENTO.

EL GASTO TOTAL ES :

$$Q = \frac{P}{N G H} = \frac{152\ 000}{0.86 \times 9.81 \times 300} = 62.03 \text{ M}^3/\text{s}$$

DIÁMETROS DE LOS RODETES FÓRMULA DE BEREJNOV

$$D = (0.16 N_s' + 35.1) \frac{H}{N} = (0.16 \times 111 + 35.1) \frac{300}{600} = 1.53 \text{ M}$$

$$P = \frac{60F}{N} = \frac{60 \times 60}{600} = 6 \text{ PARES DE POLOS}$$

$$\text{CAPACIDAD DE CADA UNIDAD : } \frac{157}{4} \hat{=} 39 \text{ MW}$$

DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS DE CONDUCCION Y PRESIÓN :

LOS VALORES PARA LA VELOCIDAD EN LA CONDUCCIÓN Y EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN, QUE DAN LOS MEJORES RESULTADOS ECONÓMICOS, SEGÚN LO A PROBADO LA C.F.E. SON DE 4 M/S Y 6 M/S RESPECTIVAMENTE.

TUBERÍA DE CONDUCCIÓN :

$$D_c = \sqrt{\frac{4 Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \times 62.03}{\pi \times 4}} = 4.44 \text{ M}$$

TUBERÍA DE PRESIÓN :

$$D_P = \sqrt{\frac{4 \times 62.03}{\pi \times 6}} = 3.63 \text{ m.}$$

PARA EL SISTEMA CHACTÉ ELEGIMOS TAMBIÉN UNA VELOCIDAD ESPECÍFICA DE 600 RPM, PENSANDO EN QUE UNA TURBINA FRANCIS AÚN ESTA EN EL RANGO DE LA CARGA DE DISEÑO SEGÚN LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA PARA PROYECTOS DE CARACTERÍSTICAS SEMEJANTES.

$$N_S = \frac{600 (1.36 \times 369.000)^{\frac{1}{2}}}{(438)^{\frac{5}{4}}} = 212.1$$

SI OPTAMOS POR 4 UNIDADES :

$$N'_S = \frac{N_S}{4} = 106.$$

GASTO TOTAL :

$$Q = \frac{369.000}{0.86 \times 9.81 \times 438} = 99.36 \text{ M}^3/\text{S}$$

DIÁMETRO DE RODETE :

$$D = ( 0.16 \times 106 + 35.1 ) \sqrt{\frac{438}{600}} = 1.82 \text{ M}$$

CAPACIDAD DE CADA UNIDAD :  $\frac{369}{4} = 92.3 \text{ MW}$

TUBERÍA DE CONDUCCIÓN :

$$D_C = \sqrt{\frac{99.86 \times 4}{\pi \times 4}} = 5.64 \text{ M.}$$

TUBERÍA DE PRESIÓN :

$$D_P = \sqrt{\frac{4 \times 99.86}{\pi \times 6}} = 4.60 \text{ M}$$

ALTERNATIVA A - 4

DATOS PRINCIPALES

CHACTÉ

NAMO = 900.00 M.S.N.M.

NAMINO = 850.00 M.S.N.M.

$\eta = 0.86$

ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN

NAMO = 1210.00 M.S.N.M.

DERIVACION = 1200.00 M.S.N.M.

$\eta = 0.86$

## CHACTE

$$C.I = 351.25 \text{ MW}$$

$$F.P = 0.5$$

$$H_{MED} = 434.06 \text{ M}$$

## ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN

$$C.I = 144.52 \text{ MW}$$

$$F.P = 0.5$$

$$H_{MED} = 300.00 \text{ M}$$

## SISTEMA ALTAMIRANO - SAN AGUSTIN

VELOCIDAD ESPECÍFICA PARA  $M = 600 \text{ RPM}$  :

$$N_s = \frac{600 (1.36 \times 144 \ 520)^{1/2}}{(300)^{5/4}} = 213.0$$

CON 4 UNIDADES TIPO FRANCIS :

$$N'_s = \frac{213}{4} = 106.5$$

GASTO TOTAL :

$$Q = \frac{144 \ 520}{0.86 \times 9.81 \times 300} = 57.1 \text{ M}^3/\text{s}$$

DIÁMETRO DE RODETE :

$$D = ( 0.16 \times 106.5 + 35.1 ) \frac{300}{600} = 1.51 \text{ M}$$

$$\text{CAPACIDAD POR UNIDAD : C.U.} = \frac{144.52}{4} = 36 \text{ MW}$$

TUBERÍA DE CONDUCCIÓN :

$$D_C = \sqrt{\frac{4 \times 57.1}{4 \pi}} = 4.26 \text{ M}$$

TUBERÍA DE PRESIÓN :

$$D_P = \sqrt{\frac{4 \times 57.1}{6 \pi}} = 3.48 \text{ M}$$

SISTEMA CHACTÉ :

VELOCIDAD ESPECÍFICA ( N = 600 RPM )

$$N_s = \frac{600 ( 1.36 \times 351.250 )^{\frac{1}{2}}}{( 434.06 )^{5/4}} = 209.3$$

PARA 4 UNIDADES FRANCIS :

$$N'_s = 104.6$$

$$Q = 95.91 \text{ M}^3 / \text{s}$$

$$D = 1.80 \text{ M}$$

$$CU = \frac{351.25}{4} = 87.8 \text{ MW}$$

$$D_c = 5.52 \text{ M}$$

$$D_p = 4.51 \text{ M}$$

### ALTERNATIVA B - 1

#### DATOS PRINCIPALES

##### CHACTÉ

$$\text{NAMO} = 900.00 \text{ M.S.N.M.}$$

$$\text{NAMINO} = 850.00 \text{ M.S.N.M.}$$

$$\eta = 0.86$$

$$\text{CI} = 242.19 \text{ MW}$$

$$\text{FP} = 0.5$$

$$\text{HMED} = 288.07 \text{ M}$$

##### ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN

$$\text{NAMO} = 1220.00$$

$$\text{DERIVACION} = 1200.00$$

$$\eta = 0.86$$

$$\text{CI} = 156.55 \text{ MW}$$

$$\text{FP} = 0.5$$

$$\text{HMED} = 300.00 \text{ M}$$

## SISTEMA ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN

VELOCIDAD ESPECÍFICA ( N = 600 RPM )

$$N_s = 221.7$$

PARA 4 UNIDADES FRANCIS

$$N'_s = 110.9$$

$$Q = 61.85 \text{ M}^3 / \text{s}$$

$$D = 1.52 \text{ M}$$

$$CU = \frac{156.55}{4} = 39 \text{ MW}$$

$$D_c = 4.44 \text{ M}$$

$$D_p = 3.63 \text{ M}$$

## SISTEMA CHACTE

VELOCIDAD ESPECÍFICA ( N = 600 RPM )

$$N_s = 290.2$$

## PARA 4 UNIDADES FRANCIS

$$N_s = 118.5$$

$$Q = 99.65 \text{ M}^3/\text{s}$$

$$D = 1.88 \text{ M}$$

$$C U = \frac{242.19}{6} = 40.4 \text{ MW}$$

$$D_c = 5.63 \text{ M}$$

$$D_p = 4.60 \text{ M}$$

## ALTERNATIVA B - 4

## DATOS PRINCIPALES

## CHACTE

$$\text{NAMO} = 900.00 \text{ M.S.N.M.}$$

$$\text{NAMINO} = 850.00 \text{ M.S.N.M.}$$

$$? = 0.86$$

$$\text{CI} = 229.36 \text{ MW}$$

$$\text{FP} = 0.5$$

$$\text{HMED} = 284.06 \text{ M}$$

## ALTAMIRANO-SAN AGUSTIN

$$\text{NAMO} = 1210.00 \text{ M.S.N.M.}$$

$$\text{DERIVACION} = 1200.00 \text{ M.S.N.M.}$$

$$? = 0.86$$

$$\text{CI} = 144.52 \text{ MW}$$

$$\text{FP} = 0.5$$

$$\text{HMED} = 300.00 \text{ M}$$

## SISTEMA ALTAMIRANO - SAN AGUSTIN

VELOCIDAD ESPECÍFICA ( N = 600 RPM )

$$N_s = 213.0$$

PARA 4 TURBINAS FRANCIS

$$N'_s = 106.5$$

$$Q = 57.1 \text{ M}^3 / \text{s}$$

$$D = 1.51 \text{ M}$$

$$C U = 36 \text{ MW}$$

$$D_C = 4.26 \text{ M}$$

$$D_P = 3.48 \text{ M}$$

## SISTEMA CHACTÉ

VELOCIDAD ESPECÍFICA

$$N_s = 287.4$$

## PARA 6 TURBINAS FRANCIS

$$N'_S = 117.3$$

$$Q = 95.7 \text{ M}^3 / \text{s}$$

$$D = 1.51 \text{ M}$$

$$CU = 38.2 \text{ MW}$$

$$D_C = 5.52 \text{ M}$$

$$D_P = 4.51 \text{ M}$$

# CAPITULO IV

## EVALUACION Y CONCLUSIONES

### 4.1 EVALUACION ECONOMICA

LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN PROYECTO DEFINIRÁ, EN ÚLTIMA INSTANCIA, LA SELECCIÓN DE UNA DE ENTRE VARIAS ALTERNATIVAS TÉCNICAMENTE POSIBLES DE REALIZARSE.

BAJO UN MARCO DE ESTABILIDAD ECONÓMICA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS, ES UN PROCESO RELATIVAMENTE SENCILLO, EN DONDE ES ACERTADO MANEJAR BENEFICIOS Y COSTOS FIJOS, Y CONSIDERAR SU VARIACIÓN EN EL TIEMPO REGIDO BAJO TASAS DE INTERÉS DEFINIDAS.

SIN EMBARGO, ACTUALMENTE AL EVALUAR LA RENTABILIDAD DE UN PROYECTO, SE NECESITA CONTAR CON INFORMACIÓN MUY PRECISA Y DETALLADA, ADEMÁS DE CONSIDERAR LAS DEBIDAS PREVISIONES FINANCIERAS A FUTURO, RESPECTO AL VALOR REAL DE LOS BENEFICIOS, A FIN DE GARANTIZAR EL DESARROLLO SANO DEL PROYECTO.

LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS, PARA EL PROYECTO DE TRANSFERENCIA DE AGUA DE UNA CUENCA HACIA OTRA, SE REALIZÓ DE ACUERDO Á LAS SIGUIENTES CONDICIONES, QUE SE ESTIMAN VALIDAS PARA UNA EVALUACIÓN A NIVEL DE FACTIBILIDAD:

1°.- LOS VALORES UTILIZADOS SON APROXIMADOS, Y SE ESTIMARÓN

EN BASE A INFORMACIÓN DE LA C.F.E. ( REFERENCIA I ).

2°.- AL ESTIMAR EL VALOR DE ALGUNOS CONCEPTOS, SE REQUIRIÓ -

AL MANEJO DE PRECIOS EN DÓLARES, PARA ESTO SE USO UNA "

PARIDAD PESO A DÓLAR DE 1 A 600, QUE ERA LA QUE REGÍA EN -  
EL MOMENTO PARA LA DIVISA CONTROLADA.

## 4.2 ANALISIS DE ALTERNATIVAS

### 4.2.1. BENEFICIOS

LOS BENEFICIOS SON LOS QUE SE OBTIENEN POR POTENCIA -  
Y GENERACIÓN, Y SUS VALORES SE MANEJAN EN VALOR PRESENTE, ES -  
TOS RUBROS SE ESTIMARÓN EN BASE A LAS SUMAS ACTUALIZADAS HAS -  
TA EL INFINITO DE LOS BENEFICIOS ANUALES, GENERADOS POR LA -  
CORRIDA DEL PROGRAMA M N I, DE ENERO DE 1978 ( SUBGERENCIA DE  
ESTUDIOS ELÉCTRICOS, C.F.E. ) Y SON LOS QUE A CONTINUACIÓN -  
SE PRESENTAN :

(PP) POTENCIA EN PICO	164 433.35 \$/KW
(GP) GENERACION EN PICO	117.13 \$/KWH

(GFP) GENERACION FUERA DE PICO

91.83 \$/KWH

LA GENERACIÓN EN PICO SE ESTIMÓ, COMO UN 6 % DE LA  
ENERGÍA TOTAL PRODUCIDA.

LOS BENEFICIOS ESPERADOS, PARA CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS,-  
SE INTEGRAN EN LA TABLA V .

ALTERNATIVA	POTENCIA PICO (PP)	GENERACION PICO (GP)	GENERACION FUERA DE PICO (GFP)	TOTAL
A-1				
ALTAMIRANO-SN	25 742	4819	59 188	89 749
AGUSTÍN CHACTÉ	60 656	11355	139 468	211 479
	86 398	16174	198 656	301 228
A-4				
ALTAMIRANO-SN	23 764	4448	54 640	82 852
AGUSTÍN CHACTÉ	57 757	10812	132 801	201 370
	81 521	15260	187 441	284 222
B-1				
ALTAMIRANO-SAN	25 742	4819	59 188	89 749
AGUSTÍN CHACTÉ	39 824	7465	91 567	138 856
	65 566	12284	150 755	228 605
B-4				
ALTAMIRANO-SN	23 764	4448	54 640	82 852
AGUSTÍN CHACTÉ	37 714	7060	86 718	131 492
	61 478	11508	141 358	214 344

( CANTIDADES EN MILLONES DE PESOS )

## 4.2.2 COSTOS

PARA DETERMINAR LOS COSTOS QUE IMPLICA LA REALIZACIÓN

DE CADA ALTERNATIVA SE CONSIDERARÓN LOS CONCEPTOS QUE SIGUEN :

CORTINA DE TIERRA  
 OBRA DE EXCEDENCIAS  
 TUNEL DE CONDUCCION  
 TUBERIA DE PRESION  
 TURBINAS  
 GENERADORES  
 LINEAS DE TRANSMISION  
 SUBESTACIONES  
 MANTENIMIENTO Y OPERACION

CORTINA DE TIERRA.-

LOS VOLUMENES FUERON TOMADOS DE LA ESTIMACIÓN REALIZA

DA POR C. F. E. Y LOS COSTOS SE MUESTRAN EN LA TABLA V'

ALTERNATIVA	C O R T I N A		PANTALLA YOD MILL DE PESOS
	VOLUMEN	MILL DE PESOS	
A-1, B-1, B-4			
ALTAMIRANO	2 806 250	6 595	1 572
SAN AGUSTÍN	476 250	1 119	267
CHACTÉ	4 664 250	10 960	2 612
TOTAL			23 125
A-4			
ALTAMIRANO	2 562 500	6 022	1 435
TOTAL			22 413

## OBRA DE EXCEDENCIAS

ALTAMIRANO	\$ 3972 MILL
ALTAMIRANO ALTERNATIVA A-4	\$ 3626 MILL
SAN AGUSTIN	\$ 674 MILL
CHACTE	\$ 6600 MILL

## TUNEL DE CONDUCCION TABLA VI :

ALTERNATIVA	DIAMETRO (M)	LONGITUD (M)	COSTO MILL DE PESOS
A - I			
Altamirano-San Agustín	4.00	10 500	13 440
San Agustín-Chacté	4.44	18 500	26 285
Chacté-Itzantum	5.64	10 853	19 587
		TOTAL	59 312
A - 4			
Altamirano-San Agustín	4.00	10 500	13 440
San Agustín-Chacté	4.26	18 500	25 219
Chacté-Itzantum	5.52	10 853	19 171
		TOTAL	57 830

TABLA VI

ALTERNATIVA	DIAMETRO (M)	LONGITUD (M)	COSTO MILL DE PESOS
<b>B - I</b>			
Altamirano-San Agustín	4.00	10 500	13 440
San Agustín-Chacté	4.44	18 500	26 285
Chacté-Itzantun	5.64	3 957	7 142
		<b>TOTAL</b>	<b>46 867</b>
<b>B - 4</b>			
Altamirano-San Agustín	4.00	10 500	13 440
San Agustín-Chacté	4.26	18 500	25 219
Chacté-Itzantun	5.52	3 957	6 990
		<b>TOTAL</b>	<b>45 649</b>

TABLA VI

## TUBERIA DE PRESION

ALTERNATIVA	DIAMETRO M	LONGITUD M	COSTO MILL PESOS
A-1 San Agustín- Chacté Chacté-Itzantum	3.63 4.66	2000 760	54 390 26 533
		TOTAL	80 923
A-4 San Agustín- Chacté Chacté-Itzantum	3.48 4.51	2000 760	52 143 25 679
		TOTAL	77 822
B-1 San Agustín- Chacté Chacté-Itzantum	3.63 4.60	2000 500	54 390 17 231
		TOTAL	71 621
B-4 San Agustín- Chacté Chacté-Itzantum	3.48 4.51	2000 500	52 143 16 894
		TOTAL	69 037

TABLA VI'

## COSTO DE TURBINAS Y GENERADORES

ALTERNATIVA	RPM	H M	G ANUAL GW	CAP. INST. TURB. FRANCIS	COSTO	
					TURBINAS MILL	GENERADOR PESOS
<b>A - I</b>						
Altamirano-Sn. Agus tín	600	300	686	4 x 39 MW	4992	2 808
Chacté	600	438	1616	4 x 92.3 MW	11814	6 646
				SUB-TOTAL	16806	9 454
					TOTAL	26 260
<b>A - 4</b>						
Altamirano-Sn. Agus tín	600	300	633	4 x 36 MW	4608	2 592
Chacté	600	434	1538	4 x 87.8 MW	11238	6 322
				SUB-TOTAL	15846	8 914
					TOTAL	24 760
<b>B - I</b>						
Altamirano-Sn. Agus tín	600	300	686	4 x 39 MW	4992	2 808
Chacté	600	288	1061	6 x 40.4 MW	7757	4 363
				SUB-TOTAL	12749	7 171
					TOTAL	19 920
<b>B - 4</b>						
Altamirano-Sn. Agus tín	600	300	633	4 x 36 MW	4608	2 592
Chacté	600	284	1005	6 x 38.2 MW	7340	4 126
				SUB-TOTAL	11948	6 718
					TOTAL	18 666

TABLA VII

## LINEAS DE TRANSMISION Y SUBESTACION

ALTERNATIVA	LONG L.T. KM	LINEA A TRANS. MILL DE PESOS	SUBESTA- CION MILL DE PESOS	TOTAL MILL DE PESOS
A - I				
Altamirano-San Agustfn	30	1080	2 441	3 521
Chacté	51	1530	5 778	7 308
A - 4				
Altamirano-San Agustfn	30	1080	2 254	3 334
Chacté	51	1530	5 496	7 026
B - I				
Altamirano-San Agustfn	30	1080	2 441	3 521
Chacté	61	1830	3 794	5 624
B - 4				
Altamirano-San Agustfn	30	1080	2 254	3 334
Chacté	61	1830	3 587	5 417

TABLA VIII

## OPERACION Y MANTENIMIENTO.-

PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS QUE MUESTRA LA TABLA SE UTILIZARÁN LAS SIGUIENTES FORMULAS ( C.F.E. ) :

— OBRA CIVIL	$OC = 0.005 \text{ I R}$
— TURBINAS Y GENERADORES	$TG = 0.02 \text{ I R}$
— LINEAS DE TRANSMISION Y SUBESTACIONES	$LTS = 0.006 \text{ PI} + 0.01 \text{ LLT}$
— OPERACION	$OP = 0.01 \text{ PI} + 0.003 \text{ GA}$

DONDE :

IR = INVERSION REAL ( MILL DE PESOS )

PI = POTENCIA INSTALADA ( M W )

LLT = LONGITUD DE LAS LINEAS DE TRANSMISION ( RM )

GA = GENERACION ANUAL ( GWH )

ALTERNATIVA	OBRA CIVIL	TURBINAS Y GENERADORES	L. TRANSMISION Y SUBESTACION	OPERACION	TOTAL
A-I	873	525	3.96	12.16	1414
A-4	845	495	3.78	11.46	1355
B-I	764	398	3.29	9.22	1174
B-4	745	373	3.14	8.64	1130

CANTIDADES EN MILLONES DE PESOS

TABLA IX

### 2.3 EVALUACION

LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS SE DETERMINÓ MEDIANTE LA OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN BENEFICIO - COSTO, QUE SE DETERMINÓ DEL COCIENTE DE LA SUMA DE LOS COSTOS ENTRE LA SUMA DE LOS BENEFICIOS ESPERADOS, Y SUS RESULTADOS FORMAN LA TABLA X . .

ALTERNATIVA	BENEFICIOS	COSTOS	B/C
A - I	301 228	213 109	1.41
A - 4	284 222	205 442	1.38
B - I	228 605	183 098	1.25
B - 4	214 344	177 604	1.20

CANTIDADES EN MILLONES DE PESOS

TABLA X

#### 4.2.3 CONCLUSIONES

DE ACUERDO CON LOS RESULTADOS GENERADOS POR LA EVALUACIÓN ECONÓMICA, LAS CUATRO ÚLTIMAS ALTERNATIVAS SON RENTABLES, Y DE ELLAS LA A-I, QUE ES LA QUE MAYOR CAUDAL APORTA A LA CUENCA DEL GRIJALVA, ES LA MEJOR.

DE TAL MANERA QUE EL PROYECTO DE ENVÍO DE AGUA DE UNA CUENCA A OTRA, SE VE ORIENTADA HACIA ALTERNATIVAS QUE MAXIMIZAN EL CAUDAL, YA QUE SI BIEN EL COSTO DE LA INFRAESTRUCTURA ES MAYOR, SE COMPENSA MEJOR CON MAYORES BENEFICIOS.

POR LO ANTERIOR, PARA ESTUDIOS MÁS DETALLADOS DEL PROYECTO, SERÍA RECOMENDABLE PRECISAR CON MAYOR DETALLE LOS ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS, A FIN DE AMPLIAR LAS CURVAS DE ÁREAS CAPACIDADES Y ANALIZAR DIFERENTES COMBINACIONES DE VASOS, CON LA META DE LOGRAR MÁS CAUDAL Y AUMENTAR LAS CARGAS DISPONIBLES PARA GENERACIÓN.

SI BIEN LA RENTABILIDAD DE UN PROYECTO, POR MEDIO -  
DE LOS PROCEDIMIENTOS TRADICIONALES DE EVALUACIÓN TIENE PLE-  
NA VALIDEZ. SE CONSIDERA QUE UN PROYECTO DEL TIPO QUE SE -  
ESTUDIO AQUÍ, TENDRÍA QUE EQUIPARARSE A OTRAS SOLUCIONES AL-  
TERNAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

UNA SOLUCIÓN DIFERENTE DE APROVECHAR LOS CAUDALES  
DE LA CUENCA ALTA DE USUMACINTA, SERÍA EL DESARROLLAR UN -  
SISTEMA HIDROELÉCTRICO EN LA PROPIA CUENCA. ALTERNATIVA -  
QUE SE PRESENTA INTERESANTE, SI SE CONSIDERA QUE INTERCONEC-  
TAR ESTE SISTEMA MEDIANTE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ES DE ENTRE  
5 Y 6 VECES MENOR, QUE LA CONSTRUCCIÓN DE TUNELES PARA  
ENVIAR CAUDALES HACIA LA CUENCA VECINA.

POR OTRA PARTE, HABRÍA QUE TENER PRESENTE QUE LA

GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, ACTUALMENTE ES MAS RENTABLE -  
MEDIANTE PLANTAS TERMOELÉCTRICAS, DADO EL DESCENSO DE LOS PRE-  
CIOS INTERNACIONALES DE LOS HIDROCARBUROS.

SIN EMBARGO, SE CONSIDERA QUE EL VALOR DEL PROYECTO  
RESIDE EN QUE NO OBSTANTE SU AUDAZ PLANTEAMIENTO, ES TECNICA-  
MENTE FACTIBLE DE REALIZARSE.

## RECONOCIMIENTO

QUIERO HACER PATENTE MI RECONOCIMIENTO A LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, POR PERMITIRME EL USO DE LA INFORMACIÓN BASICA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO.

AL ING. HUMBERTO GARDEA V. POR SU CONFIANZA Y DIRECCIÓN PARA EL BUEN DESARROLLO DE ESTA TESIS.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- CHACTE I: ANALISIS  
PRELIMINARES DE TRES ALTERNATIVAS  
GARDEA V. HUMBERTO  
GERENCIA GENERAL DE  
ESTUDIOS e INGENIERIA  
PRELIMINAR C. F. E.
- 2.- MODIFICACION EN EL APROVECHAMIENTO  
DE DOS SISTEMAS FLUVIALES POR LA  
DERIVACION DE CAUDALES DEL UNO AL OTRO  
MITCHELL H. GUILLERMO  
TESIS PROFESIONAL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNAM 1978.
- 3.- MANUAL DE OBRAS CIVILES  
COMISION FEDERAL DE  
ELECTRICIDAD TOMO II.
- 4.- DESIGN OF SMALL DAMS  
BUREAU OF RECLAMATION
- 5.- ENERGIA HIDROELECTRICA  
TURBINAS Y PLANTAS GENERADORAS  
ZUBICARAY y ALONSO  
LIMUSA 1977.
- 6.- INGENIERIA DE SISTEMAS  
CARDENAS MIGUEL  
LIMUSA 1978.
- 7.- ANALISIS DE SISTEMAS  
e INGENIERIA DE OPERACIONES  
GEREZ VICTOR  
CZITROM VERONICA  
REPRESENTACIONES Y  
SERVICIOS DE INGENIERIA  
1978.