DESCARTE

ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO.

BIBLIOTECA CENTRAL

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

JORGE KING BETANCOURT

México, D. F. 1965.

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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 esta 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.

A MI MADRE

Para que recojas un poco de lo mucho que has sembrado.

105977

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA.
Dirección.
Núm. 73-
Exp. núm. 73/214.2/-1.

Al Pasante señor Jorge KING BENTACOURT,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor profesor -- Ingeniero Arnulfo Paz Sánchez para que lo desarrolle como tésis en su examen profesional de Ingeniero CIVIL.

"ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CD. DE CHETUMAL, Q.R.".

Se hará una exposición general del problema con especial énfasis al diseño de la red y al tratamiento -- del agua.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable; así - como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tésis el título del trabajo realizado.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D.F., a 10 de agosto de 1964.
EL DIRECTOR

Ing. Antonio Dovalí Jaime.

ADJ/MMO/mvb.

ABATECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN CHETUMAL, QUINTANA ROO.

Y SU TRATAMIENTO DE AGUAS.

I.- ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.

II.- SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

a).- FUENTES DE PROVISION.

(aguas de lluvia)

b).- BAHIA DE CHETUMAL.

(Río Hondo, Aguas subterraneas, laguna de Bacalar, fuentes lejanas).

c) REGULARIZACION.

d) RED DE DISTRIBUCION.

III.- ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN CHETUMAL.

IV.- SINTESIS.

V.- CONCLUSIONES.

VI.- BIBLIOGRAFIA.

A N T E C E D E N T E S .

La Península de Yucatán, situada al sureste de la República Mexicana, en la antigüedad formaba una sola entidad, después su trazo territorial fue modificado, actualmente comprende, al - Norte el Estado de Yucatán, al Occidente el Estado de Campeche - y al Oriente y Sudoeste el Territorio de Quintana Roo.

En esa región floreció la más brillante civilización del - Continente Americano y fue habitada por la raza maya.

No se sabe a punto fijo el origen de la raza maya, su re-- cuerdo se pierde en la obscuridad de la leyenda, la localización geográfica de esos pueblos se ha perdido.

Sin embargo, sabemos por las estelas levantadas al Sur de- Yucatán en tierras de Guatemala, Honduras, Belice, parte de Chiapas y Tabasco, que allí tuvieron un primer florecimiendo llamando a esa época el Antiguo Imperio.

La edad de oro de los mayas en el Antiguo Imperio, fue del 633 a 830 D. de C.

Fue entonces cuando levantaron los más suntuosos edificios quedando como vestigios las ruinas de las antiguas ciudades de - Tikal, Uachactún, Yaxilán, Palenque y Bonampak.

En el siglo VI se inician los grandes movimientos migratorios hacia el Norte, siguiendo la ruta del Caribe y del Golfo de México.

Las migraciones a Yucatán se intensifican y las oleadas humanas empujan a unos grupos y fijan a otros.

Según Silvanus Morley, autor de "La Civilización Maya", - fue el agotamiento de las tierras por el mal sistema agrícola lo

que motivó el abandono de aquellas regiones en busca de mejores sitios para colonizar.

Las antiguas ciudades quedaron abandonadas, los pueblos - mayas empujados hacia el norte, comienzan a moverse a lo largo- del Mar Caribe, Tulum e Ichpaatun, ciudades fundadas en las costas orientales de la Península son testigos de aquella temprana colonización.

En los siglos VII y VIIIlos mayas alcanzaron el centro de la Península. El manuscrito maya denominado Chilam Balam de - Chumayel, habla de las dispersiones de aquella raza por el Caribe.

"Cuando se multiplicó la muchedumbre de los hijos de la - tierra, fue el centro Cuzam-mail".

La civilización maya se fundó en el descubrimiento del - cultivo del maíz que debe haber aparecido hacia el tercer milenio, antes de nuestra Era.

Fue probablemente en el Occidente de Guatemala, donde se- desarrolló el sistema de agricultura que dió por resultado el - descubrimiento de la gramínea que constituyó la base de la alimentación de aquellos pueblos.

En la Península de Yucatán surgió el renacimiento de la - antigua cultura Maya-Quiché, entonces llamaron a aquella región Tierra del Mayab y levantaron las ciudades de Chichen-Itzá, Uxmal y Mayapan, fue este el Nuevo Imperio, fundaron la triple - alianza y vino un período de paz y florecimiento.

Por causas que aún no esclarecen los investigadores históricos, aquellas grandes ciudades fueron abandonadas, Mayapan - desapareció y las ruinas de Chichen-Itzá y Uxmal asombran al vi

citante, hablan de aquella portentosa civilización y del alto - nivel cultural que alcanzaron aquellos pueblos en todos los órdenes de la vida.

Cuando llegaron los conquistadores aquella civilización - había sido destrozada, estaba en decadencia, en tribus errantes se diseminaron y formaron cacicazgos independientes por toda la Península.

Las costas orientales de aquella región gobernada por uno de tantos caciques fue la primera tierra firme descubierta por los españoles y en la actualidad el Territorio de Quintana Roo dependiente de la República Mexicana; en sus costas bañadas por el Mar Caribe se encuentran varias islas entre ellas Cozumel e Isla Mujeres.

Una expedición española al mando del Capitán Francisco -- Hernández de Córdoba, que venía de las Antillas, en el año de - 1517 descubrió la Isla Mujeres, luego llegaron otros exploradores hasta que en 1527 se inició la conquista de la Península.

Fue Don Francisco de Montejo hijo, quien logró conquistar Yucatán y fundó Mérida, Campeche y otras poblaciones importantes.

Durante la Colonia la Península de Yucatán dependía directamente de España la región oriental se mantuvo apartada totalmente debido a falta de comunicaciones y lo malsano de aquellas tierras.

Consumada la Independencia de España Yucatán pidió anexarse a la Nación Mexicana y después de varias separaciones se incorporó definitivamente en diciembre de 1848 formando uno de los estados de nuestra República.

Por razones de orden político después la Península que formaba una sola entidad, se dividió en dos: Yucatán y Campeche.

En la región oriental olvidada que es actualmente el Territorio de Quintana Roo los indios mayas cansados de la esclavitud a que eran sometidos, se sublevaron, a esa guerra social la llamaron de "Castas".

La Guerra de Castas fue sangrienta y pacificar a los Mayas sublevados, una tarea difícil, al fin segregaron la región y la constituyeron como Territorio en el año de 1902, dándole el nombre de Territorio de Quintana Roo en memoria del patriota Yucateco Don Andres Quintana Roo.

Aquella entidad que no llegaba a bastarse por si misma, ha dependido del Gobierno Federal sus autoridades son nombradas por la Federación y las constituye el Gobernador y un Cuerpo Judicial.

G E N E R A L I D A D E S .

Límites del Territorio de Quintana Roo.

Norte: Golfo de México.

Este: El Mar Caribe.

Oeste: Estado de Campeche.

Sur: El río Hondo que forma el límite con Belice.

El Territorio tiene una extensión de 50.350 Km.2. y está situado en la parte oriental de la Península de Yucatán.

Litorales: El Cabo Catoche, marca la línea divisoria entre el Golfo de México y el Mar de las Antillas. Las aguas del Mar Caribe que se confunden con el Atlántico, forman el Golfo de México.

El litoral del Mar Caribe, es alto y recortado, forma las Bahías de la Ascención, la del Espíritu Santo y la de Chetumal.

Al Norte, de la Península, existen arrecifes coralígenos, más al Sur hay grupos de islas, siendo las más famosas Isla Mujeres y Cozumel.

La Península de Yucatán tiene la forma de un gran dedo pulgar, que avanza entre los mares de Sur a Norte, siguiendo una dirección contraria a todas las que existen en el Mundo.

GEOGRAFIA.- La región es de características perfectamente definidas y distintas de las del resto del país. Su suelo carece de relieves, pues solo en uno que otro lugar llegan estos a - alcanzar alturas que no pasan de 100 a 125 Mts. y que dan la impresión de pequeñas eminencias.

De la República de Guatemala, de un lugar llamado Petén se desprenden unos cerros que se van juntando hasta llegar a formar la pequeña serranía que entra por el Territorio de Quintana Roo, y se inicia a corta distancia de la Laguna de Chichankanab (pequeño oceáno). Atraviesa el Estado de Sudeste a Nordeste, internándose al Estado de Campeche con el nombre de Sierra Alta. Declive y Constitución del Terreno.- El suelo es por lo general pedregoso, sobre todo la parte Norte, lo que dificulta hasta -- cierto punto el desarrollo de la agricultura. Hay muchas clases de pedernales y caliza de diferentes composiciones.

El terreno se va elevando de Norte a Sur, partiendo de la costa hasta lograr, una altura de 33 Mts. sobre el nivel del mar.

Clima.- El clima de la Península de Yucatán, es tropical tipo senegales, que se presenta en las regiones costeras cercanas al trópico. Se caracteriza por un régimen pluviométrico clara-- mente tropical, es decir, de lluvias que comienzan al finalizar la Primavera y todo el verano, con un período de tiempo seco el

resto del año.

Las oscilaciones térmicas son mas sensibles y las precipitaciones pluviales inferiores a 1500 m.m. se localizan en casi toda la Península.

Hidrografía.- Desde Campeche hasta el Cabo Catoche, no se encuentra en la Península de Yucatán ninguna cuenca hidrográfica digna de mención, solamente existen pequeños ríos en la región de Campeche y en las costas orientales el Xelhá de poca importancia.

Tampoco existen ríos importantes, desde el Cabo Catoche - hasta el límite con Belice. El límite citado está formado por un río navegable, que constituye una importante vía pluvial y - es el río Hondo, por donde se exportan maderas preciosas.

El estudio de este río forma parte importante de nuestro trabajo.

El río Hondo nace en Belice y desemboca en la Bahía de - Chetumal cerca de esta vía fluvial está la Capital del Territorio llamado igualmente Chetumal, que en tiempos pasados llevó el nombre de Payo Obispo.

En el territorio se encuentran lagunas por hundimientos - del suelo que reciben las aguas subterráneas, entre ellas Bacalar, famosa por su belleza, está también la de Chichan-Kanab - (pequeño océano) Ocon, Scoholí, Nohbe y otras más pequeñas y durante la época de lluvias aparecen unos depósitos de agua llamados Akalchés.

La hidrografía de Yucatán, es francamente subterránea, a flor de tierra se encuentra la entrada a los cenotes, aguadas y zartenejas, que se forman en las hondanadas.

La Península surgió de los mares en el período cuaternario, su suelo es calizo, sedimentario permeable, de carácter madrepórico y coralígeno; está formado por una capa de tierra vegetal una capa de roca y por capas de caliza blanca.

El agua pluvial se filtra en aquel suelo y forma las corrientes subterráneas.

Por la permeabilidad el suelo se seca fácilmente y el subsuelo se conserva húmedo, lo que dá lugar a que se mantenga alguna vegetación.

La sabana y la estepa, son los paisajes propios de la Península, al oriente en el territorio de Quintana Roo, se presenta el bosque tropical, allí abunda el zapote que produce la resina llamada chicle, el hule, maderas preciosas y maderas tintoreas que están en explotación.

División Política del Territorio.- El territorio está dividido en cuatro delegaciones:

1.- Payo Obispo.

2.- Felipe Carrillo Puerto (antes Sta. Crúz).

3.- Cozumel.

4.- Isla Mujeres.

La delegación mas importante es Payo Obispo, por tener mayor número de habitantes y estar allí ubicada la capital del territorio que ahora lleva el nombre de Chetumal.

En el año de 1960 el Territorio contaba con mas de 280 localidades, 40 pueblos, 4 haciendas, 125 ranchos y más de 100 rancherías.

Las poblaciones mas importantes son: Chetumal, Felipe Carrillo Puerto, Cozumel e Isla Mujeres.

Tulúm, Cabá y Bacalar fueron importantes antes de la conquista.

Población.- La densidad de población en el territorio es mínima, no llega a un habitante por Km2.

A pesar de que la natalidad es alta, lo mismo que en toda la República, esta característica es contrarrestada por un coeficiente de alta mortalidad especialmente infantil, a lo que influye la insalubridad por falta de agua potable problema en estudio, tratando de ser solucionado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y el Gobierno del Territorio.

Desde el año de 1930 se ha incrementado el desarrollo demográfico del Territorio, pues si en el año de 1940 los censos dieron como resultado la cifra de 20 000 habitantes éste ha ido en aumento.

Nuestro estudio lo vamos a basar en el censo de 1950 y comparar los datos ya verificados con el aumento de población que - lógicamente se irá desarrollando. Según el dato estadístico estimado en el año de 1960, que expresa la población absoluta de - las distintas entidades federativas, el Territorio de Quintana - Roo es el de menor población y dió las cifras que van a continuación:

Poblaciónes principales.

Chetumal. 12 855 habitantes.

Cozumel. 2 915 habitantes.

Fple. Carrillo Puerto 1 249 habitantes.

Isla Mujeres. 1 071 habitantes.

Grupos Etnicos.- El pueblo mexicano está integrado por - blancos, mestizos e indígenas y un bajo porcentaje de negros -- y otras razas.

El elemento mestizo es el representativo de la población - actual.

En Yucatán y por lo tanto en el Territorio de Quintana Roo la población es la misma que en toda la República. El elemento indígena por su número sigue en importancia al mestizo y se dedi ca preferentemente a la agricultura.

El control de nuestro país ha estado desde que se consumó la Independencia en manos del elemento mestizo que continúa en - el manejo de la vida pública, y con los mismos procedimientos -- anteriores.

La vida del elemento indígena ha continuado idéntica, olvi dado casi por completo, pues solo en los últimos tiempos ha des-- pertado el interés por su incorporación social, cultural y econó mica.

Don Jesús Galindo y Villa, clasificó según la mayor o me-- nor cultura al elemento indígena de nuestro país, en tres gran-- des grupos, apareciendo en el primero los Maya-Quiches, que habi tan en toda la Península yucateca y que hablan la lengua maya.

En Quintana Roo por su cercanía a la Colonia Inglesa de - Belice, habitan elementos de nacionalidad inglesa que a pesar - de lo reducido de su número, desempeñan interesante función en el comercio y la explotación del chicle y maderas preciosas.

Quintana Roo, es una región en donde las estadísticas re- gistran un alto porcentaje de personas que hablan la lengua maya aunque predomina el español y el inglés en tercer término.

Organización Política.- Depende del Gobierno de la Repúbli ca que es demócrata representativo y Federal.

La población maya que se concentra en la Delegación de Ca-

rrillo Puerto tiene sus propias autoridades indígenas que radican en la antigua Santa Crúz, estas son militares con dirigentes religiosos, entre los que la máxima autoridad es el Nohoch.

Fuentes de riqueza.- Al Norte de la Península se produce el henequén, planta propicia de las regiones pedregosas. La fibra del henequén por lo económica y resistente fue aprovechada en los Estados Unidos como hilo para engavillar el trigo, lo que dió como resultado el auge económico de Yucatán que repercutió en toda la Península, sin embargo, más tarde esta fibra sufrió alternativas pero aún se considera que aquel Estado es el mas importante productor de henequén en el Mundo.

El territorio de Quintana Roo, se considera entre los bien dotados por la naturaleza, pues allí abundan las maderas finas, tintoreas y resinosas.

La explotación del chicle es la principal actividad de los habitantes de esa región, y en la época de lluvias, que es la propia para la extracción de la resina, se organizan campamentos de hombres dedicados a esas labores duras y extenuantes.

La explotación de los bosques en los que abunda la caoba el cedro y plantas tintoreas, esta en manos de grandes empresas que regentean los aserraderos.

Estas maderas son empleadas, las mas resistentes, en durmientes para vías del ferrocarril, como vigas y otras como tablas para muebles, construcción de casas propias de la región, y otros tipos de madera se emplean en la fabricación de los curvatos, depósitos de agua de lluvia.

En la región costera, hay palmeras y mangles y allí se obtiene la copra.

Otros cultivos en el Territorio.- Las condiciones agrícolas no son muy favorables pues la capa vegetal del suelo es delgada y la tierra se erosiona con facilidad.

El maíz es el cultivo mas importante, aunque se hace con sistemas rudimentarios, cultivan también frijol, árboles frutales, entre ellos el aguacate, el plátano y la piña.

Los cultivos se hacen durante dos años, después dejan descansar la tierra por siete años, para que aumente la capa vegetal y mientras tanto practican la agricultura migratoria, de malas consecuencias.

La ganadería en el Territorio no es en gran escala por lo escaso de los pastos.

La cría del porcino y las aves de corral son importantes en los zonas rurales, lo mismo que la apicultura y favorece a la población campesina.

Las industrias son las relacionadas con la explotación de los bosques, como los aserraderos y las fábricas de triplay construcción de los curvatos para el depósito de agua de lluvia las tablas obtenidas del magle se emplea en la construcción de las casas de la región, hay también fábricas purificadoras de la miel.

La fauna en la región tropical que corresponde al Territorio es abundante y variadísima. Tanto la fauna terrestre, como la marítima, constituye una fuente de riqueza que aún no ha sido explotada.

En aquellas regiones vive el venado, el jabalí, el gato montés, el tigrillo, el faisán, el pavo de monte, la codorniz y otros muchos.

Las aguas del Mar Caribe, como ya hemos dicho, bañan las costas del Territorio, es un mar de aguas transparentes por lo poco profundas.

En esos lugares la fauna es riquísima, se encuentra el - "pez papagayo" los llamados "Isabelitas" que nadan en grupos de una gran belleza, el "pez gallo" con su creta roja, las barracudas, muy peligrosas, hasta de 1 1/2 mts. de largo, llamadas Tigres del mar, la "tintorera", "la morena", "las rayas", clasificadas según sus colores, también allí habitan miles de tortugas, cangrejos, langostas y lisas, y una gran variedad de peces menores que se aprovechan en la alimentación.

La pesca .- En los mares que bañan las costas del Territorio, la pesca de piezas grandes se ejecuta con arpón, también los barcos de vela lo hacen con redes y salen al mar yates y -- lanchas de vapor que organizan grandes pescas en plan de recreo.

Los centros pesqueros están en Isla Mujeres y Cozumel el - producto de la pesca se envía a México, Florida y New Orleans.

Turismo.- Las Islas del Territorio durante la Colonia permanecieron olvidadas, siendo refugio de piratas o visitadas por barcos pesqueros, pero en la actualidad han tomado gran incre-- mento y atraen al turismo por su belleza.

En Isla Mujeres, la vida es rústica, pero cuenta con buenos hoteles para el confort de los visitantes,y desde tierra -- firme una carretera liga al Territorio con el Estado de Yucatán. A la Isla de Cozumel la civilización ha llevado el confort moderno y tiene servicio de transporte aéreo, frente a Cozumel están las ruinas de Tulúm, ciudad antigua de los mayas.

La laguna de Bacalar, es de una gran belleza, está en la -

ribera de la población de Bacalar, que antes de la Colonia, fué - importante. Existen en ese lugar un fuerte construído en la -- época colonial, para proteger a la ciudad de los asaltos de los indios rebeldes. También tiene ruinas arqueológicas, levantadas por los mayas.

La belleza de esta región, y la riqueza de la fauna marítima ha incrementado el turismo, aportando una fuente de riqueza - digna de consideración.

Vías de comunicación.- El Territorio por su lejanía y las condiciones desfavorables de su suelo, cuenta con pocas vías de-comunicación lo que dificulta su desarrollo. En los últimos tiempos, el Gobierno y empresas particulares han procurado el incre-- mento a las comunicaciones aéreas, contando en la actualidad con la Vía Aérea de la Compañía Mexicana a la Capital de la República con Mérida y Cozumel y un directo de Mérida a Chetumal que es la -- Capital de Quintana Roo.

Rutas Marítimas.- El Territorio cuenta con tres puertos - de altura y cabotaje: Chetumal, Cozumel e Isla Mujeres. Puerto - Juárez, hace el servicio de embarcaciones de motor a Isla Muje-- res.

A Chetumal llegan embarcaciones con toneladas de carga.

Vías Férreas.- Antigüamente existía un ferrocarril forestal de 50 Kms. que unía Carrillo Puerto con Vigia Chico en el - Caribe y otro en el curso del río Hondo en Menguel que se utilizaba en el trasporte de maderas.

Existe el proyecto de prolongar el ferrocarril del Sureste que tiene su terminal en la Ciudad de Mérida con el fin de unir el Estado vecino con el Territorio.

Carreteras.- La carretera que viene de Yucatán ya ha sido terminada, lo que es de gran importancia para el Territorio.

Se ha unido Carrillo Puerto con Peto, población del vecino estado y en la parte sur Chetumal con Carrillo Puerto, llegando esta carretera hasta Puerto Juárez, cerrando el Circuito del Golfo.

También existe una brecha de 150 Kms. que une la Capital del Territorio con Escárcega, población del Estado de Campeche. De la carretera Chetumal Carrillo Puerto, sale un ramal que comunica con una población situada al margen del río Hondo y con Belice.

Existen otros pequeños ramales que llevan a localidades rurales del Territorio y son de suma importancia para el pequeño comercio y la economía de esos lugares.

El tráfico pluvial que se hace por el río Hondo tiene importancia, es por donde salen los rollos de maderas que se exportan a los Estados Unidos.

Irrigación y estudio geológico del suelo.- La humedad y el exceso de las lluvias, hacen que el suelo del Territorio sea pantanoso y la agricultura está sujeta a esa humedad.

Se han comenzado a establecer unidades de riego para fomentar el cultivo de legumbres y así evitar la agricultura migratoria.

En el ejido de Bacalar se ha utilizado el agua de la laguna como fuente de abastecimiento para regar 100 hectáreas y también ya se han instalado cerca de Chetumal y en otros lugares adecuados, unidades experimentales para precisar cuales son los

vegetales que pueden adaptarse a aquellas tierras.

La Península se levantó de los mares según estudios geológicos en el Pleistoceno Cuaternario y su suelo es de origen cársico, es decir calizo.

Como el suelo es permeable, las aguas de lluvia se infliltran rápidamente dando lugar a las corrientes subterráneas y ocultas, fenómeno llamados cripto exorreismo.

Las infiltraciones con bióxido de carbono, actúan sobre el carbonato de calcio muy soluble y forma el suelo cárcico.

La disolución del material soluble en proporciones es lo - que origina las aguas de distintas salinidades que se encuentran al perforar los pozos y que también son duras, es decir, no potables.

Al colarse los detritos de las áreas y aún el agua negra - de las fosas sépticas mal construídas, contaminan las aguas subterráneas, dando lugar a la insalubridad de la región.

Cuando el agua pluvial no se filtra al subsuelo, debido a que los orificios de infiltración están obstruídos por azolves - se forman corrientes que convergen a las zonas pantanosas que se denominan áreas endorréicas.

El agua contaminada del subsuelo, los pantanos de la región y la falta de agua potable son la causa de la insalubridad dando lugar a un elevado porcentaje de mortalidad en el Territorio ocasionada por el paludismo y enfermedades endémicas gastrointestinales.

Los habitantes de esa región toman el agua de lluvia, que - recogen en unos depósitos de madera llamados curvatos con capacidad de 15 a 30 Mts. cúbicos. El agua de lluvia viene de las azo-

teas de las casas de manpostería habitadas por la clase acomodada.

El pueblo humilde obtiene el agua de las zartenejas y aguadas. En Chetumal el Gobierno ha organizado el reparto de agua en pipas, el agua se obtiene de las pistas del campo aéreo de la ciudad adaptadas como superficie de captación del agua de las lluvias la que es recolectada en dos cisternas con una capacidad de 100000 M.3.

Este sistema no dió los resultados esperados, ha funcionado con deficiencias y no rinde las demandas de la población.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos trata de solucionar el problema en el Territorio dotándolo de agua potable suficiente para la Capital de aquella alejada región.

La finalidad de nuestro trabajo, es el estudio de los diferentes aspectos y llegar a una solución propia y eficaz para dotar de agua potable la capital del Territorio de Quintana Roo.

SEGUNDA PARTE

I.- ESTUDIOS Y CONSIDERACIONES PRELIMINARES.

En la actualidad, la influencia del agua en la prosperidad de la naciones es definitiva.Los pueblos más desarrollados son los que cuentan con ríos caudalosos que han sabido aprovechar. Es admirable observar la rápida transformación que sufre una región en sus condiciones sociales, culturales, etc., cuando la mano del hombre interviene para desarrollar en forma eficaz la potencialidad benéfica de sus ríos.

Sin embargo, ese mismo elemento agua, ocasiona graves daños al hombre por el ímpetu de sus corrientes, que a veces erosionan intensamente sus cauces, se desborda e inunda campos y poblados, o permanece en forma perjudicial en ciénegas y pantanos.

Existen dos tipos principales de obras hidráulicas; las "Obras de Aprovechamiento", y las "Obras de Defensa".

Las obras de aprovechamiento hidráulico las señalamos por orden de importancia.

a).- Abastecimiento de agua potable para una población.

b).- Riego.

c).- Obras para desarrollo de energía.

d).- Obras de entarquinamiento.

e).- Obras de navegación.

En este trabajo nos ocuparemos de las obras de aprovechamiento hidráulico con fines de abastecimiento de agua potable para una población.

ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

Un abastecimiento de agua, es un sistema de obras, para -

dotar de agua potable los usuarios y demás sitios en que se requiere, bajo los siguientes requisitos:

a).- Cantidad suficiente.

b).- Calidad adecuada.

c).- Presión necesaria.

d).- Continuidad en el servicio.

a).- Para que exista cantidad suficiente, el agua suministrada debe cubrir el consumo doméstico (necesidades fisiológicas, de higiene y de confort), y además satisfacer las demandas de agua que ocasionan los usos industriales y públicos y considerar las pérdidas y desperdicios, que son imposibles de evitar en todo sistema de abastecimiento.

b).- Para que el agua tenga calidad adecuada, debe entregarse potable, es decir, grata al gusto, a la vista, al olfato, y además que no dañe al organismo y realice en forma óptima su papel en la fisiología humana. Para que el agua pueda quedar en esta definición ,debe satisfacer las normas impuestas en tres análisis:

Análisis Físico.- Por el cual se concluye que no afecte a nuestros sentidos, no causando repugnancia, sino siendo agradable. Las características que se determinan por este análisis son: turbiedad, color, olor, sabor, temperatura y estabilidad.- La turbiedad la producen las partículas en suspensión y coloides. Se miden en partes por millón, y en agua potable no se admiten más de 5 a 10 p.p.m. En la cual 1 p.p.m. viene a ser un miligramo por litro.

El color lo producen los cuerpos coloidales o en solución.

Un agua potable debe ser incolora.

El olor proviene de los gases producidos por la vida activa de microorganismos, o por reacciones de materia orgánica o - mineral en el agua. No debe tener olor el agua potable.

El sabor del agua potable debe ser agradable, y se establece mediante una adecuada proporción de sales, oxígeno y bióxido de carbono.

Respecto a la temperatura no debe ser mayor de 15°C ni menor de 7°C, pues si es mayor causa repugnancia, y si es menor - trastorna la digestión.

El análisis de estabilidad nos indica si las características del agua no se alteran durante un determinado tiempo.

Análisis Químico.- Mediante el cual se muestra que el agua no contenga sustancias que puedan ser dañosas al organismo.

Mediante este análisis se averigua la dureza, salinidad, - alcalinidad, acidez y corrosividad de las aguas, y da cuenta de la materia orgánica y su evolución dentro del agua.

La dureza la origina un exceso de sales minerales en el — agua (bicarbonatos y sulfatos de calcio y magnesio). El agua - potable no debe tener más de 30 grados hidrométricos de dureza. Un grado mayor de dureza origina incrustaciones en las cañerías, dificultad en el lavado, y en el cocimiento de legumbres.

La salinidad la produce en su mayor parte el cloruro de — sodio (NaCl).

Las aguas potables deben tener cierta basisidad, la cual - indica la presencia de iones OH, que se pueden desprender de —

los hidratos y bicarbonatos.

La acidez se debe a la presencia de iones H que proceden de ácidos, sales en reacción ácida y bióxido de carbono. Una acidez excesiva daña las tuberías de conducción.

La corrosividad és causada por los ácidos y por el oxígeno disuelto en las aguas.

Análisis Bacteriológico.- Mediante el cual nos damos cuenta si el agua contiene gérmenes o bacterias, productores de enfermedades.

En este análisis se busca principalmente un bacilo llamado Escherichia Coli o el Estreptococos, característico de las deyecciones humanas.

Deben de haber como límite no más de 50 bacilos por cada 1000 c.c. de agua, para que ésta sea potable.

En resumen: hay que ver si se cumplen las llamadas normas de calidad, las cuales son diferentes en cada país y especifican las tolerancias que puede tener el agua.

c).- Presión Necesaria.- Es aquella que debe dársele al agua al entregarla a la distribución domiciliaria, para ponerla al alcance del consumidor, dando a éste todas las facilidades para la manejabilidad y uso del líquido.

La cifra media de altura por vencer es de 15 m. La presión necesaria se da por bombeo o por gravedad, considerando un almacenamiento suficiente sobre la población.

De cualquier manera, la altura dominante de las construcciones en una población, es la que sirve de guía para fijar la presión necesaria en el abastecimiento.

OBRAS DE APROVECHAMIENTO HIDRAULICO PARA ABASTECIMIENTO A UNA POBLACION.

Las obras que integran un sitema de abastecimiento de -- agua potable son:

1.- Obras de Captación.

2.- Obras de Conducción.

3.- Obras de Almacenamiento y Regularización.

4.- Obras de Distribución.

5.- Pbras para Bombeo y Potabilización.

Una vez determinado el gasto requerido para el abasteci-- miento, viene el proceso de búsqueda de la mejor fuente de --- aprovisionamiento.

Además de las condiciones que debe llenar, antes citadas - es conveniente encontrarla en lugares cercanos a la población, - en condiciones óptimas y que fluya por gravedad.

Como es muy difícil lograr todas estas condiciones, debe - hacerse un estudio económico de las fuentes de aprovicionamien- to posibles, y elegir la solución más barata, tomando en cuenta el mantenimiento de las obras.

Como ejemplo de fuentes de aprovicionamiento, podemos men- cionar ríos, lagos, embalses, agua freática, agua subterránea - profunda, manantiales y agua de lluvia. Pueden considerarse tam bién las aguas que pueden tratarse, como las aguas de mar, aguas negras, etc.

1.-OBRAS DE CAPTACION.

Su objeto es el de captar el agua con un gasto constante y

permanente, que nos asegure el suministro del líquido en cantidad suficiente para el abastecimiento.

La naturaleza de esta obra depende esencialmente de la -- fuente de abastecimiento que elijamos.

En el caso de ríos y para grandes ciudades, se construyeron obras de toma, torres con aberturas a varias profundidades, que permiten adaptarse a las grandes fluctuaciones del nivel del río.

En ciudades pequeñas pueden derivar el agua por tubería.- Lo más simple es un tubo que penetra en el agua y en el que se dispone una trompeta introducida en su extremo, con la abertura protegida con un colador de hierro fundido.

El fondo debe ser estable y el agua lo sufiente profunda para permitir que la tubería quede sumergida en todo tiempo -- por lo menos 90 cm.

Para la captación en lagos, se escoge el lugar menos propicio de contaminación del agua, y se construyen las tomas a - más de 2 m. sobre el fondo para evitar el arrastre de barro. - Por lo mismo, la velocidad de entrada debe ser baja. Velocidades menores de 15 cm. por segundo se han empleado con éxito.

Para la captación de agua subterránea, se procede desde - los llamados "pozos de rancho" o "norias", de poca profundidad y bastante rudimentarios; hasta los pozos profundos que perforan capas acuíferas profundas y extensas , cuyo origen se encuentra a muchos kilómetros. Tiene en general muy buena calidad, pero puede estar contaminada por infiltraciones en la capa acuífera, cuando existen cavernas o fisuras en rocas adya--

centes.

Hasta donde sea posible, se escogerá como fuente de abaste un manantial, ya que sus aguas cumplen por lo general, con el requisito de calidad adecuada. La obra de captación en este caso está formada por una caja o cárcamo, donde se recoge el líquido que brota espontáneamente a la superficie.

En el caso de que las aguas de lluvia se utilicen en un abastecimiento, la obra de captación consiste en una gran superficie con inclinación suficiente para que el agua escurra y sea llevada mediante tuberías o canales a las cisternas o aljibes. Esta captación se realiza en lugares donde no se cuenta con ninguna otra fuente de abastecimiento.

2.- OBRAS DE CONDUCCION.

Tienen por objeto llevar el agua desde el lugar de captacion al almacenamiento y regularización, o a la planta potabilizadora cuando ésta sea necesaria.

Su capacidad debe calcularse para conducir el gasto necesario calculado, más un gasto extra que debe considerarse para posibles ampliaciones.

El transporte de las aguas puede efectuarse por medio de canales, acueductos o tuberías.

Los canales son ríos artificiales cuya construcción está expuesta a la contaminación de las aguas, por lo que sólo se usa en obras de riego, y en contados casos de suministro de agua potable. Un acueducto, es un conducto cerrado, pero trabajando como canal. Si el agua requiere un tratamiento, y es más económico conducirla hasta la planta mediante un conducto abier

to, no se necesitará enturbarla.

Cuando la circulación se efectúa sin presión y a sección incompleta, se denominan acueductos agradiente hidráulico y - cuando el agua llena la sección totalmente y tiene una cierta presión, se tienen los acueductos a presión o conductos forzados. En la practica se utilizan tanto unos como otros en un mismo sistema, dependiendo de la topografía y geología del -- terreno, así como de las condiciones económicas.

condiciones económicas.

3.- ALMACENAMIENTO Y REGULARIZACION.

Los depósitos de almacenamiento se hacen con el objeto de asegurar el servicio en el caso de una falla en la captación o en la conducción.

La obra de regularización consiste también en depósitos - que tienen por objeto transformar el régimen constante de alimentación, en régimen variable de demandas. De este modo podemos almacenar el agua cuando la demanda sea menor que la aportación, utilizándola más tarde, cuando la demanda supere a la aportación. Lo anterior se debe a que la variación de las demandas durante las diferentes horas del día es muy amplia.

El tanque de almacenamiento se construye cuando el régimen de la fuente de abastecimiento es muy variable dentro de las -- diferentes épocas del año, y se usa para disponer de agua suficiente aún en la época de escasez. Su uso está restringido al - caso de no tener suficientes fuentes de abastecimiento, debido a su alto costo y el peligro de contaminación o descomposición-

del agua almacenada. Su capacidad se establece tomando en cuenta un margen de seguridad de 15 ó 20%, con el objeto de preever contingencias, como incendios, etc.

Para facilidad de limpieza deben construirse dos tanques;- siendo la suma de sus capacidades, la capacidad total requerida

En vista de que el almacenamiento y la regularización se - logran por medio de depósitos, es conveniente que sirvan para - ambos propósitos.

Estos depósitos deben quedar en los lugares más elevados - que se pueda, y la capacidad esté regida por las variaciones horarias en los consumos, y por el régimen de las entradas al tanque.

En una población las demandas cambian de acuerdo con muchas circunstancias: posición económica de los habitantes, concentración de industrias, comercios, clima, costumbres, etc.

El estudio de los consumos puede hacerse, tomando en cuenta el uso que se le asigne el agua. Estos usos son los siguientes:

Usos domésticos, públicos, industriales y comerciales, pérdidas y desperdicios. Y hay que agregar una cantidad por concepto de incendios, influencia del clima, y magnitud de la población.

En una población en general el gasto de demanda varía durante todo el día, teniéndose un gasto máximo alrededor de las 11 a 13 horas, y mínimo de una a cuatro.

En general la capacidad del depósito de regularización es - de bastante menor magnitud que la del almacenamiento, y como la capacidad de este último se determina en forma muy arbitraria, -

se ha visto que el tanque de regularización sólo es indispensable cuando no existe el del almacenamiento. Existiendo éste, ya no es necesario hacer el de regularización pues actúa perfectamente como vaso regulador.

4.- OBRAS DE DISTRIBUCION.

Mediante estas obras se reparte el agua a una población, transportándola en conductos por las calles hasta los lugares de consumo.

El gasto que circula por la red debe satisfacer las necedades domésticas, públicas e industriales.

En el caso de que sea necesario un sistema de potabilización puede convenir la construcción de dos redes de distribución: una que entregue el agua para usos domésticos, y otra que cumpla con las necesidades de los servicios públicos e industriales.

En otras condiciones se puede disponer de una red separada para el servicio de incendios, la cual deberá trabajar a grandes presiones. Y para evitar fugas en esta red, deberá bombearse agua sólo cuando se tenga que usar.

Cuando en una ciudad se tienen grandes diferencias de nivel, se debe instalar el servicio por zonas.

Al calcular las tuberías de alimentación empleada en la distribución, se debe tomar en cuenta la hora de mayor consumo del día, así como el día de máximo consumo del año. Por ejemplo, podemos afectar el gasto que nos da la dotación con un coeficiente igual a 1.5 por hora de más consumo y este total afectarlo a su vez con 1.5 por día de más consumo en el año, dando és-

te, por lo tanto un diámetro de tubería necesario para llevar un gasto que será 2.25 veces el gasto correspondiente a la dotación.

El agua sale del tanque de regularización mediante una tubería principal de alimentación, de la cual se desprenden las tuberías primarias de repartición o maestras, que más tarde se ramifican en líneas secundarias, llevando así el agua a todas las calles de la población, para después, mediante las tomas domiciliarias entregar el agua en los lugares de consumo.

Red propiamente dicha.- Existen dos maneras de distribuir los conductos que integran la red: mediante una red abierta, y por medio de circuitos. En cualquiera de los dos casos tenemos varios diámetros de tuberías en la red, diámetros que se calculan según la localización y función que desempeñan. Se clasifican en: primarias, secundarias, terciarias, etc. que son las que verifican la distribución del agua en toda la zona por abastecer, disminuyendo los diámetros hasta llegar a tuberías de diámetro mínimo llamadas de relleno o parrilla.

RED ABIERTA.

En ésta, en el conducto primario, que generalmente se coloca en la calle principal, escurren las aguas en un solo sentido; de este parten los conductos secundarios, recorridos por el agua también en un solo sentido. Los conductos terciarios son más pequeños de capacidad y se intercomunican, pues sólo así puede evitarse que la red tenga puntos muertos en los extremos de las tuberías, lo que daría lugar a la descomposición o contaminación del agua. Este circuito tiene la gran desventaja de q-

que si se interrumpe el servicio en un punto de conducto primario, dejará de abastecerse mientras dure la interrupción. la parte de la población que se encuentre adelante de donde se efectuó la interrupción.

RED CERRADA.

La dificultad de un constante abastecimiento de agua en la forma anteior, puede ser satisfecha utilizando una red cerrada, formada por conductos primarios, secundarios y terciarios por los que escurre el agua en ambos sentidos, de tal suerte que una interrupción en un punto cualquiera del conducto secundario, no cause trastornos en ninguna zona por abastecer, pues recibirá el agua de cualquier otra parte de nuestro conducto secundario.

De acuerdo con la extensión del poblado los conductos primarios están colocados según un anillo principal, los secundarios forman un emparrillado en su interior, pero se ramifican al exterior, y los terciarios son todos en malla.

Un sistema en malla o emparrillado permite una mejor afluencia del agua para sofocar incendios desde distintas direcciones.

El problema hidráulico de una red cerrada presenta mayor dificultas que el debido a una red abierta.

La circunstancia que más influye en el trazo de la red, es la situación del tanque regularizador.

La construcción de la red de distribución es la parte del abastecimiento de agua potable, que generalmente exige mayor presupuesto, por lo que el ingeniero debe tener mucho cuidado en su

proyecto.

En una red de distribución, los materiales que generalmente se utilizan son: tubos, conexiones y accesorios. Los tubos pueden frabicarse de fierro galvanizado, acero, plomo, concreto, asbesto-cemento, etc.

Las conexiones usadas dependen de los tubos que se usen, y pueden ser: niples, juntas, Gibault, barriletes con anillos de hule, cordones de soldadura, etc.

En los cambios de dirección se usan codos que varían generalmente hasta 90°, tes, cruces, reducciones en tes, cruceros y cemosnas, además de algunas otras piezas especiales.

Se emplean además medidores de gasto: de molinete, de volumen, veturímetros.

En las tomas domiciliarias tenemos las llaves de inserción y llaves de banquete. El uso de los medidores en las tomas domiciliarias disminuye los desperdicios y ayuda mediante el pago mensual de los habitantes a la amortización de la obra, así como al mejor cuidado del mantenimiento.

5.- OBRAS DE POTABILIZACION.

Cuando el agua que nos entrega la fuente de aprovechamiento no cumple con la calidad adecuada, es necesario tratarla para hacerla potable.

La obra que se efectúa se llama Planta Potabilizadora y puede tener instalaciones sencillas o complicadas, dependiendo de la intensidad del tratamiento a que deberá sometérsele para que adquiera calidad adecuada.

Para la renovación de impurezas que el agua tenga en sus--

pensión es frecuente la aplicación de los siguientes métodos: aereación, sedimentación simple o con coagulantes, filtración lenta o rápida.

Para eliminar sustancias en solución se le agregan al agua ingredientes que provocan la formación y precipitación de cuerpos insolubles que facilmente pueden ser removibles por sedimentación. Por ejemplo para evitar la dureza se usa sal común, zeolites y permutitas.

Para cambiar el estado de cuerpos que tenga un agua no potable de tal suerte que pierdan su nocividad se pueden seguir los procesos:

Desinfección, por medio de desinfectantes adecuados como el cloro, ozono, sulfatos de cobre, etc.

Esterilización o destrucción total de la vida microbiana, con rayos ultravioleta o con ayuda de altas temperaturas.

Cambio de las bases de algunas sales: agregando carbonato de sodio o sulfatos de calcio y magnesio; estos últimos se convieten en sulfatos de sodio, disminuyendo nocividad en las aguas.

Agregando sustancias indispensables para una verdadera potabilización tendremos un máximo de sanidad:

Oxigenación, mediante la cual se agrega oxígeno por inyección deaire comprimido u ozono, pues las aguas que carecen de este elemento tienen sabor desagradable.

Iodación.- Mediante el agregado de sales de yodo en aguas que carezcan de este elemento se evitan enfermedades de la glándula tiroides.

BOMBEO.

En el caso de que las aguas recogidas de nuestra fuente de

abastecimiento provengan de sitios que se encuentran a un nivel inferior al lugar donde van a usarse, se necesitará hacer uso - del bombeo.

Así pues podemos tener bombeo con el fin de dar presión necesaria al agua para su distribución, además de que muchas veces es indispensable el bombeo en la captación o en la conducción del agua.

El bombeo al igual que la planta potabilizadora, se pone - sólo en el caso extremo de no poder evitarlo, pues encarece el costo del agua en gran proporción.

Las bombas se pueden clasificar dependiendo de la fuerza - motriz que se use en: de vapor, viento, agua, etc.; de los principios mecánicos de su operación en : de desplazamiento, centrífuga, de impulso; según el trabajo por realizar en: bombas de - pozo, de bajo servicio, de alto servicio.

En las plantas grandes de bombeo, es más barato utilizar - bombas que trabajen accionadas con vapor, y en las chicas usar - bombas accionadas por motores eléctricos.

En general, el equipo más eficiente lo forman las bombas - centrífugas con motores eléctricos.

TERCERA PARTE

AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO

1.- CANTIDAD SUFICIENTE.

Es conveniente que el proyecto de la red de abastecimiento de agua potable se haga con el cuidado y aproximación que el caso requiere, pues ella deberá trabajar eficientemente, y sin ninguna interrupción, durante el período de servicio, el cual comprende al período económico. Lo anterior es necesario en virtud de que la realización de este tipo de obras implica grandes erogaciones, además de que la reposición o reparación de alguna de sus partes es costosa y representa molestias y obstáculos para las actividades normales de la población.

El período económico varía con la intervención de varios factores, entre los que podemos mencionar: El estudio del aumento de la población, duración de los materiales empleados en la obra y sujetos al desgaste propio del lugar, condiciones en las que se efectuará el financiamiento, etc.; los que deberán determinarse precisando el grado de influencia de cada uno de ellos.

El financiamiento de estas obras lo hacen en general los usuarios de ellas, buscando que la población actual no pague una obra que generaciones posteriores la utilicen sin haber contribuído al financiamiento de las mismas.

En general, un período económico que varíe entre 20 y 30 años es muy usual.

Para nuestro proyecto, utilizaremos un lapso económico y de vida útil, de 20 años, debido al gran poder incrustante del agua de la región, así como su gran dureza y salinidad. Se ha ob-

servado que actualmente, las tuberías domiciliarias de algunos - edificios, no duran más de 4 ó 5 años. Pero por medio de un ablandamiento conveniente del agua, es de esperarse que aumente notablemente este período.

a).- Estudio de la población futura.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, estableceremos un período económico y de vida útil de 20 años, por - lo que se proyectará para el número de habitantes que se estimen para 1980.

Existen varios métodos que tratan de predecir el número de habitantes en un futuro próximo, basándose en determinadas condiciones estimativas, así como en los censos registrados para el-lugar, los cuales de ninguna manera nos darán una cifra exacta,-- pero que unidos a las observaciones efectuadas por el proyectista con respecto a la posibilidad de desarrollo y crecimiento de la - población, deberán normar el criterio para fijar un número determinado de habitantes a los cuales dará servicio la red proyectada.

METODOS MATEMATICOS.

1.- Aritmético.

Supone un aumento constante en la población. Este incremento constante en la población se obtiene promediando los incrementos registrados en censos anteriores:

AÑO	POBLACION	INCREMENTO
1921	1773	
1930	2790	1017
1940	4672	1882
1950	7247	2575
1960	9072	1825
1970	10897	1825
1980	12722	1825

En donde el incremento por período de 10 años ha sido:

$$\Delta = \frac{5,474}{3} = 1,825$$

Método Artitmético (1980): 12,722 habitantes.

2.- Geométrico.

Este método, en lugar de emplear los incrementos absolutos, se utiliza un promedio de los porcientos que se va aplicando a cada tiempo determinado.

Para su cálculo, podemos aplicar la fómula de interés -- compuesto, en la que el capital representa los habitantes, y el rédito, el factor de crecimiento.

$$Pf = Pa\ (1 + r)n \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

En donde:

Pf = Población futura.

Pa = Población actual.

r = Razón de incremento

n = número de años.

Calculemos la razón de crecimiento, tomando en cuenta los - censos conocidos:

AÑO	POBLACION	Pf/Pa	r
1921	1773		
1930	2790	1.573	0.573
1940	4672	1.674	0.674
1950	7247	1.551	0.551
			1.798

$$r\ prom = \frac{1.798}{3} = 0.5993$$

La razón anterior es para un período de 10 años; por lo tanto la razón anual que emplearemos será:

$$r = 0.05993$$

Calculemos ahora nuestra población futura:

Año	Población
1950	7247
1960	11591
1970	18534
1980	29641

Método Geométrico (1980): 29,641 habitantes.

Método Gráfico.

Consiste en dibujar una gráfica media entre los puntos determinados por las abscisas que son las fechas, y ordenadas que - representan el número de habitantes, prolongándose la curva correspondiente hasta el año que se desee conocer.

Dados los pocos datos de que se dispone para la construcción de la gráfica, no puede precisarse la continuación de la curva - para el año deseado; sin embargo los resultados son los siguien-

tes:

AÑO	POBLACION
1950	7247
1960	11300
1970	15490
1980	18920

Comparación con Ciudades Semejantes.

Consiste en comparar el crecimiento de varias poblaciones - que se consideran semejantes con la que se quiere determinar.

Para cada una de las poblaciones se dibuja una gráfica, formando un haz, cuyo promedio se considera como la de su posible - crecimiento.

Este método podría ser el más aproximado a la realidad pero en nuestro país es difícil de llevarlo al cabo por carecerse de datos suficientes.

RESUMEN:

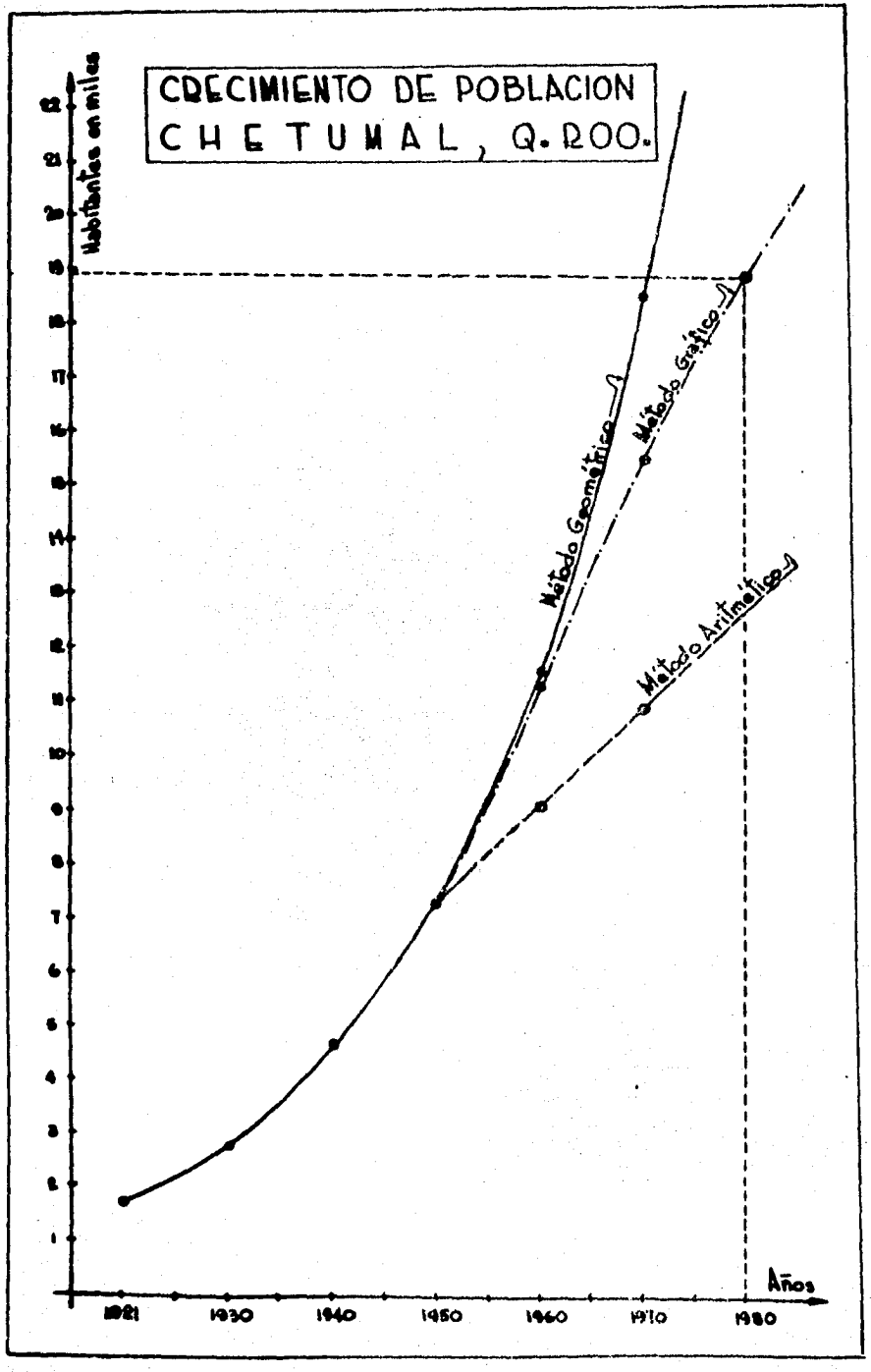
NUMERO DE HABITANTES.

AÑO	MET.ARITMETICO	MET.GEOMETRICO	MET. GRAFICO.
1950	7247	7247	7247
1960	9072	11591	11300
1970	10897	18534	15490
1980	12722	29641	18920

El censo realizado en el año de 1960 arrojó una población - de 12,855 habitantes.

Según nuestros cálculos el método geométrico y el gráfico - nos dan una aproximación aceptable.

Como se vé, en los métodos anteriores la población tiende - siempre a crecer, lo cual generalmente es cierto, pero pueden —


CRECIMIENTO DE POBLACION
CHETUMAL, Q. ROO.
Habitantes en miles
Método Geométrico
Método Gráfico
Método Aritmético
Años
1921
1930
1940
1950
1960
1970
1980

ocurrir factores locales, circunstancias geográficas, geológicas y climatológicas, industriales, etc., que pueden provocar aumento o disminución del número de habitantes; sin embargo se sabe - que una población crece más o menos rápidamente cuando está en - período de desarrollo, continúa después aumentando con menor rapidez, y permanece por último casi estacionaria.

Si tomamos en cuenta la escasez actual de agua en la ciudad de Chetumal, la red de caminos que se construyen actualmente en el Territorio, y en el Sureste, así como los proyectos de industrialización y explotación en general, es muy posible que la población sufra un crecimiento muy rápido.

La aplicación en nuestro caso, resultado de las apreciaciones anteriores nos conduce a considerar una población futura de 25,000 habitantes.

b).- Dotación.

La dotación es la cantidad de agua asignada por día medio - anual a cada habitante para su uso, más la que le corresponde por servicios públicos, consumo industrial, pérdidas y desperdicios.

Son varios los factores que deben considerarse para fijar - la dotación a una población:

CLIMA

Existe un cuadro en el cual se da de una manera general la dotación correspondiente a un lugar, según su clasificación climatológica; en el cual se tienen cuatro columnas: Clasificación climatológica, Denominación del clima, Ejemplo y Dotación base - en lts/hab-día.

Factor Población.

De	0	5 000 habitantes.....	80% de la dotación base.
De	5 000 a	50 000 habitantes.....	90% de la dotación base.
De	20 000 a	100 000 habitantes.....	100% de la dotación base.
De	50 000 a	100 000 habitantes.....	110% de la dotación base.
Más	de	100 000 habitantes.....	125% de la dotación base.

Factor Características.

Agrícola.....100% de la dotación base ya afectada.
Comercial.....105% de la dotación base ya afectada.
Semi-industrial.....115% de la dotación base ya afectada.
Industrial.....125% a 150% de la dotación base ya afectada.

Factor Standard de vida.

Bajo ..... 80% de la dotación anterior.
Medio.....100% de la dotación anterior.
Alto.....110% de la dotación anterior.

A la dotación resultado de los estudios anteriores se le debe afectar de los siguientes factores:

Condiciones meramente locales.

Fuente de abastecimiento.

Factor económico.

Posibilidad de incendios.

Uso o no de medidores, etc.

Para estudiar el factor clima, Thornthwaite establece cuatro elementos de clasificación:

1.- Categoría de humedad.

2.- Tipo de distribución de la precipitación pluvial.

3.- Categoría de la lluvia.

4.- Tipo de variaciones de temperatura a través del año.

La humedad nos da la lluvia y la evaporación.

$$i = \text{humedad} = \frac{\text{Precipitación (mensual)}}{\text{evaporación (mensual)}}$$

$$i = \frac{P}{E} = 1.64 \left(\frac{P}{t + 12.2} \right) 10/9$$

En donde:

P = precipitación en mm.
t = temperatura media mensual en °C.

$I = \Sigma i$; para un año $\Sigma i = 12\ i$

Hay cuatro tipos de humedad:

a). Humedad abundante.

b). Deficiente en verano y abundante en invierno.

c). Deficiente en invierno y abundante en verano.

d). Deficiente todo el año.

$i' = \frac{9\ t}{20}$ $I' = \Sigma i'$ t __ temperatura en °C media mensual.

Variaciones de temperatura a través del año:

Si sumamos los valores de i' de los tres meses más calientes consecutivos, obtenemos la variación de temperatura a través del año.

Esta suma se da en % del total I'. Cuando este pociento se - acerca a 100% tenemos un clima tremendamente extremoso pues el -- total del calor lo tenemos en tres meses, y los otros nueve meses son mucho menos calientes.

En la tabla siguiente se anotan diferentes dotaciones para - las poblaciones del país en función de su número de habitantes - Dicha tabla fue formulada por el Banco Nacional Hipotecario y es aplicable únicamente a poblaciones de nuestro país en virtud de

que es resultado de observaciones y experiencias efectuadas en la República Mexicana.

No. de Habitantes.	Dotación en l/h/d		
	Mínima	Media	Máxima.
5 000	60	100	150
5 000 a 15 000	100	150	200
15 000 a 50 000	150	200	250
50 000 a 200 000	200	250	300

Normando nuestro criterio con esta tabla, los estudios anteriores, y tomando en cuenta que dadas las condiciones - de las fuentes de aprovicionamiento, de que deben tratarse - las aguas antes de entregarlas a la población, debe prevalecer el factor económico y optar por una dotación de 200 l/h/-d/, para la ciudad de Chetumal.

c) Variación de Consumos.

El consumo de agua de una población no es constante al año, presenta variaciones de mes a mes, de día a día, y aún en el transcurso de día tiene grandes variaciones.

Existe un día durante el año en el cual se registra el máximo consumo. Este consumo se da en función del gasto medio, afectándolo de un coeficiente que varía según el clima de cada lugar.

A continuación se muestran lo valores de dicho coefi-- ciente C.

Climas uniformes o con pequeñas variaciones.....C = 1.2

Climas con cierta variación pero no extremosos.....C = 1.35

Climas extremosos.....C = 1.50

Climas muy extremosos.....C = 1.75

Al afectar el gasto medio con uno de estos coeficientes, se obtiene el gasto medio en el día de máximo consumo, gasto que deberá ser igual al gasto mínimo que se obtiene en la --- fuente de abastecimiento.

La capacidad del tanque de regularización la obtendremos utilizando el gasto medio en el día de máximo consumo.

Gastos.

Como resultado de lo enunciado anteriormente, podemos obtener:

$$\text{Gasto medio} = \frac{25.000 \times 200}{86,400} = 57.9 \text{ l/seg.}$$

Para encontrar el gasto en el día de máximo consumo, adoptamos el coeficiente 1.5, correspondiente a climas tropicales que es el caso de nuestra población en estudio.

Gasto medio en el día de máximo consumo = 57.9 x 1.5= -- 86.85 l/seg.

Para encontrar el gasto máximo horario, consideramos un - coeficiente de 1.75 (De la práctica se ha visto que las actividades de los habitantes es mayor de las 7 horas a las 18 horas, llegándose a tener un consumo de 1.50 hasta 2.00 del consumo -- diairio.

Gasto máximo horario = 86.85 x 1.75 = 150 l/seg.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO.

Puede considerarse que el agua requerida tiene su origen en las precipitaciones atmosféricas. En forma de lluvia puede ser aprisionada a su caída y depositarse en cisternas y aljibes. Al escurrir sobre el suelo forma arroyos, ríos y lagos, de los cuales es derivada por gravedad o elevada por medios mecánicos. La fracción que se infiltra en la tierra se acomoda en mantos subterráneos, y puede extraerse por medio de pozos , perforaciones o drenes; en otros casos aflora espontáneamente en forma de manantiales. El resto se evapora nuevamente, es aprovechada por las plantas, o va al mar; ésta última puede ser tratada para el uso del hombre como agua potable.

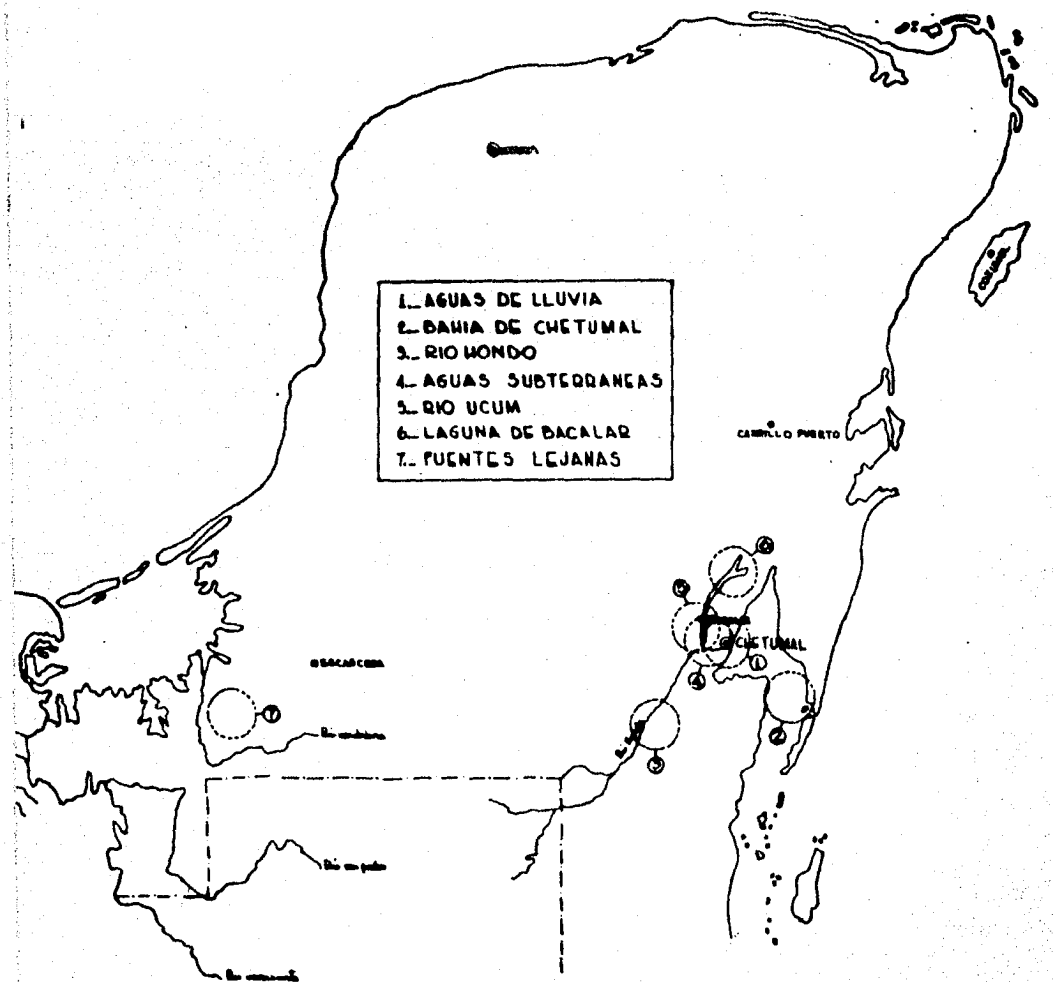
Desgraciadamente, en estos recorridos el agua de lluvia, prácticamente pura, se contamina o arrastra materiales o sustancias que disuelve a su paso; lo que obliga en estos casos a tratarla antes de ser entregada a una población.

En el caso de la ciudad de Chetumal, vamos a hacer un estudio de las posibles fuentes de abastecimiento, para esbozar cuál sería la más conveniente de acuerdo con su calidad y su costo.

De acuerdo con su distancia a la ciudad de Chetumal, podemos señalar las siguientes fuentes:

1.- Aguas de lluvia.
2.- Aguas de mar.
3.- Aguas del río Hondo.
4.- Aguas de pozo.
5.- Aguas del río Ucum.
6.- Lagunas de Bacalar.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO PARA CHETUMAL, Q. ROO.



7.- Fuentes de provisión lejanas.

1.- AGUAS DE LLUVIA.

Las aguas de lluvia son potables, no sufren alteración -- apreciable a su paso por la atmósfera, de la cual recogen en - cantidades ínfimas anhidrido carbónico, oxígeno, nitrógeno y - polvo en suspensión coloidal con su contenido bacterial. Se requiere tener especial cuidado en las superficies de recolección para evitar que se contaminen.

Actualmente el aprovechamiento de las aguas de lluvia, es el único medio con que se ha dotado de agua (muy deficiente-- mente), a la ciudad de Chetumal.

En 1950 se hizo el proyecto, y más tarde la construcción - del aljibe para la ciudad de Chetumal, con las siguientes características:

a).- El aljibe está compuesto por dos cámaras, una de excavación, y otra formada por bordos del material extraído de la primera, siendo el volumen total de las dos cámaras de - -- 100,000 m3 .

b).- El volumen de las cámaras se calculó de tal manera que el material que se extrajera de la que está en excavación fuera suficiente para construir los bordos de la segunda sin que sobraran materiales en exceso, a fin de que el movi- - miento de tierras fuera mínimo.

c).- Se consideran como superficies de captación, - las pistas del aeropuerto, y zonas adyacentes.

d).- La conducción de las aguas de las pistas al al

jibe es por gravedad, y de la cámara en excavación a la superior por bombeo.

De esta forma, las dimensiones de las cámaras son las siguientes:

Cámara en excavación._ De un volumen de 35,000 m3, siendo las dimensiones del fondo de 112.10 m., y de la corona de 124.60 x 124.60 m., teniendo los lados un talud de 2.5:1. La profundidad de la ámara se fijó de 2.50 m.

Cámara superior.- Formada por bordos resulta de un volumen de 65,000 m3, siendo las dimensiones del fondo de 139.65 x 139.65 m., y de la corona de 164.65 x 164.65 m. y con un tirante de 3 metros. El bordo proyectado para formar esta cámara, se construyó de sahcab que es el material que en mayor cantidad se xtrajo de la excavación anterior, y tiene las características siguientes: ancho de la base, 16.30 m.; corona, 1 m.; altura, 3.40 m.; paramento mojado con talud 2.5 : 1; paramento seco con talud 2: 1. El tirante efectivo es de 3 m., ya que el espesor del fondo es 40 cm.

La cámara en excavación es de volumen suficiente para recibir la aportación de lluvia de máxima intensidad horaria, que es de 107 mm/ hora y que con la superficie de recolección y coeficiente de escurrimiento que se indican adelante, representan un volumen escurrido de 22,850 m3.

La lluvia máxima en 24 horas que es de 237mm., representa un volumen de 50,623 m3; pero siendo muy poco frecuentes precipitaciones de esta magnitud, se consideró que basta una bomba centrífuga que proporcionará un gasto de 150 a 200 l.p.s.

(de 6" a 8"), para pasar el agua a la cámara superior sin el - riesgo de pérdidas por rebose.

Como es evidente el caso de que llenen las dos cámaras, - se construyó un rebosadero en la cámara de excavación para -- eliminar los excedentes,

El canal de conducción de la descarga de las pistas a la cámara en excavación se construyó con pendiente de 0.0005.

Los datos en que se basaron para el proyecto de los alji - bes fueron los siguientes:

Población futura: 7,500 habitantes.

Lluvias: Datos de 7 años de precipitaciones registradas - por la Estación Meteorológica de la Cía. Mexicana de Aviación, en el aeropuerto de Chetumal.

Superficie de Recolección: Se estimó de 356,000 m3.

Coeficiente de escurrimiento: Fue estimado de 0.6, pensando que aunque posiblemente podría aceptarse un coeficiente mayor, todas las aportaciones de la superficie de recolección serían conservadoras, por lo que sus cálculos tendrían así un margen de seguridad.

Dotación: Se determinó de 85 l.h.d.

Con los datos anteriores se planteó el funcionamiento teórico del aljibe, considerando que se iban a evitar las pérdidas por evaporación, y se notó (con esos datos), que era satisfactorio, pues únicamente quedaría vacío en seis meses, durante -- el estudio que comprendía 10 años.

Sin embargo, las condiciones actuales son bastante diferentes a las estimadas en el proyecto, ya que para los años de ---

1957 y 1958, la superficie de captación aprovechable, apenas - era de 84,000 m2.

El almacenamiento logrado en 1957 fue de 19, 000 m3, y en 1958 de 23, 000 m3.

Desde luego se aprecia la conveniencia de aumentar la su-- perficie de captación, ya que apesar de haber sido 1958 un año llovedor, no se almacenó sino la cuarta parte del agua que le cabe a los aljibes.

Por lo tanto, se plantea el problema de definir primeramen te la forma más conveniente de aprovechar las obras existentes, de acuerdo con las condiciones actuales, y buscar otra forma de completar el agua requerida.

Calculemos el volumen aproximado que necesitamos diariamen te, para compararlo con el volumen medio, diario, que tendría-- mos de las precipitaciones:

$$Q = 86.85 \text{ l/seg.}$$
$$V = 0.0868 \times 86,400 = 7,503.8 \text{ m3/día.}$$

Se necesita un volumen de 7,503.8 m3, diarios.

Analicemos ahora, el volumen medio que tendríamos de preci pitaciones, considerando en período de 1950 a 1959 inclusive:

La precipitación promedio anual es: 1,354 mm. Si considera- mos que se recondicionarán las pistas actuales, y se ampliarán dentro de términos económicos, la superficie de captación del - puerto aéreo se aumentará a 190,000 m2.

Consideramos también, que el coeficiente de escurrimiento será de 0.7, a reserva de medirlo después directamente.

De esta manera, el volumen medio anual que tenemos, considerando además, que se evitarán las pérdidas por evaporación - el máximo, será:-

$$V = 190{,}000 \times 1.354 \times 0.7 = 179{,}991 \text{ m3.}$$

Entonces el volumen medio diario sería:

$$\frac{179{,}991}{365} = 493 \text{ m3.}$$

$$493 \text{ m3} << 7{,}503.8 \text{ m3.}$$

A grandes rasgos nos damos cuenta que con las obras actuales ampliadas, es imposible dotar de agua a la población futura.

Por otra parte, notamos que si quisiéramos dotar a la población exclusivamente de agua de lluvia, necesitaríamos una - superficie de captación del orden de:

$$\frac{7,\ 503.8 \times 365}{1.354 \times 0.7} = 2{,}900{,}000 \text{ m2.}$$

Es decir, la superficie de captación deberá ser quince - veces mayo a la que tendríamos una vez reaccionadas las pistas. La capacidad de los aljibes debería aumentar en la misma proporción.

Para darnos una idea de la magnitud de esta superficie de captación ,mencionaremos, que actualmente la superficie urbana que comprende la ciudad de Chetumal es del orden de 2.890,000 m2., o sea, sensiblemente igual a la que necesitamos para captar las aguas de lluvia indicada.

Observando el problema desde otro punto de vista, encon--

tramos que por cada habitante necesitamos una superficie de - recolección de:

$$\frac{2,900,000}{25,000} = 116 \text{ m2/hab.}$$

En el Estudio General de la Localidad, hicimos notar que la familia media es de cinco miembros y que predominan las — construcciones para habitación, de madera, siendo la mayoría de un solo cuarto, y excepcionales de cinco cuartos o más.

De esta manera, si pensamos aprovechar los techos de las casas como superficies de recolección, notamos que sería insuficiente, pero debemos tomarlo en cuenta.

Hicimos notar también que este procedimiento era el más socorrido para adquirir agua de bebida, almacenándolo en curvatos domiciliarios; pero nos referimos a aplicar este método integralmente en todas las habitaciones.

Otro procedimiento sería el de acondicionar y pavimentar superficies especialmente para captar agua, pero debemos desecharlo por las siguientes razones:

a). La ciudad de Chetumal acaba de ser comunicada - con el resto del Sureste, y siendo la capital del Territorio, es muy posible que incremente su población con fuertes inmigraciones de otras zonas; su potencialidad económica se encuentra detenida, precisamente por la falta de agua de buena calidad. Por lo tanto, al entregarle a la ciudad suficiente agua adecuada a usos industriales, incrementará aún más las inmigraciones. Este mismo fenómeno se verá también impulsado por cuestiones -

políticas, ya que se tiene el deseo de elevar el Territorio a la categoría política de Estado, para lo cual se efctúa una - campaña de colonización por los demás Estados de la República. Posiblemente cuando comience el fenómeno de inmigración sea - necesario un nuevo estudio de población futura, considerado - sobre otras bases.

Por lo tanto, es inconveniente preparar superficies exclusivamente para ese uso, porque habría que irlas aumentando continuamente conforme al crecimiento de la población, en una relación estimada en 116 m2 por habitante.

b). El hecho de aumentar la superficie de captación en proporción al crecimiento de la población, implica automáticamente la construcción de grandes aljibes o represas para almacenar el agua.

Estas construcciones son también inconvenientes porque:

1)- Sus dimensiones deberán calcularse para un futuro lejano, ya que su costo inicial es alto, y sería más costosa la construcción de muchos aljibes pequeños.

2)- El agua de las superficies de captación debe -- llegar a los aljibes por gravedad, y la topografía plana del terreno no se presta para ello.

3)- Considerando el crecimiento de la ciudad, los aljibes, así como las superficies de captación deberían quedar - alejados de ella, porque estaría sujeta a contaminación el agua si llegara a quedar dentro de la zona urbana.

4)- Al ser los aljibes de grandes dimensiones, sería

muy difícil evitar la evaporación y, considerando que si la precipitación media anual es de 1.354 m y la evaporación media anual de 2.00 m., entonces la superficie de captación por individuo sería del orden de 3.00 m 2, lo cual vendría a redundar en perjuicio de los puntos anteriores.

En síntesis, el procedimiento de acondicionar superficies exclusivamente para captar aguas de lluvia, sólo es aconsejable en poblaciones muy pequeñas donde el crecimiento de la población no es muy marcado, como sucede en la Isla de Mujeres, donde se efectúan obras de este tipo.

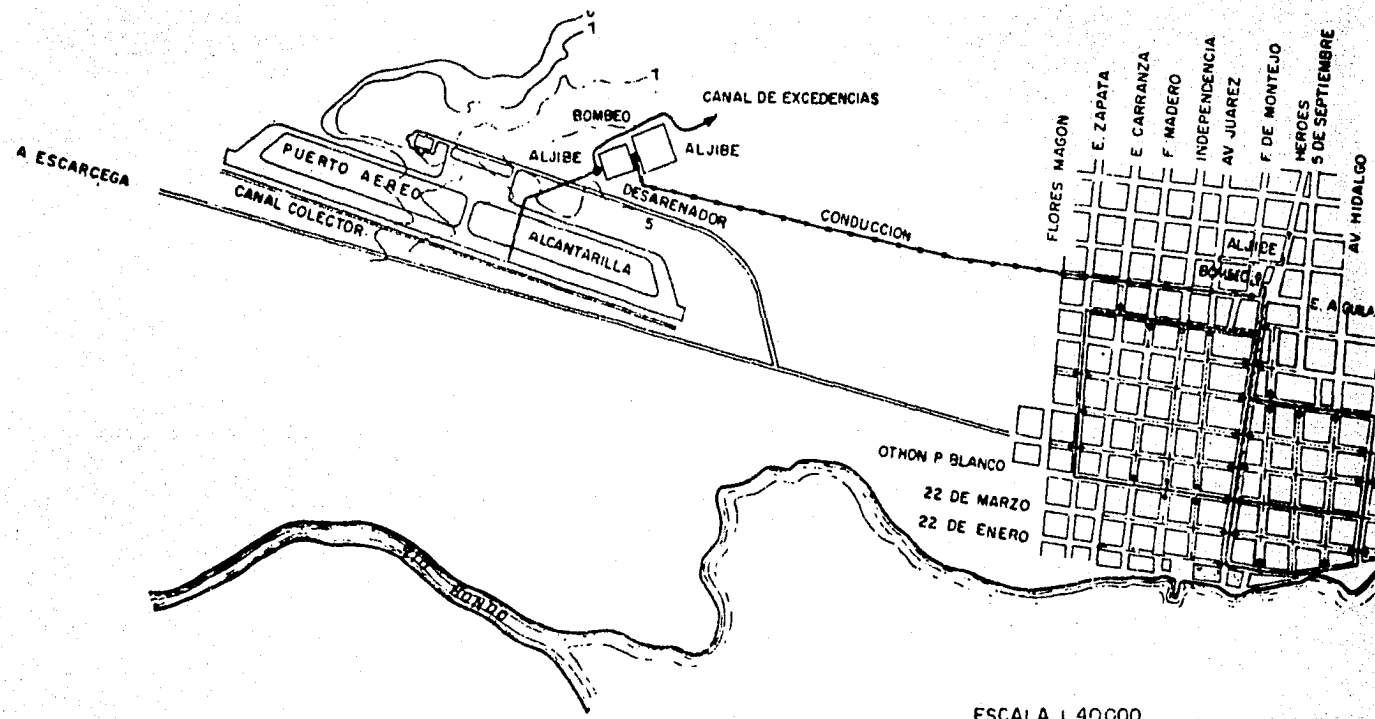
APROVECHAMIENTO DE LAS CALLES COMO SUPERFICIES DE CAPTACION.

Otro procedimiento sería la construcción de un sistema doble de alcantarillado; uno para recoger los desechos domésticos, públicos e industriales y otro para conducir las aguas de lluvia, recolectadas en las calles, hasta cisternas o aljibes para su almacenamiento.

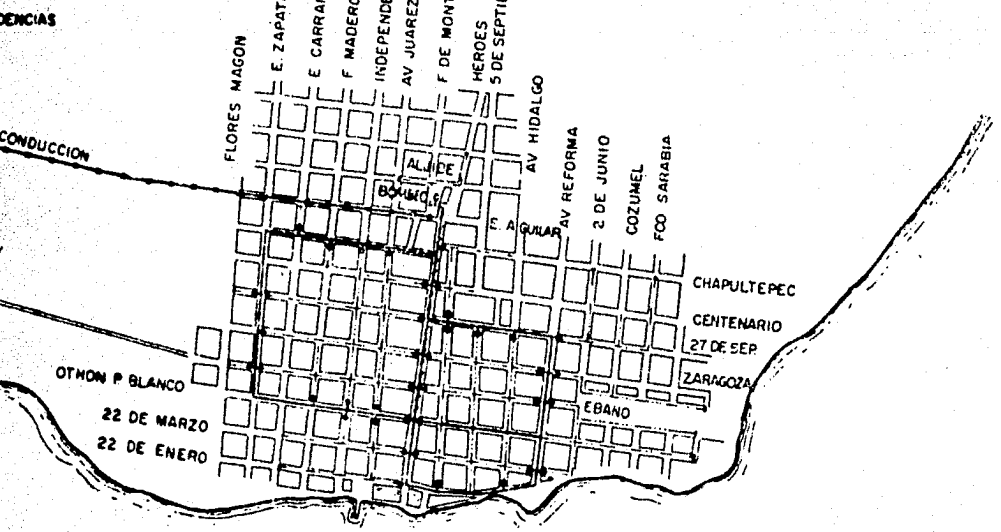
Actualmente, en la ciudad de Chetumal podemos estimar que el 45% de su superficie está constituída por calles y avenidas, así que si descontamos un 10% por camellones y otros conceptos tendríamos una superficie de recolección de:

$$2\ 890\ 000 \times 0.35 = 1\ 011\ 500\ m2.$$

Considerando que habitan alrededor de 10 000 personas en la ciudad, la superficie por persona es de 101 m2, sensiblemente igual a la requerida de 116 m2/hab.



Este plano es una reducción del plano de la Srio. de Recursos Hidráulicos Depto. de Estudios y Proyectos,- Ofic. de Agua Potable.- Esc. 1:20000



ESCALA 1:40000

1 2 3 4

KILOMETROS

e plano es una reducción del plano de la Srio. de Recursos Hidráulicos
to. de Estudios y Proyectos.- Ofic. de Agua Potable.- Esc. 1:20000

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

CHETUMAL, Q. R.

PLANO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA

CAPTACION DE LLUVIAS

Si aceptamos que la superficie de la ciudad va a crecer proporcionalmente al número de habitantes, encontramos que las calles presentan una superficie de captación aceptable en cuanto a magnitud.

Este sistema adolece principalmente de:

1.- MALA CALIDAD.

Se supone que las superficies de captación deben ser completamente impermeables para evitar la gran infiltración en esos tipos de suelos cársicos, así como lo fuertemente solubles.

En estas condiciones, deberán pavimentarse todas las calles, y mantener un buen sistema de conservación , lo cual es muy difícil, ya que durante el tiempo de recolección, o sea durante la temporada de lluvias es cuando más perjuicio causa a las calles el tránsito de vehículos, llenándolas de baches, ondulaciones y agrietamientos.

Para darnos una idea de lo soluble que son los suelos, presentamos en el siguiente cuadro, los análisis realizados de las aguas de los aljibes cercanos al aeropuerto, primeramente en las condiciones normales cuando están algo mineralizados, y en seguida, el resultado de los análisis en un tiempo en que se comenzaba a deteriorar un poco la pista del aeropuerto. En el primer caso lo denominamos "Condiciones Normales", y en la columna donde se encuentran los resultados con las pistas en malas condiciones, aparece como "Pistas Afectadas". En la tercera columna, para comparar, aparecen las normas de calidad por la S.R.H.

ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LAS AGUAS DEL ALJIBE CERCANO AL AEROPUERTO DE LA CIUDAD DE CHETUMAL.

(Resultados expresados en p.p.m)

DETERMINACIONES.	Condiciones Normales.	Pistas Afectadas.	Normas de Calidad (máx.)
Turbiedad	0	5	10
Olor	inodora	inodora	
Color	7	30	20
pH	7.6	7.2	7 -8.5
Sólidos Totales	600	1900	500 -1000
Calcio (Ca)	83	352	75
Magnesio (Mg)	14	97	125
Fierro. (Fe)	0.01	0.08	0.3
Sodio. (Na) Calc.	94	414	
Carbonato (CO_3)	0	0	
Bicarbonato (HCO_3)	71	100	
Sulfato (SO_4)	370	1680	250
Cloruro (Cl)	18	78	250
Fluoruro (F)	n.d.	n.d.	1.5
DETERMINACIONES COMO CACO:			
Alcalinidad F.	0	0	
Alcalinidad Total	58	82	400
Dureza Total	264	1630	300
Dureza Carbonato	58	82	
Nitratos en N	0	0.1	5.00
COMBINACIONES HIPOTETICAS:			
Bicarbonato de Calcio	94	133	
Sulfato de Calcio	204	1523	
Sulfato de Magnesio	67	518	
Sulfato de Sodio	254	1122	
Cloruro de Sodio	30	129	

Aunque el agua proviene esclusivamente de precipitaciones oluviales, muestra una fuerte mineralización, que no se pudo - definir si provino del mal estado de la pista del aeropuerto - únicamente, o si existieron también infiltraciones a través del material de impermeabilización de los aljibes.

De cualquier manera muestra claramente que el menor contacto del agua pura con los suelos, la contamina fuertemente, haciéndola de una dureza excesiva.

Por lo tanto, resulta sumamente peligroso captar el agua - de las calles si hay imposibilidad de una perfecta conservación.

Como veremos más adelante, el agua de lluvia que ha sido - captada en superficies inapropiadas (como el caso del aeropuerto en la época citada), presenta características que obligan a un tratamiento previo a ser entregada a la población, y es semejante a la analizada en otras fuentes posibles de captación.

En esas condiciones, es preferible tratar directamente —— otras aguas, y ahorrar lo relativo al sistema doble de alcantarillado.

2.- BOMBEO COSTOSO.

Debido a la falta de pendiente, se presentarían muchas dificultades para transportar el agua a la cisterna de almacenamiento, ya que deberá hacerse por bombeo, aumentando mucho el - costo de operación.

Por este motivo, se ha estado estudiando un sistema de saneamiento a base de fosas sépticas, que a pesar de sus múltiples inconvenientes se ha pensado que sería preferible que aplazar indefinidamente la obras de drenaje debido a su alto costo de cons

trucción y operación.

3.-DIFICULTAD DE ALMACENAR EL AGUA.

Suponiendo que se evitaría la mineralización del agua y que el costo del bombeo no afectara lo suficiente como para de sechar el sistema separado, se presenta un nuevo problema; el de almacenar el agua de lluvia .

La capacidad del aljibe necesario sería aproximadamente - igual a la tercera parte del volumen total captado, debido a - las extracciones que deben hacerse diariamente, y a lo que hay que reservar para los meses de sequía.

$$V = \frac{7\,503 \times 365}{3} = 911\,000\ M3$$

O sea, sensiblemente nueve veces mayor al que existe.

Debido a que no hay ninguna depresión topográfica que pudiera aprovecharse, sería inconveniente una cisterna con tirante mayor de 3 m, debido al costo de excavación. Entonces la superficie que necesitemos será de 303 000 M2 o sean 30 hectáreas más o menos, lo cual resulta exagerado.

Aún en el caso de que dividiéramos la ciudad en zonas, cuyos conductos fueran a desembocar a los distintos aljibes, distribuídos convenientemente, tendríamos la dificultad de que estos depósitos quedaran dentro de la ciudad, y habría necesidad de techarlos, para evitar la evaporación y contaminación directa con la población.

Estos depósitos deben aumentarse además, con el incremento de la población.

En resumen, ya sin pensar también en la purificación que -

habría que darle al agua para quitar la materia orgánica nociva y demás objetos impropios que recogió en las calles, encontramos que el sistema de aprovechar las calles como superficie de captación, es inconveniente por la imposibilidad de almacenar el agua, pues equivaldría a construir una laguna artificial dentro de la ciudad.

Los curvatos son depósitos empleados desde hace muchos años para almacenar agua de lluvia, que es recolectada en los techos de algunas casas.

Sus dimensiones varían, generalmente se encuentran de 2.5 m. de diámetro y 4 m. de altura, de forma cilíndrica, construídos de madera con cinchos de fierro, y una capacidad útil que varía de 15 a 20 metros cúbicos. Actualmente es un privilegio el gozar de estos depósitos debido a que su costo de manufactura no está al alcance de todos los habitantes. De esta manera, únicamente los vemos en las construcciones de mampostería, en los comercios o industrias y en otras construcciones de personas medianamente acomodadas.

Es muy conveniente entonces que el gobierno del territorio realice una campaña de cooperación económica para la construcción de curvatos, cuando menos uno por cada 10 habitantes. La clase humilde necesita doblemente la ayuda económica para este objeto, pues además de la construcción del depósito, necesita acodicionar y conservar los techos de sus habitaciones.

Además la ayuda económica es necesaria para que el gobierno del Territorio tenga amplias facultades para controlar su uso, disminuyendo los desperdicios y la pérdidas.

Posiblemente el uso de estos curvatos deba hacerse, conservándolo lleno hasta la época de sequía, y entonces emplear su agua esencialmente para fines de bebida e higiene.

SITUACION ACTUAL.

Con las observaciones hechas en los puntos anteriores, se presenta inminente el tratamiento de las aguas de alguna de las fuentes mencionadas al principio de este capítulo.

Entonces deberá elaborarse una planeación de las obras que deben realizarse, tomando en cuenta las condiciones actuales, y las que se tendrán durante su vida útil.

Por lo tanto vamos a analizar el funcionamiento del aljibe existente, para esbozar las obras de urgente construcción.

Debido a que actualmente la dotación que se le entrega a la población es insignificante, pues a las casas que poseen curvatos prácticamente no se les entrega, y a la población humilde, en época de sequía, apenas se le ha entregado una lata por familia, por medio de "pipes" o de una red de hidretantes, vamos a considerar una dotación de 50 l. por habitante y por día para 10 000 personas. Consideramos una superficie de captación de 190 000 m2, aceptando que el campo aéreo será reparado de inmediato.

Desde luego, es preciso aclarar, que no es una solución al problema, sino una medida de emergencia, mientras se elabora la planeación y construcción de la planta de tratamiento más adecuada para las necesidades de Chetumal.

Este estudio de funcionamiento, lo haremos con los datos de la Estación Climatológica del Aeropuerto de Chetumal durante los años de 1954 a 1958. Además, se hará la consideración de que se evitará la evaporación, con el empleo de alboholes alifáticos.

FUNCIONAMIENTO DEL ALJIBE DE 100 000 m3 CON UNA DOTACION DE 50 l.h.d.PARA 10 000 HABITANTES DE LA CIUDAD DE CHETUMAL.
C : 0.7

1	2	3	4	5	6	7	8
1954							
enero	0.0584	7 720	15 000		7 280	0	
febrero	0.004	532	"		14 468	0	
marzo	0.051	6 790	"		8 210	0	
abril	0.029	3 860	"		11 140	0	
mayo	0.285	37 900	"	22 900		22 900	
junio	0.403	53 500	"	38 500		61 400	
julio	0.176	23 400	"	8 400		69 800	
agosto	0.258	34 200	"	19 200		89 000	
septiembre	0.296	39 400	"	24 400		100 000	13 400
octubre	0.510	67 900	"	52 900		100 000	52 900
noviembre	0.084	11 150	"		3 850	96 150	
diciembre	0.038	5 050	"		9 950	86 200	
1955							
enero	0.037	4 940	"		10 060	76 140	
febrero	0.060	8 000	"		7 000	69 140	
marzo	0.005	665	"		14 335	54 805	
abril	0.000	000	"		15 000	39 805	
mayo	0.005	665	"		14 335	25 470	
junio	0.098	13 050	"		1 950	23 520	
julio	0.261	34 700	"	19 700		43 220	
agosto	0.241	32 100	"	17 100		60 320	
septiembre	0.292	38 700	"	23 700		84 020	
octubre	0.232	30 900	"	15 900		99 920	
noviembre	0.022	2 930	"		12 070	87 850	
diciembre	0.128	17 000	"	2 000		89 850	
1956							
enero	0.022	2 930	"		12 070	77 780	
febrero	0.030	3 980	"		11 020	66 760	
marzo	0.022	2 930	"		12 070	54 690	
abril	0.000	000	"		15 000	39 690	
mayo	0.228	30 200	"	15 200		54 890	
junio	0.220	29 300	"	14 300		69 190	
julio	0.184	24 500	"	9 500		78 690	
agosto	0.079	10 500	"		4 500	74 190	
septiembre	0.329	43 700	"	28 700		100 000	2 890
octubre	0.120	16 950	"	1 950		100 000	1 950
noviembre	0.020	2 660	"		12 340	87 660	
diciembre	0.064	8 510	"		6 490	81 170	

Año.	Alt. de lluvia mensual en m.	Entr. mens. en m3.	Salida mens. en m3	Diferen. +	Diferen. -	Vol. Acum. en m3.	Vol. Acum en m3.
1957							
enero	0.123	16 400	"	1 400		82 570	
febrero	0.164	21 800	"	6 800		89 370	
marzo	0.013	1 735	"		13 265	76 105	
abril	0.004	532	"		14 468	61 637	
mayo	0.050	6 680	"		8 320	53 317	
junio	0.109	14 500	"		500	52 817	
julio	0.099	13 200	"		2 800	50 017	
agosto	0.094	12 500	"		3 500	46 517	
septiembre	0.148	19 750	"	4 750		51 267	
octubre	0.267	35 600	"	20 600		71 867	
noviembre	0.049	6 550	"		8 450	63 417	
diciembre	0.048	6 420	"		8 580	54 837	
1958							
enero	0.020	2 660	"		12 340	42 497	
febrero	0.020	2 660	"		12 340	30 157	
marzo	0.000	000	"		15 000	15 157	
abril	0.003	399	"		14 601	556	
mayo	0.383	51 200	"	36 200		36 756	
junio	0.202	27 000	"	12 000		48 756	
julio	0.160	21 400	"	6 400		55 156	
agosto	0.019	2 530	"		12 470	42 686	
septiembre	0.333	44 200	"	29 200		71 886	
octubre	0.184	24 600	"	9 600		81 486	
noviembre	0.141	18 750	"	3 750		85 236	
diciembre.	0.085	11 300	"		3 700	81 536	

El funcionamiento del aljibe en las condiciones que se pusieron, es bastante aceptable, pues aunque permanece vacío durante los meses de enero, febrero, marzo y abril del primer año del período, éste es debido a que se partió considerando seco el aljibe, y los meses corresponden a época de sequía.

Sin embargo, hicimos la suposición de que se iba a evitar la evaporación, cosa que requiere mucho cuidado y atención.

Para notar la gran diferencia que existe, si no evitamos la - evaporación, presentamos la siguiente tabla.

Superficie de evaporación: 39 650 m2

FUNCIONAMIENTO DEL ALJIBE, SI NO SE EVITA LA EVAPORACIÓN.

Año	Evaporación en M.	Volumen Parcial M3.	Pérdida por Evaporación M3.	Volumen Acumulado	Volumen Rebosado.
1954					
enero	0.128	0	5 090	0	
febrero	0.139	0	5 520	0	
marzo	0.198	0	7 880	0	
abril	0.223	0	8 880	0	
mayo	0.213	22 900	8 480	14 420	
junio	0.181	52 920	7 190	45 730	
julio	0.185	54 130	7 370	46 760	
agosto	0.189	65 960	7 520	58 440	
septiembre	0.153	82 840	6 080	76 760	
octubre	0.122	129 660	4 860	100 000	24 800
noviembre	0.105	96 150	4 170	91 980	
diciembre	0.092	82 030	3 670	78 360	
1955					
enero	0.117	68 300	4 660	63 640	
febrero	0.120	56 640	4 790	51 850	
marzo	0.222	37 515	8 850	28 665	
abril	0.259	13 665	10 350	3 315	
mayo	0.278	0	11 050	0	
junio	0.235	0	9.350	0	
julio	0.146	19 700	5.810	13 890	
agosto	0.184	30 990	7.330	23 660	
septiembre	0.153	47 360	6 090	41 270	
octubre	0.123	57 170	4 890	52 280	
noviembre	0.105	40 210	4 170	36 040	
diciembre	0.100	38 040	3 965	34 075	

1		3	4	5	6
1956					
enero	0.121	22 005	4 820	17 185	
febrero	0.168	6 165	6 690	0	
marzo	0.206	0	8 200	0	
abril	0.242	0	9 650	0	
mayo	0.224	15 200	8 910	6 290	
junio	0.159	20 590	6 320	14 270	
julio	0.178	23 770	7 090	16 680	
agosto	0.202	12 180	8 050	4 130	
septiembre	0.147	32 830	5 850	26 980	
octubre	0.139	28 930	5 530	23 400	
noviembre	0.107	11 060	4 260	6 800	
diciembre	0.116	310	4 620	0	
1957					
enero	0.142	1 400	5 660	0	
febrero	0.126	6 800	5 010	1 790	
marzo	0.195	0	7 760	0	
abril	0.241	0	9 610	0	
mayo	0.242	0	9 680	0	
Junio	0.217	0	8 630	0	
julio	0.216	0	8 600	0	
agosto	0.239	0	9 500	0	
septiembre	0.160	4 750	6 380	0	
octubre	0.153	20 600	6 090	14 510	
noviembre	0.133	6 060	5 300	760	
diciembre	0.101	0	4 020	0	
1958					
enero	0.097	0	3 860	0	
febrero	0.153	0	6 110	0	
marzo	0.194	0	7 720	0	
abril	0.259	0	10 300	0	
mayo	0.236	36 200	9 420	26 780	
junio	0.214	38 780	8 510	30 270	
julio	0.170	36 670	6 790	29 880	
agosto	0.208	17 410	8 280	9 130	
septiembre	0.213	38 330	8 480	29 850	
octubre	0.133	39 450	5 290	34 160	
noviembre	0.122	37 910	4 860	33 050	
diciembre	0.096	29 350	3 820	25 530	

Nos damos cuenta en este funcionamiento que es necesario evitar las pérdidas por evaporación, pues en caso contrario tendríamos los depósitos vacíos en todos los períodos de secas, faltando, según el funcionamiento 63 468 m3 en 1954; 36 685 en 1955; 74 740 en 1956; 121 283 m3 en 1957 y 82 271 en 1958.

Notamos también que únicamente rebosa una vez, debido a un mes extraordinariamente lluvioso.

Por otra parte encontramos, que aparecen volúmenes insignificantes almacenados en diez meses, lo cual es doblemente perjudicial, pues no se tiene una reserva suficiente para el caso de algún incendio, o bien puede desaparecer por pérdidas o desperdicios.

Por otra parte, se ha estudiado que cuando el tirante en el aljibe es muy pequeño, debido a las condiciones de iluminación y temperatura se presentan en el embalse serios florecimientos de algas, entre las que se han identificado en el laboratorio:

Protozoarios: Escaso número de Peranema y Paramoecium.

Crustáceos: Escaso número de Cyclops y Daphnia.

Algas: Abundantes individuos de Euglena, Asterionella, Navicula y Spirogyra.

Resumiendo podemos planear las actividades en dos etapas consecutivas; una de realización inmediata, urgente, y la otra posterior a estudios económicos y de laboratorio:

1.- EVITAR QUE LA POBLACION PADEZCA SED.

2.- DOTAR DE SUFICIENTE AGUA POTABLE A LA CIUDAD.

1.- EVITAR QUE LA POBLACION PADEZCA SED.

El espíritu del pueblo mexicano es altamente conservador, prefiere soportar estoícamente, a menudo en forma inconciente los sufri-

mientos ocasionados por la escasez de los elementos más indispensables para su existencia, que rebelarse unidos a luchar contra las inclemencias de la naturaleza.

Es por esto que en la Capital de la República no hemos oído el gemido de los habitantes de esa ciudad por la carencia casi absoluta de agua en época de sequía, con un clima caliente y desconociendo casi en absoluto las más leves nociones de higiene. Esta situación la vienen padeciendo desde hace muchos años.

El hombre puede acostumbrarse a muchas situaciones desfavorables, pero el precio de esa costumbre es la debilidad, el estancamiento, la decadencia. Un pueblo para prosperar necesita agua. Debemos cooperar porque Chetumal tenga el agua que necesita, primero para apagar la sed de los habitantes, después para desarrollar las industrias.

Anteriormente se han señalado los puntos que deben tomarse en cuenta, de inmediato, aprovechando las obras ya existentes y que anotamos a continuación:

a).- Reacondicionar las pistas del aeropuerto, las superficies adyacentes, y los canales de conducción.

Vemos en qué forma puede aumentarse la superficie de captación que en 1958 apenas era de 84 000 m2.

Superficie de captación aprovechable en las pistas en el año de 1958	84 000 m2
Pistas de aterrizaje que falta pavimentar	42 000 m2
Superficie adyacente que conviene desmontar e impermeabilizar con un riego asfáltico	53 000 m2
Superficies de taxeo aprovechables	11 000 m2
Total	190 000 m2

Debe también limpiarse y resanarse el canal de conducción que lleva el agua de las pistas al aljibe.

b).- Revisar y resanar los aljibes.

Con el objeto de evitar grandes pérdidas por infiltración, debe hacerse un examen minucioso, una vez vacíos, y resanar perfectamente las dos cámaras que forman los aljibes. Hay ocasiones que por infiltración se pierde 1.5 a 3 veces el volumen perdido por evaporación.

c).- Evitar la evaporación.

La reducción de las pérdidas por evaporación en los aljibes de Chetumal, tiene particular importancia por las múltiples razones expuestas anteriormente.

Los primeros esfuerzos para desarrollar un procedimiento barato y práctico de reducir esas pérdidas, se basa en una película superficial relativamente gruesa de aceite. Esto no tuvo éxito por la imposibilidad de mantener una película contínua, donde los movimientos del viento alteran la superficie.

Los primeros trabajos formales relativos al comportamiento de varias películas superficiales en el agua, los comenzó el señor W. W. Mansfield, en Melbourne, Australia. Llegó a descubrir que ciertas películas monomoleculares, no solamente reducen la evaporación, sino que pueden mantenerse intactas por largos períodos .

En 1956 se dió a conocer el "Procedimiento Mansfield", para reducir las pérdidas por evaporación. Este proceso emplea granos de una sustancia química insoluble llamada exadecanol,(alcóhol cetílico).

El exadecanol flota en la superficie del agua, y forma una película muy delgada invisible, que se extiende entre los granos sobre la superficie . Esta película reduce la evaporación. Para evitar

que se rompa la película, deben agregarse granos de exadecanol adicionales.

El proceso anterior se ha recomendado por ahora solamente para superficies de agua que no sean mucho mayores de una hectárea, sobre los cuales el oleaje es pequeño, pues en caso contrario puede gastarse rápidamente la carga de exadecanol. Además debe tomarse en cuenta que este procedimiento se ha probado únicamente en superficies de agua prácticamente libres de vegetación.

El exadecanol es un sólido blanco, seroso, que flota en el agua, se encuentra en el comercio bajo el nombre de alcóhol cetílico. Para que el procedimiento se desarrolle con éxito, debe satisfacer las especificaciones establecidas por la C.S.I.R.O., que se dan a continuación, la marca de certificación SI-RO-SEAL se ha adoptado para distinguir el material que está elaborado bajo esta especificación.

ESPECIFICACION PARA EL EXADECANOL EMPLEADO EN LA REDUCCION DE LA EVAPORACION. (CSIRO)

Debe tener el exadecanol la forma de granos, con diámetro entre 2mm (0.08 de pulgada) y 4 mm (0.16 de pulgada). Es preferente el tamaño entre 2.5 y 3 mm aproximadamente 1/10 y 1/8 de pulgada).

La muestra deberá contener:

Exadecanol.....No más de 80%

Octadecanol.....No más de 10%

Tetradecanol y dodecanol.....No más de 5% juntos.

Alcóholes con longitud de cadena menor de diez..... No más de 0.5%

Alcóhol no saturado..... No más de 4%

La muestra deberá tener las siguientes propiedades:

Valor de yodina	Menos de 3.
Valor de ácido	Menos de 0.3
Valor de Saponificación	Menos de 0.5
Valor de Hydroxil	225 a 230
Punto de Funsión	47 a 50°C.

El Dr. Harry C. Hanson, Director del Centro de Ingeniería - Sanitaria "Robert A. Taft ", de Cincinnati, Ohio da a conocer que las observaciones verificadas hasta el momento indican que el exadecanolmo presenta efectos tóxicos para el ser humano, y que como sus películas monomoleculares no registren el paso del bióxido - de carbono ni del oxígeno, resulta innocuo para el equilibrio biológico de las aguas en los embalses.

En la práctica se ha visto la conveniencia de emplear una -- balsa para almacenar una cantidad de exadecanol y mantener la delgada película sobre la superficie del agua. Los granos de exadecanol están contenidos dentro de una bolsa de tela para evitar que se dispersen, pero que no estorben a la formación de la película--

la. Unos flotadores apropiados conservan este saco sobre la superficie.

La película de exadecanol desaparece lentamente, pero se le remplaza por medio de los granos almacenados en la balsa. Es por tanto esencial mantener un abastecimiento de exadecanol en la balsa.

Un embalse de alrededor de media hectárea requerirá una balsa, pero embalses mayores de una hectárea requerirán cuando menos dos balsas.

El saco de tela debe cubrir un área de la superficie del agua de un metro cuadrado aproximadamente. Una carga de un kilogramo de exadecanol se coloca en el saco, debiendo cubrir la superficie en que descansa el saco. Aproximadamente cada mes debe reabastecerse la bolsa de granos para mantener completa la superficie, necesitándose de un cuarto a medio kilogramo por cada balsa.

Es requisito importante que la mayor parte del saco que quede hasta el nivel del agua sea de tela, el resto puede ser de metal, plástico u otro material semejante que evite el escape de los granos.

La tela debe ser de bronce o aluminio, con 14 a 16 mallas por pulgada. Es posible que una tela de material plástico resistente sea un sustituto del bronce, pero aún no se ha probado.

El saco deberá estar provisto de una abertura adecuada para permitir que sea cargado con el exadecanol. La parte superior del saco debe flotar a lo menos 7 cm. arriba de la superficie del agua y en el fondo de la balsa, a lo menos 5 cm. abajo de su superficie. Si la bolsa se sume dentro del agua aúnque aún esté flotando, las olas arrastran los granos contra la parte superior del saco, y den

tro de un corto tiempo se desintegrarán en pequeñas partículas que se escaparán y perderán.

Balsas que quedan enteramente sobre flotadores de madera han mostrado que no son satisfactorias. Cualquier tratamiento que se dé a la madera sería temporal, y la balsa se sume en el agua permitiendo la abrasión de los granos contra la parte superior de la bolsa.

La balsa puede guardarse en el centro del tanque por medio de dos alambres amarrados desde la orilla y unidos a los dos extremos de la balsa.

Este arreglo facilita llevar la balsa hasta la orilla para su inspección mensual.

En algunas presas se acostumbra anclar la balsa, y se hace la revisión en canoa.

Con la aplicación de 2.8 kg. por hectárea de alcohol cetílico es posible esperar una reducción de 45% de las pérdidas por evaporación.

El proceso se encuentra en fase incipiente de desarrollo, y a pesar de presentar las limitaciones naturales a tal condición, considero que puede aplicarse en los aljibes de Chetumal, por tratarse de depósitos cerrados, desprovistos de vegetación, y de superficie reducida, Unicamente deberá tenerse la precaución de mantener un pequeño tirante de agua, para evitar que la sustancia salga a la red de distribución.

d).- Revisar y reacondicionar la tubería de conducción de los aljibes del aeropuerto al Aljibe Lázaro Cárdenas.

e).- Igualmente la red de distribución del aljibe Lázaro Cárdenas a los diferentes hidrantes, donde le es repartida el agua

a la población.

f).- Construcción de mayor número de curvatos posibles.

El agua analizada de los curvatos es de excelente calidad, está dentro de las normas de calidad, ya que no llega a contaminarse en su corto recorrido de los techos de las casas al depósito.

Notamos que para el caso de extrema sequía en los aljibes, como emergencia la población podría subsistir con 101 l.h.d. para bebida y lavado. Si consideramos tres meses de sequía, los 10,000 habitantes con que contaba Chetumal cuando se hizo el estudio necesitaban un volumen de:

$$10\ 000 \times 0.01 \times 90 = 9\ 000\ m3.$$

Los cuales deberían almacenarse en curvatos de 20 m3 de capacidad en un número de:

$$\frac{9\ 000}{20} = 450 \text{ curvatos.}$$

Cantidad que viene a justificar la proporción de curvatos en relación con el número de habitantes, que propusimos anteriormente, es decir, de construir un curvato por cada 10 habitantes.

g) Control de los microorganismos.

Como ya indicamos, con frecuencia aparecen florecimientos de algas y otros microorganismos en los aljibes del aeropuerto .

Para el control de las algas, la práctica más seguida, es la aplicación de sulfato de cobre a dosis de alrededor de 2 p p m. - equivalente a 2 g. por metro cúbico.

Desde luego, debe continuarse también la clorinación de las aguas a la salida de los aljibes del aeropuerto.

2.-Dotar de suficiente agua potable a la ciudad.

Una vez satisfechas las necesidades actuales, más indispensables de consumo de agua, debemos enfocar el estudio de otras fuentes posibles para el consumo del futuro de la población.

Del estudio del funcionamiento del aljibe del aeropuerto, encontramos, que trabajando en condiciones óptimas podría proporcionarnos 50 l. diarios para 10.000 habitantes o sea un gasto medio de:

$$Q_A = \frac{50 \times 10\,000}{86\,400} = 5.79 \text{ l/seg.}$$

Es decir, las demás fuentes de abastecimiento deben tener un volumen tal que nos permitan extraer 51 l/seg.

Por lo tanto, vamos a estudiar someramente las fuentes posibles de abastecimiento, señaladas al principio de este capítulo.

.- AGUAS DE MAR.

De acuerdo con su distancia a la Ciudad de Chetumal, nos corresponde ahora estudiar la posibilidad de aprovechar las aguas de la Bahía de Chetumal, para el abastecimiento del agua potable de la población, desde luego, después de un tratamiento conveniente.

Por supuesto, aceptando obviamente, que la cantidad es suficiente; veamos la manera de hacer que la calidad de las aguas, una vez tratadas, sea adecuada.

Primeramente, damos a conocer las normas de calidad, que rigen actualmente en la Asociación Mundial de la Salud, extraídas del I.S.D.W. (Internacional Standars of Drinking Water).

Los límites siguientes de "permisible", se aplican a aguas que son generalmente aceptadas por los consumidores. Valores mayores a éstos se consideran "excesivos", afectando marcadamente la potabilidad del agua.

El color está basado en la Escala Platino-Cobalto y la turbiedad está dada en "unidades de Turbiedad", aceptada en E. U.

ESPECIFICACIONES FISICO QUIMICAS PARA EL AGUA POTABLE.

(Asociación Mundial de la Salud)

CONCEPTO.	PERMISIBLE.	EXCESIVO.
Sólidos totales	500 mg/l	1500 mg/l.
Color	5 un.	50 un.
Turbiedad	5 un.	25 un.
Sabor	Agradable.	- - - - -
Olor	Inodoro.	- - - - -
Fierro (Fe)	0.3 mg/l.	1.0 mg/l
Manganeso (Mn)	0.1 mg/l	0.5 mg/l.
Cobre (Cu)	1.0 mg/l	1.5 mg/l
Zinc (Zn)	5.0 mg/l	15 mg/l
Calcio (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
Magnesio (Mg)	50 mg/l	150 mg/l.
Sulfato (SO).	200 mg/l	400 mg/l
Cloruros(Cl)	200 mg/l	600 mg/l
p H	7.0-8.5	Menos de 6.5 o más de 9.2
Magnesio + Sulfato de sodio.	500 mg/l	1000 mg/l
Sustancias Fenólicas (como Fenol)	0.001 mg/l	0.002 mg/l

Comparemos ahora estos valores, con los hallados en los análisis efectuados a las aguas de la Bahía de Chetumal.

ANALISIS FISICO QUIMICO DE LAS AGUAS DE LA BAHIA DE CHETUMAL.

(Resultados expresados en p p m.)

DETERMINACIONES.	Orilla a 1.5 m de profundidad	Orilla Superficial.	2 Km. de la playa superficial.	Normas de Calidad.
Turbiedad	0	0	0	10
Olor	inodora	inodora	inodora	
Color	0	8	30	20
pH	8.4	8.3	8.4	7 -8.5
Sólidos Totales.	21046	14520	20154	500 -1000
Sílice	3	2	3	
Calcio (Ca)	707	637	722	
Magnesio (Mg)	688	506	698	125
Fierro (Fe)	0	0	0	0.3
Sodio (Na)	5336	3450	5290	
Sulfato (SO)	2087	1622	2066	250
Cloruro (Cl)	9850	6650	9850	250
Fluoruro (F)	0.58	0.46	0.33	1.5
Determinaciones como CaCO3				
ALCALINIDAD F	13	10	12	
Alcalinidad Total.	113	136	111	400
Dureza Total	4596	3672	4641	300
Combinaciones Hipotéticas.				
Bicarbonato de Calcio	157	179	151	
Sulfato de Calcio	2246	1984	2307	
Sulfato de Magnesio.	640	279	559	
Cloruro de Sodio.	13543	8798	13456	
Carbonato de Calcio	28	20	24	
Cloruro de Magnesio.	2187	1759	2158	

La muestra en el muelle de Chetumal dió un contenido de minerales sorprendentemente bajo con relación al que era de esperarse; sobre todo de cloruros.

Puesto que la Bahía de Chetumal está unida al mar abierto por amplios canales en la parte del sur, se podría suponer que la composición química de sus aguas fuese semejante a la del oceáno. En realidad, el análisis muestra que hay más parecido con el agua del Río Hondo que con la del mar.

Presentamos a continuación la

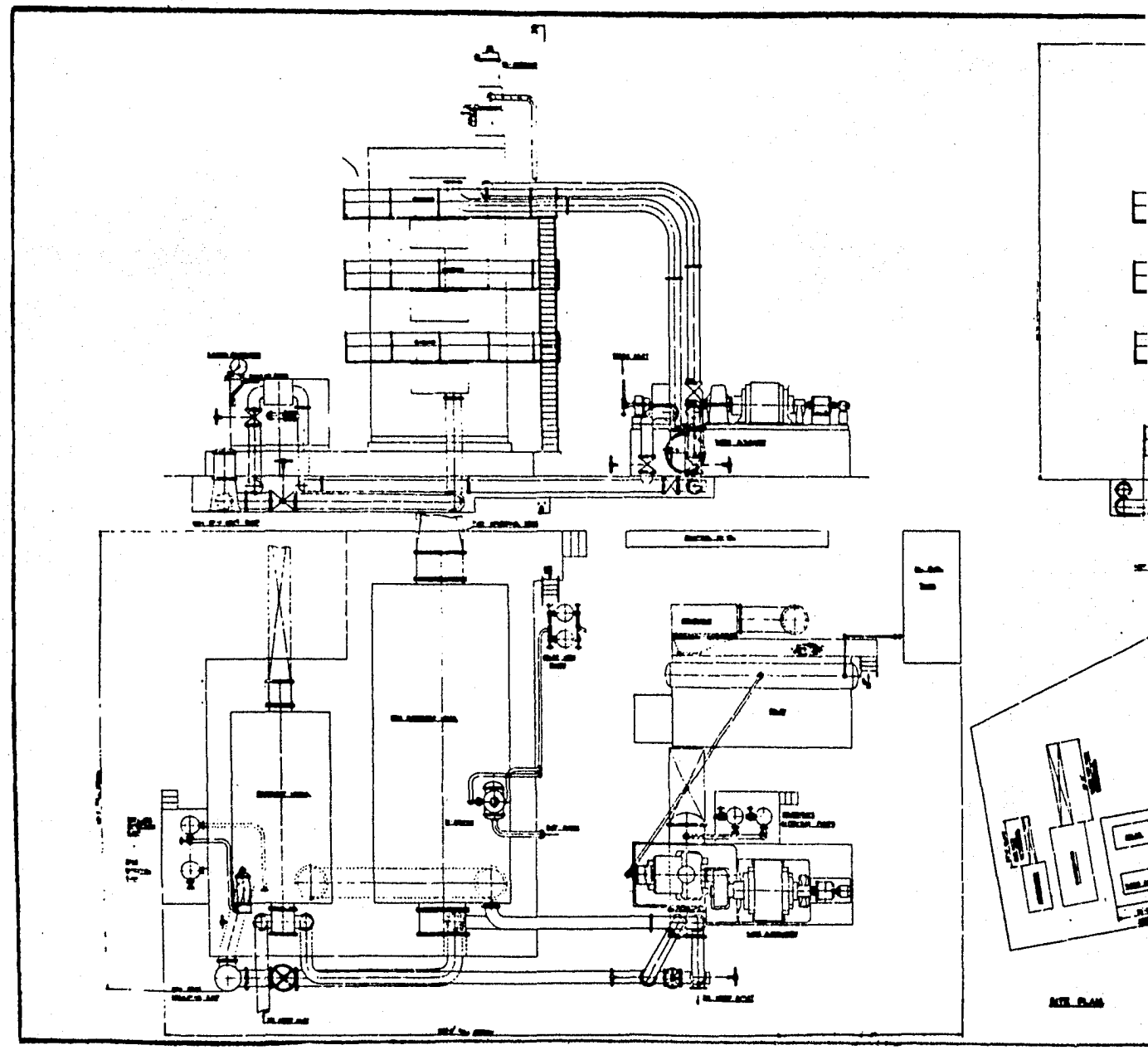
COMPOSICION NORMAL DEL AGUA DEL MAR.

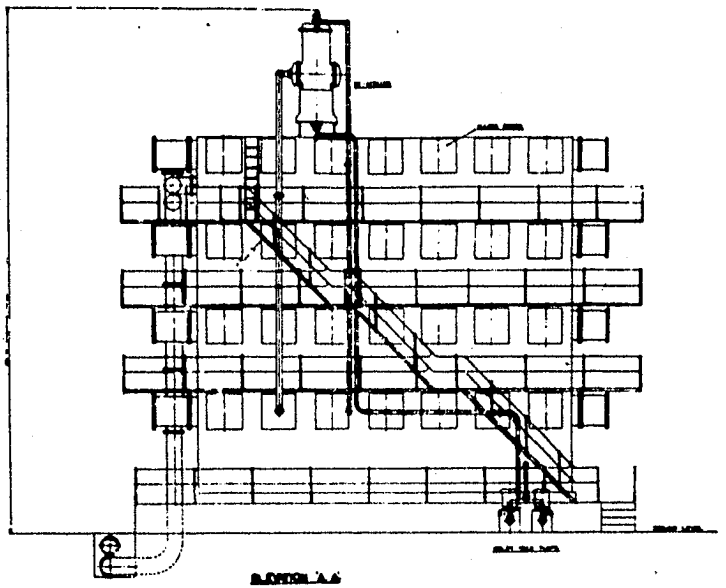
Cloruro de Sodio	27200	(Cl: 16500)
Cloruro de Magnesio	3800	(Cl: 2800)
Sulfato de Magnesio	1700	(SO_4: 1360)
Sulfato de Calcio	1200	(SO_4: 850)
Sulfato de Potasio	900	(SO_4: 635)
Sulfato de Calcio y otros	200	($CaCO_3$ + otros: 200)
Todas las Sales	35000	
Todos los cloruros	19360	
Todos los Sulfatos	2845	
Carbonatos y otros	200	

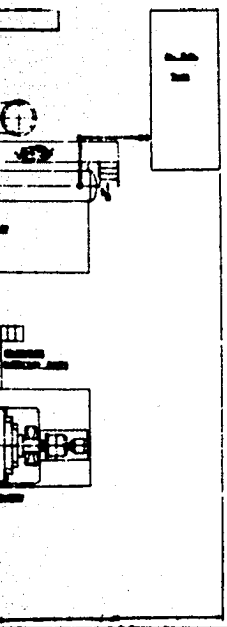
De lo anterior se llega a la conclusión de que la Bahía de Chetumal, cuando menos en su porción interna; representa una especie de lago terminal del Río Hondo y no una penetración del mar -- propiamente. Parece ser que los arrecifes que se encuentran ligeramente sumergidos que se hallan en el límite de la Bahía de Chetumal y las Islas a lo largo de las costas del Caribe, actúan como barreras contra la entrada del agua de mar, y que la cantidad de agua de Río Hondo que llega a la Bahía es suficientemente para llenarla -- permanentemente con agua relativamente dulce que viene de las su --

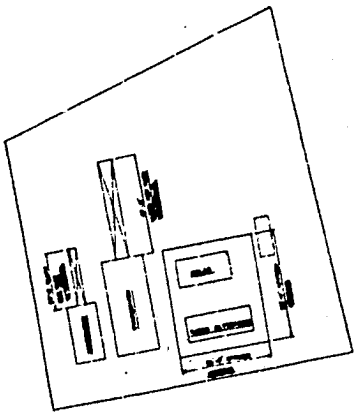
perficies continentales cercanas.

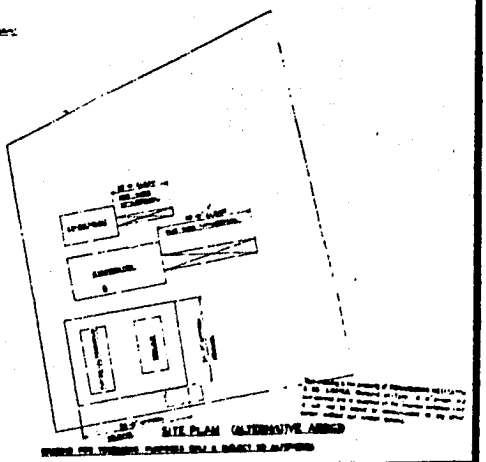
Antes de tratar de iniciar concretamente el procedimiento más factible para desmineralizar las aguas de la Bahía de Chetumal, -- veamos de una manera rápida y general algunos de los diversos métodos que han surgido en el mundo, para tratar aguas salinas, así como su desarrollo y su importancia.











PLANTA EVAPORADORA DE AGUA DE MAR

METODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE MAR.

Desde hace muchos años se ha dirigido la atención de los - ingenieros sanitarios y los investigadores, especialmente en el tratamiento de las aguas de mar, procurando el más bajo costo. Esto ha tenido principal importancia en los Estados Unidos, ya que su consumo de agua desde 1900 a la fecha se ha incrementado en siete veces, y estiman que para 1975, su requerimiento de agua será muy cerca del doble de la actual, necesitándose para entonces, cerca del 27% del total de agua natural de sus ríos, lagos, manantiales, etc.

Con esas observaciones, se está realizando una gran campaña para reducir el gran desperdicio de agua, evitando al máximo las pérdidas de los ríos; recobrando el agua usada por purificación, dirigiendo el uso industrial de las aguas con más cuidado, etc.

Algunas de las grandes industries nos han mostrado algo de lo que se puede hacer en este sentido. Por ejemplo, la Kaiser- - Steel, de Fontana, California, ha reducido el consumo de agua en la manufactura del acero, de 292.5 m^3 por tonelada, a sólo 6.3,- recirculando el agua que usa.

Por otra parte, han encontrado obvio, que el problema planteado se puede solucionar, aumentando el agua disponible, pudiéndolo hacer en gran escala, si se convierte el agua salada en dulce. Con este objeto, bajo la dirección del Departamento del Interior, funciona en Estados Unidos, en combinación con otros países, un sistema coordinado de investigación.

Los métodos de conversión de agua salada incluyen un gran --

número de procesos bastante conocidos, pero algunas nuevas ideas han venido a revolucionarlos o a complementarlos.

Se define "agua fresca" comunmente como un agua con un contenido de sales disueltas inferior a 1,000 partes por millón, pero esta cantidad depende siempre del uso que se la vaya a dar al agua.

Por ejemplo, el agua para bebida, de acuerdo con el U.S. -- Public Health Service Standards, no debe contener más de 1,000 - p.p.m., siendo preferible inferior a 500 p.p.m.

En general para riego en agricultura no debe tener más de - 1,200 p.p.m. y el promedio de la concentración depende del tipo determinado de sales que contenga. Para algunas industrias, como la de refrigerantes, puede usarse el agua de mar sin tratar; en - cambio otras como calderas de alta precisión es necesario tener - agua de gran pureza, con un contenido no mayor de 2 ó 3 p.p.m.

Entonces del tratamiento económico de las aguas de mar, depen de la finalidad o del uso que le vamos a dar; para algunos casos - el costo será razonable, pero muy elevado para otros.

La salinidad de las aguas factibles de convertir varía grandemente. Los oceános son bastante uniformes con un promedio de -- 35,000 p.p.m. de sales, habiendo algunas discrepancias notables - en el Golfo de Persia, que es de 40,000 p.p.m. en la Bahía de --- Chesapeake, con 15,000 p.p.m.; y en el mar Báltico con sólo 7,000.

A cualquier agua menos salada que la de los oceános, pero con un contenido mayor de 1,000 p.p.m. la llamamos "salobre".

El mayor contenido de sal en el agua del mar es de cloruro-- de sodio, o sal común; sin embargo, contiene también algunas cantidades de otras sales (44 elementos disueltos en total).

DESMINERALIZACION DEL AGUA DE MAR.

Los principios fundamentales para quitar las sales al agua de mar son bastante sencillos. Una sal disuelta en agua se separa en sus iones, por ejemplo el caso del cloruro de sodio, la carga positiva, el ión sodio, y la carga negativa, el ión cloruro; estos iones se ligan a las moléculas del agua por sus cargas eléctricas. El problema se reduce a separar las moléculas de agua y los iones de la sal.

Podríamos hacer un cálculo de la cantidad de energía que necesitamos para esta operación:

Consideremos dos frascos cerrados; uno con agua pura y el otro con agua de mar. A la temperatura ambiente una determinada cantidad de agua de cada frasco se evapora, estableciéndose un cierto equilibrio de la presión del vapor, sin destapar los frascos.

La presión del vapor en el frasco con agua de mar es menor que en el frasco de agua pura, porque sus moléculas de agua, estando sujetas a los iones de la sal, no se evaporan tan facilmente. Ahora bien, la energía extra que necesitamos para separar las moléculas del agua de los iones se puede medir fácilmente:-- es igual a la energía que tenemos que dar para comprimir el vapor del frasco de agua de mar hasta que su presión sea igual a la del vapor del frasco de agua pura.

Para agua de mar media, esta energía se calcula en 0.75 -- KWH/m^3. Pero éste es solamente el mínimo necesario para que se pueda realizar el equilibrio de la presión, con un escaso margen.

Para llevar esto el rango de evaporación a un nivel práctico se requiere mucho más energía. Además hay muchas limitaciones en la eficiencia en la conversión de energía a trabajo, en cualquier - proceso de maquinaria. En consecuencia, cualquier tipo de ener-- gía que apliquemos a una máquina es irremediablemente perdido en un porcentaje considerable.

En la práctica, separar agua de sal por evaporación en una simple destilación, se lleva mil veces la cantidad de energía indicada por los resultados teóricos de la termodinámica, más o menos 750 KWH/m^3 en forma de calor. Pero hay desde luego, otros -- procesos más eficientes que el simple destilador de un paso.

DESTILACION.

El proceso más sencillo de este tipo, es el simple alambique. evaporador de agua, que trabaja a la presión atmosférica pero - no es muy socorrido por su eficiencia que es bastante baja.

Sin embargo, si nosotros comprimimos el vapor algunos kilo-- gramos por centímetro cuadrado arriba de la presión atmosférica, la temperatura del vapor debe ascender ligeramente, y podemos usar este incremento de calor para evaporar más agua. En otras palabras, hemos incrementado la producción de agua destilada sin proporcio-- nar más calor al sistema; solamente empleando una pequeña cantidad de energía en funcionar un compresor.

Este método se denomina "Destilación a Compresión", y reduce el total de energía requerida de 750 KWH/m^3 a 55. más o menos.

Este procedimiento de destilación a compresión tiene más de cien años; fue patentado por primera vez por el francés Pierre --

Pelletan en 1840.

El Ejército de los Estados Unidos usó este método en múltiples ocasiones durante la segunda guerra mundial para proporcionarle agua a sus tropas en zonas desprovistas de agua potable.

En los últimos seis años se ha despertado mucho interés por la destilación a comprensión por la aparición de un nuevo sistema inventado por Kenneth C. D. Hickmann.

En esencia lo que Hickmann introdujo fue un simple artefacto para incrementar extraordinariamente la trasmisión de calor - al agua; debido principalmente a que la extiende en una delgada película.

Lo más importante de este invento es la aparición de un tambor giratorio (de la forma de un tambor de juguete).

El agua salada, a una temperatura de 52°C es rociada en la superficie interior del tambor. La fuerza centrífuga por la rotación del tambor extiende el agua sobre esta superficie en una delgada yturbulenta película.

Parte del agua se evapora (las gotas que no se evaporan ,— son constantemente removidas hacia afuera por medio de una cu- - chara). El vapor de agua sale del tambor por un tubo donde un ventilador lo comprime, aumentando su temperatura. El vapor calentado circula entonces por la superficie de afuera del tambor; ahí - se condensa y desprende su calor latente; la pared del tambor -- trasmite este calor a la película de agua de la parte de adentro, impulsando la velocidad de evaporación. El vapor condensado es - colectado como agua destilada.

Este sistema es recomendado no sólo por su simplicidad y ba

ja energía requerida, sino también por otra ventaja: la baja temperatura de operación (de 52 a 65°C),

En los procesos de destilación donde se emplean muy altas temperaturas, las sales del agua de mar son depositadas en las superficies de metal como incrustaciones.

La formación de incrustaciones, que impiden la transferencia de calor al agua, es el principal enemigo que se tiene para disminuir el costo de la destilación,

En el aparato de Hickmann, las incrustaciones son muy pequeñas ,debido a las bajas temperaturas de operación.

La principal limitación en el uso de este destilador rotatorio, es obviamente la debida a lo reducido de su tamaño.

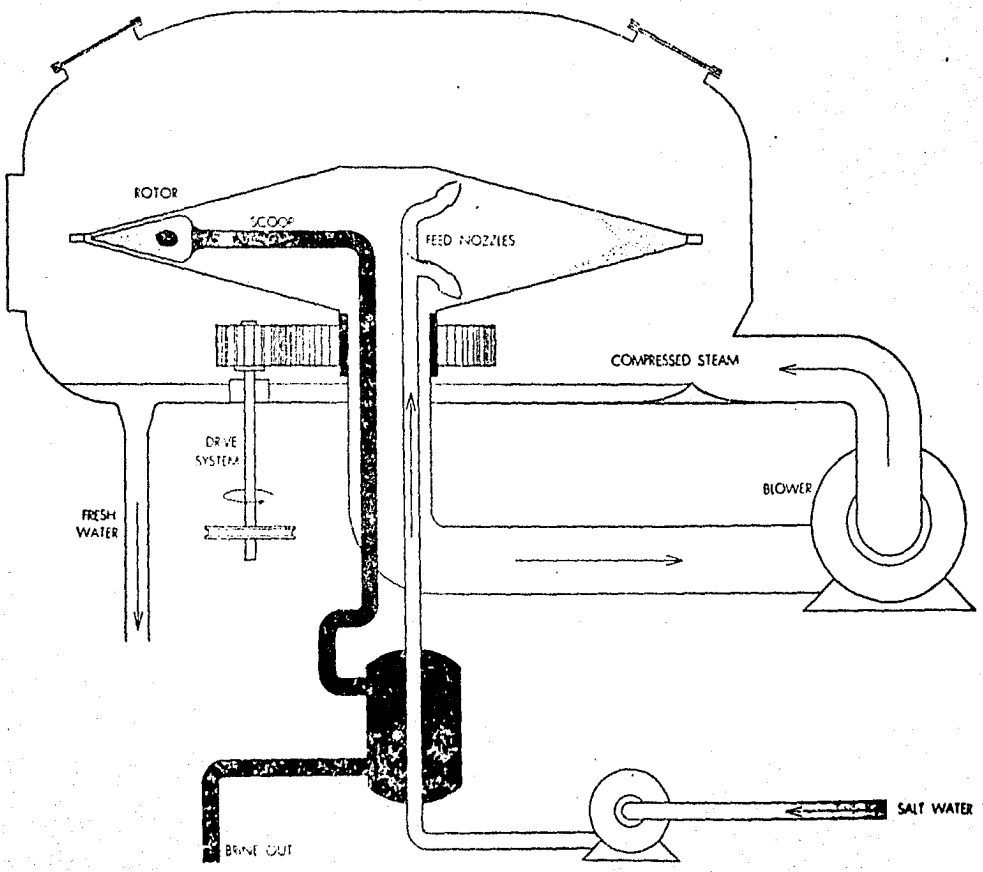
DESTILADOR DE MULTIPLES PASOS.

Entre las soluciones de mayor importancia en el problema de la eficiencia en la destilación, la que presenta más esperanzas de mejorar es el destilador de múltiples pasos.

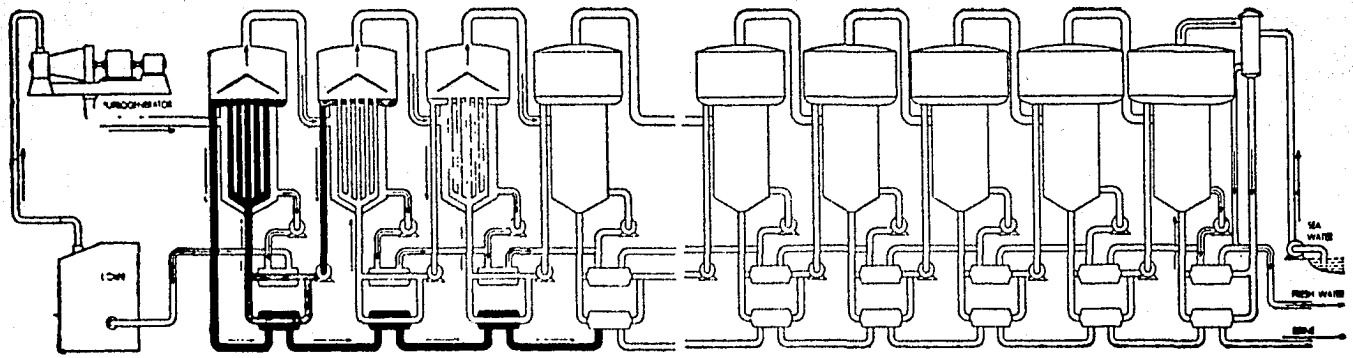
PLANTA EVAPORADORA DE MULTIPLE EFECTO.

El primer efecto condensa vapor de escape de unturbogenerador (5 a 6 #). El condesado regresa a la caldera. El vapor producido en cada efecto sirve para calentar el siguiente paso, y el condesado obtenido es ya agua potable. La alimentación de agua de mar se efectúa a contra corriente, obteniéndose salmuera (a partir de la cual podría fabricarse sal, constituyendo una fuente de ingresos secundaria).

La alimentación de cada efecto se precalienta con el condensado del mismo y la salmuera.



PLANTA EVAPORADORA CON EL SISTEMA DE TAMBOR ROTATORIO.



PLANTA EVAPORADORA DE MULTIPLE EFECTO.

Cada evaporador consta de una calandria extralarga y una cámara de expansión con un deflector cónico. El vapor resultante del último efecto pasa a un condensador de superficie que opera con la alimentación fría que va a los evaporadores.

En este sistema, el calor latente desprendido por la condensación del agua evaporada en cada paso, es usada en el siguiente paso, produciendo un efecto de cadena.

En el primer paso el agua de mar es evaporada a la presión atmosférica (o mayor); el vapor pasa por serpentines al segundo evaporador, se condensa ahí, y se colecta como agua destilada; en la condensación desprende su calor latente, para evaporar el agua de mar en ese depósito, y así sucesivamente en un determinado número de depósitos o evaporadores.

Bombas de vacío en cada uno de estos pasos, hacen que los evaporadores permanezcan a una presión más baja, con la cual, el agua hierve a menor temperatura.

Este procedimiento puede emplear el vapor sobrante en una planta generadora de electricidad.

El problema más grande es el de evitar la formación de incrustaciones, siendo este método tan prometedor, que justifica las grandes inversiones que se han hecho para investigar la resolución de ese problema.

Si pudieran ser eliminadas las incrustaciones, un evaporador de veinte pasos sería el más eficiente, pudiendo producir agua de buena calidad a un costo de $1.00 a $1.30 el metro cúbico.

OTROS TIPOS DE EVAPORADORES :

Existe un método, relativamente nuevo de destilación, que --

emplea una reducción repentina de presión, en lugar de calor, para evaporar el agua.

A una temperatura dada, la cantidad de vapor de agua que puede producirse, depende de la presión del aire. Si el agua salada se encuentra en un recipiente cerrado en donde la presión es inferior a la exterior, parte del agua se convierte rápidamente en vapor.

Este método se ha estado usando mucho en sistemas de múltiples pasos.

En el Oeste del Africa Francesa algunos ingenieros están intentando desarrollar un evaporador flash, que deberá operar con la diferencia de temperaturas que existen entre el nivel superficial y el fondo del océano, usando el agua más fría para condensar el vapor de la cámara. El Departamento del Interior de E.U. y la Universidad de California han estado trabajando en sistemas semejantes.

Se han estudiado muchos otros procesos de destilación, incluyendo destilación a temperaturas y presiones "supercríticas". No es posible señalar en este trabajo todas las ideas sobre destilación que están en estudio, pero esta breve descripción del proceso en desarrollo puede aclarar que los prospectos para la destilación de agua salada a un costo reducido son muy optimistas.

EVAPORADORES CON RADIACION SOLAR.

El sol, fuente de energía, es el encargado de proporcionarnos constantemente agua buena, evaporándola de los mares.

Se ha buscado diseñar un sistema de destilación empleando -

las radiaciones solares como fuente de calor, y se han propuesto en todo el mundo varios tipos muy ingeniosos de evaporadores.

El evaporador solar más simple consiste en un recipiente — que contiene una película de agua salada de una pulgada más o menos; dicho recipiente está cubierto con una placa vertedora de - vidrio. El vidrio es trasparente para dejar pasar libremente los rayos del sol.

El agua es evaporada, se condensa en el vidrio, escurre por la superficie vertedora, y es colectada en otro recipiente. Este tipo de evaporador usa solamente la mitad de la radiación solar y puede producir 6.5 litros de agua pura por día por cada metro cuadrado de área, en un clima caliente y desoejado, semejante al de Arizona, que es donde se ha experimentado.

Algunos industriales han obtenido un tipo de plástico que - puede suplir al vidrio a mucho menor costo. Uno de ellos es el - fluoro carbón, llamado "Teflón", elaborado para resistir toda -- clase de intemperismo.

La E.I. du Pont de Nemours and Company ha diseñado una colocación en la que el pabellón de teflón se soporta inflándolo a - una presión ligeramente mayor que la atmosférica, eliminando así la necesidad de una estructura para soportarlo.

En Denver, George O.G.Lof, un ingeniero consultor del Departamento del Interior está investigando un evaporador en donde el suelo actúa como un banco de almacenamiento de calor del sol. Un depósito que contiene treinta centímetros de agua se coloca directamente sobre la tierra, de tal manera que el calor solar absorvido por el agua, es transmitido a la tierra. Esta reserva de ca-

lor continúa evaporando el agua aún después de que el sol ya se -- ha ocultado. Si la pérdida de calor por radiación en la noche no es muy alto, se ha estimado que este tipo de evaporador puede producir- - más de 10 litros de agua pura por día por metro cuadrado, a un -- costo de $1.65/m^3.

En la Universidad de Nueva York, María Telkes ha diseñado - un interesante evaporador de 10 pasos. Actúa con calor solar, o con alguna otra fuente que produzca un calor semejante. El apara_ to está constituído por varios depósitos alternados de absorción y condensación, dividido por placas delgadas de vidrio.

Un material absorvente negro, en forma de hoja, empapado con agua de mar, capta el calor del sol. El agua evaporada se condensa en el siguiente depósito, desprende calor para calentar la siguiente hoja, etc.

Esta colocación produce cinco o seis veces más agua pura que el evaporador solar de un paso, por metro cuadrado de agua expues_ ta al sol.

Se ha encontrado que este tipo de destiladores solares puede dar un resultado satisfactorio en mayor escala.

En varias partes del mundo, como Australia, Nor Africa, Esta_ dos Unidos, España e Italia, están tratando de perfeccionar los - destiladores ya existentes, o bien, investigar otros modelos nue- vos.

PERMUTACION IONICA.

Entre los métodos diferentes a la destilación para separar - las sales del agua, el proceso de permutación iónica se ha emplea_ do en la industria en los últimos años, para varios objetos, prin-

cialmente en la refinación de aguas salobres.

Se ha profundizado mucho su estudio en los Paíse Bajos, Inglaterra, Estados Unidos y la Unión de Sur Africa, pero se ha encontrado que este método de permutación iónica no es suficientemente económico en el tratamiento de aguas de mar a gran escala.

En el proceso de permutación iónica para tratar aguas, la sal del agua es lavada a través de resinas sintéticas u otros materiales en que los iones de sal son reemplazados por otros iones inofensivos, es decir, que no afectan la pureza del agua potable.

Este cambio de iones se ha empleado en el ablandamiento de aguas, purificación de aguas para propósitos industriales especiales y para desmineralizar aguas salobres.

Ha dado muy buenos resultados en el Desierto de Sahara.

El principio de la permutación iónica ha traído como consecuencia que se desarrolle profusamente el estudio y la formación de membranas y resinas sintéticas selectas que puedan separar más satisfactoriamente los iones del agua.

ELECTRODIALISIS.

El método de electrodiálisis consiste básicamente en una membrana que hace impermeables tanto a los iones positivos como a los negativos, dependiendo de la naturaleza de ésta.

En el caso de una membrana impermeable para iones positivos, pero no para iones negativos, una corriente eléctrica hará que los iones negativos se dirijan a través de la membrana, mientras que repele a los iones positivos.

Si una corriente eléctrica se aplica a un tanque con agua salada, dividido en compartimientos por una serie de membranas, al-

ternativamente permeables para iones positivos y negativos, los iones de sal son colectados en los compartimientos alternados, y el agua que queda entre las membranas se halla desmineralizada.

El proceso de electrodiálisis, debido al poder eléctrico - requerido, no se cree que sea muy económico para convertir agua de mar, pero presenta muchas ventajas en el tratamiento de aguas salobres.

En la Universidad de Oklahoma, George W. Murphy ha propuesto el uso de la carga eléctrica de los iones, en una agua muy - salina, en vez de la corriente eléctrica, como un medio de dirigir a los iónes a través de la membrana. Esta posibilidad también se está estudiando en el Instituto de Birmingham.

OSMOSIS.

Otro de los métodos por medio de membranas, que han despertado mucho interés, está basado en el fenómeno de ósmosis.

Se sabe que si una solución salina es separada de otra de menor concentración por una membrana osmótica impermeable a la sal, pero no al agua; el agua pasa a través de la membrana a la solución que está más concentrada en sal, tendiendo a equilibrar la concentración salina en ambos lados de la membrana,

Pero este proceso puede hacerse reversible, aplicando a la - solución más concentrada una presión mecánica mayor que la presión osmótica actuando en el agua. Dicha presión llega a 350 ppsi cuando se trabaja con agua pura y agua de mar a cada lado de la membrana . Es decir, este proceso reversible de ósmosis empuja al agua - de la solución salina a través de la membrana, a la vez que la mem

brana retiene los iones de sal.

En la Universidad de Florida, Charles E. Reid ha demostrado lo anterior, removiendo del 90 a 95% de la sal del agua de mar, en un solo paso, empleando membranas de acetato de celulosa.

OTROS PROCESOS.

En los últimos años han aparecido otros métodos interesantes; como el de la separación de la sal del agua por medio de congelación.

La Carrier Corporation está investigando una combinación de congelación y evaporación, que ha resultado muy atractiva. Se han reportado de Israel y Yugoslavia procesos muy similares.

Otro procedimiento incipiente es la separación del agua por la disolución de ésta en solventes orgánicos que no disuelven la sal.

Por la gran evolución que han tenido los métodos de convertir agua de mar en potable o adecuada para otros fines, se ha estimado que de cinco a quince años vamos a estar en posibilidad de tratarla a un costo razonable, para un gran número de usos, principalmente industriales.

Indudablemente el hombre encontrará muchas soluciones al respecto, y comenzará a producir agua buena por un gran número de maneras, y en una proporción que variará desde evaporadores caseros hasta grandes y complicadas plantas municipales e industriales.

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LA BAHIA DE CHETUMAL.

Nos damos cuenta que de los procesos descritos anteriormente, los más factibles de aplicar por sus condiciones, en la ciudad de Chetumal, sería la destilación del agua por medio de evaporaciones, o bien acondicionar destiladores de agua aprovechando la energía solar.

No queremos decir con esto que se da por definitivo el tratamiento de las aguas de mar, como única solución para la ciudad de Chetumal; solamente se indica que los métodos más convenientes para tratar las aguas de mar, son los citados.

Para darnos una idea, aunque sea aproximada del costo de una planta evaporadora, aprovecharé un estudio y presupuesto de "Representaciones Nicol, S.A.", distribuidora y representante de la "Richardsons, Westgarth and Co., Limited", de Inglaterra, en el cual se formuló un presupuesto para instalar una planta evaporadora en la ciudad de Chetumal, para purificar las aguas de la bahía.

Este estudio incluye cuatro posibilidades: dos de plantas para satisfacer las necesidades actuales, y dos para las futuras; con la diferencia que una presenta la facilidad de producir energía para venta del público, y disminuir así el costo del agua tratada.

Se hace notar que esta compañía está instalando una planta evaporadora en el Golfo de Persia.

Las distintas posibilidades están indicadas en la siguiente tabla bajo los siguientes conceptos:

I.- Planta evaporadora de calderas, proporcionando energía eléctrica adicional para venta.
Planta para necesidades del momento.

II.- Planta evaporadora de calderas, proporcionando energía eléctrica adicional para venta.
Planta para necesidades futuras.

III.- Planta evaporadora de calderas, proporcionando energía únicamente para su funcionamiento.
Planta para necesidades del momento.

IV.- Planta evaporadora de calderas, proporcionando energía únicamente para su funcionamiento.
Planta para necesidades futuras.

Solamente queremos hacer notar que en este presupuesto se consideraron 300,000 galones por día (1363 m^3/d) como consumo actual, y 600,000 g/d (2,726 m^3/d) para necesidades futuras, siendo estas cifras inferiores a las cantidades estimadas anteriormente.

Como podemos ver en la tabla anterior, los costos de operación disminuyen a medida que aumenta la capacidad de la planta, siendo la más conveniente la que produce corriente eléctrica adicional para la venta, y aun en las condiciones actuales de Chetumal , es decir, que posee una nueva planta termoeléctrica, es más costeable adquirir ese tipo de evaporadores, puesto que la termoeléctrica actual no tiene capacidad suficiente, para el consumo futuro, cosa que vendría a complementarse con ella.

Vemos que el costo del agua producida no es extraordinariamente alto ($2.42/$m^3$).

La compañía que vende este tipo de plantas, indica que las condiciones de pago son las siguientes:

10% del valor total de la planta, cuando se firme la orden - del pedido.

60% del valor total del contrato por medio de tres pagos del 20% cada uno durante el período de manufactura.

25% del valor total una vez aceptadas las pruebas de calidad obtenidas, o nueve meses después de haber informado que la planta está lista para embarcarse.

5% del valor total después de haber quedado totalmente satisfechos con la instalación.

Los fabricantes de la planta indican también que estas condiciones pueden ser modificadas a petición del comprador.

Como mencionábamos anteriormente, otra posibilidad puede ser con evaporadores solares, para lo cual debe instalarse una pequeña planta piloto para calcular los rendimientos que se pueden tener en las condiciones climatológicas de la ciudad de Chetumal, así como sus dimensiones y sus costos.

Es muy difícil predecir un costo aproximado de una planta de este tipo, sino se hacen antes ensayos experimentalmente.

3.- AGUAS DEL RIO HONDO.

El río Hondo desemboca en la Bahía de Chetumal a 4 Km. al - WSW de la capital, y durante la estación lluviosa puede llevar -- un gasto de 100 m^3/seg.

El río da la impresión de un pequeño brazo de la Bahía de -- Chetumal, hasta unos 40 Km. río arriba; las mareas penetran clara mente hasta este punto y no hay evidencia de flujo continuo hacia el mar.

Cualquiera que fuese el régimen hidrográfico del Río Hondo, - la sola existencia de tan grande fuente de agua es un reto para -- una ciudad sedienta.

Sin embargo, se desprende de algunos estudios que (en el sentido hidrológico), el río Hondo representa durante la estación seca, un brazo de la Bahía de Chetumal y que sólo durante la estación lluviosa se comporta como un río, cuando su nivel se eleva 60-100 cm. o más.

La determinación del mecanismo del flujo en el río es importante para la elección del sitio de extracción en caso de que se decidiera tomarlo como fuente de abastecimiento.

Es también de importancia para los procesos de potabilización, ya que la calidad del río puede variar fuertemente con el tiempo y la distancia a la bahía.

ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LAS AGUAS DEL

RIO HONDO

(Resultados expresados en ppm)

	Río Hondo Estación Sub Tte.López.	A 26 Km. de Chetumal 2 Km.de Prof	A 12 Km. de Chetumal (Superficie)	Normas de Calidad.
Turbiedad	5	5	10	10
Color	60	12	5	20
pH	7.2	7.6	7.9	7 - 8.5
SOLIDOS TOTALES	2808	1980	2212	500 - 1000
Silice	8	20	15	
Calcio (Ca)	249	378	840	
Magnesio (Mg)	91	11	180	125
Fierro (Fe)	0.10	0	0.4	0.3
Sodio(Na)	488	175		
Sulfato (SO)	693	1002	1060	250
Cloruro (Cl)	838	62	250	250
DETERMINACIONES COMO Ca CO_3				
Alcalinidad Total	154	240		400
Dureza Total.	996	992		300
COMBINACIONES HIPOTETICAS:				
Bicarbonato de Calcio	249	389		
Sulfato de Calcio	637	962		
Sulfato de Magnesio	306	55		
Cloruro de Sodio.	1240	102		

Como podemos darnos cuenta en los análisis, en ninguna de las secciones de muestreo presenta el agua del río Hondo características adecuadas para clasificarla como potable, o para que mediante un tratamiento sencillo y económico pueda considerarse como tal. Es de dureza excesiva, y peor aún, tal dureza es de no-carbonatos, principalmente sulfatos, que no se eliminan en el ablandamiento con cal y carbonato de sodio, y que quedan en el agua constituyendo elementos laxantes para los que la ingieren.

En algunos casos muestra un olor sulfhídrico apreciable, que debe originarse por la descomposición bacteriana de los sulfatos. A las temperaturas tropicales, con estas aguas tan ricas en sulfatos, se corre el riesgo de tropezar con tales olores en las zonas servidas, siendo posible evitarlo sólo con altas dosis de cloro en las tuberías.

Aunque los cloruros abundan y con frecuencia exceden al límite de 250 ppm, por sí solos nos darán un sabor salino muy marcado.

Las turbiedades y colores de estas aguas se mantienen en general dentro de los límites tolerables.

Las observaciones al principio de este capítulo quedan confirmadas, al ver que el agua de la Bahía de Chetumal muestra características semejantes, a las del río Hondo, excepto que su contenido de cloruros es más alto. Aún así, este último representa solamente 1/10 del contenido de cloruros del agua de mar, lo cual es mucho menos de lo que se podría esperar.

La cantidad de cloruros baja bruscamente de 1,700 en la Bahía a 300 por Subteniente López (Santa Elena), a 12 Km. aguas arriba, y de ahí se mantiene a un nivel muy bajo.

Se supone que la interacción entre las mareas (con amplitudes de 30 - 90 cm.) y el río Hondo debe ser así: el agua del mar en la costa mexicana que ve al Caribe se mueve hacia el norte, formando una fuerte corriente litoral comparable en intensidad a la corriente del Golfo; esta corriente litoral entra por el sur a la cuenca exterior de la Bahía de Chetumal, con menos fuerza, debido al levantamiento rápido del fondo del mar, y sólo ocasionalmente alcanza a llegar a la cuenca interior de la bahía, durante el paso de los ciclones tropicales.

Las mareas afectan regularmente al río Hondo durante largos períodos del año, no directamente como corriente entrante de agua de mar, sino por presión que actúa sobre la delgada lámina de agua "dulce" (0.6 m. de espesor en promedio, en otras partes hasta 2 - y 4 m.) de la bahía, la cual actúa como un colchón hidráulico entre el mar y el río.

El reducido número de cloruros en el agua del río, arriba de Santa Elena, que contrasta con el alto contenido de minerales, demuestra que la mineralización del río Hondo no es producida por intrusión del agua de mar, sino por las formaciones geológicas por las que corre el río. De no ser así, no se podría esperar que el agua de los pozos cercanos al río estuviese menos mineralizada. La muestra tomada en un pozo en Sabidos contiene más del doble de sulfatos, que la del río, siendo además la dureza del agua del pozo - 60% más alta.

Las averiguaciones acerca del origen de los minerales disueltos en el río Hondo son importantes para muchos fines prácticos. Aunque no se han hecho pruebas todavía, podemos decir con cierta

seguridad que las capas de agua más profundas del río Hondo no están menos mineralizadas que las superficiales. Sabemos ahora que cerrar el río con una cortina que impidiese la entrada del agua de la bahía, no haría más dulce el agua.

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RIO HONDO.

Por su semejanza con las aguas de la bahía podríamos suponer que lo más indicado sería instalar una planta destiladora, sin - embargo la cantidad de sólidos totales del agua del río es diez - veces menor que la de la bahía, y a pesar de que su contenido de sulfatos es elevado, puede pensarse en emplear el método de electrodiálisis, o el de permutación iónica, con el empleo de resinas sintéticas, regenerables con ácido sulfúrico y carbonato de sodio, con lo cual no se dejaría en ellas ningún elemento nocivo para la salud humana.

Por otra parte, el gobierno de Quintana Roo desarrolló un -- proyecto para la potabilización de las aguas del río Hondo.

ANALISIS DE COSTO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA DEL RIO HONDO.

Población servida:	20 000 hs.
Consumo:	160 l/h/d
Inversión inicial:	$ 11.500,000.00
Costo por metro cúbico	
Por amortización:	$ 5.40
Por operación de la planta:	$ 1.00
Total:	$ 6.40

El costo del agua tratada del río Hondo por ese método es -

sin duda alto, muy alto sobre todo, en comparación con el costo del agua en otras ciudades mexicanas, y aún más alto si se compara con los costos del agua municipal en el extranjero. Sin embargo, el proyecto merece consideración.

En el caso de diluir el agua del río Hondo con agua pura, podemos admitir que la dureza total del agua de esta fuente es de 1000 ppm, por lo que estableciendo la proporción:

$$1000 : 1000 = 250 : x$$

$$x = 250$$

Resulta de lo anterior que 250 volúmenes del agua del río Hondo pueden diluirse con 750 volúmenes de agua destilada, o en otros términos que el 33% del rendimiento de los alambiques puede diluirse con el agua del río Hondo.

Posteriormente habrá que clorar fuertemente el agua obtenida para evitar brotes de enfermedades hídricas.

La conveniencia del río Hondo como fuente de abastecimiento de agua para Chetumal reside en la cercanía del punto de extracción (8-10 Km.) y el volumen prácticamente inagotable de agua disponible en relación con la cantidad requerida.

Las desventajas principales las podemos resumir en tres puntos:

a).- Los costes altos permanentes del agua tratada que podrían exigir subsidios públicos por tiempo indefinido.

b).- Las dificultades inherentes al mantenimiento y operación de una planta de tratamiento complicada en una región subdesarrollada que carecerá por algún tiempo de facilida-

des industriales y técnicas; algunas de las sustancias - químicas que podrían necesitarse en la planta se tendrían que transportar desde grandes distancias y aun importadas del extranjero.

c)-La composición irregular del agua cruda que difiere considerablemente de la estación seca a la estación lluviosa, no sólo en lo que se refiere a los minerales que contiene --- sino en la cantidad de sedimentos que arrastra.

4.- AGUAS SUBTERRANEAS.

Desde su fundación hasta la fecha, la ciudad de Chetumal - se ha abastecido de agua de lluvia, y pozos poco profundos. El -- agua de los pozos es salobre y amarga y a menudo se encuentra contaminada, ya que la población no cuenta todavía con un sistema de alcantarillado adecuado, por este motivo, el agua de los pozos se ha usado y se usa solamente en caso de emergencia.

La solución más rápida al problema de agua para Chetumal consistiría en localizar agua subterránea de buena calidad a distancias no muy grandes de la capital.

El primer paso para el mejoramiento del sistema, ha consistido en la construcción de tanques de almacenamiento públicos, conectados a un sistema de distribución.

El gobierno de Quintana Roo pensó en un principio llenar estos depósitos públicos con agua de pozos profundos localizados en las afueras de la ciudad. Sin embargo, fallaron los dos intentos de localización de fuentes satisfactorias de agua subterránea. Una de las perforaciones se hizo en terreno alto, dentro de los -

límites de la ciudad, frente al hospital Morelos, a una profundidad de 60 a 80 m.; la segunda se hizo a unos 4 Km. fuera de la ciudad en el camino a Calderitas (1953); el agua encontrada en ambos pozos tenía la misma calidad que la de los pozos poco profundos de la ciudad.

a).- Hidrología de la Faja costera.

Los resultados desfavorables de las perforaciones en la ciudad y al norte de ésta, como lo hemos mencionado, excluyen la exploración posterior de toda el área que se encuentra al este de la línea Hondo- Bacalar.

Este terreno plano con elevaciones menores de 9 a 12 m. es invadido ocasional o periódicamente por las aguas duras y sulfatadas del Sistema Hondo- Bacalar. Las inundaciones superficiales representan solamente la fase visible de este proceso. En su fase subterránea, una corriente uniforme de agua salobre, proveniente de la trinchera Hondo- Bacalar, se debe infiltar hacia el mar con el gradiente hidráulico general hacia la costa. La acción filtrante hacia el oeste se facilita por la prevalencia de las calizas permeables en la región y por la gran profundidad de la falla Hondo - Bacalar, cuyo fondo alcanza el nivel del mar en su rama sur y más de 10 a 20 metros bajo el nivel del mar en su porción norte.

Es posible esperar que la calidad del agua subterránea que se encuentra entre la línea Hondo - Bacalar y Chetumal sea muy semejante a las aguas superficiales duras y sulfatadas con tendencia general a hacerse más salina (Na Cl) con la profundidad y con la -

cercanía a la bahía de Chetumal.

En vista de la alta precipitación local es posible que en algunas partes se encuentren láminas o bolsas de agua tolerablemente dulce, flotando sobre el cuerpo principal de agua subterránea mineralizada; ésto puede suceder principalmente durante la época de lluvias, pero seguramente son demasiado delgadas para que fuesen de valor práctico para su explotación. La falta de capas impermeables separadoras cerca de la superficie, origina la mezcla rápida por difusión entre el agua de lluvia que se infiltra y el agua salobre subterránea.

b).- Hidrología de la Región Intermedia Interior.

Ya que hemos visto que la faja costera cercana a Chetumal, no ofrece condiciones geohidrológicas favorables para la acumulación de agua dulce, concentraremos nuestra atención en la región intermedia interior que se encuentra hacia el oeste y donde se han obtenido indicaciones prometedoras por los análisis de las aguas superficiales.

Para determinar dónde y a qué profundidad se puede encontrar agua tolerablemente dulce tenemos que examinar la composición y secuencia de las capas geológicas, su estructura de acuerdo con la morfología, las alteraciones en calidad que pueden sufrir las aguas meteóricas en su peregrinación a través del subsuelo y finalmente, la naturaleza probable del régimen del agua subterránea, los niveles freáticos, sus fluctuaciones y la dirección del flujo.

El sur de Quintana Roo consiste en una faja costera amplia y plana, que, en las cercanías de Chetumal, se extiende desde el Caribe a la laguna de Bacalar, en una distancia de 70 km., sin que -

se lleguen a encontrar alturas de más de 8 m. sobre el nivel del mar.

El interior consiste también en una planicie que se extiende unos 25 km. al este del límite estatal con Campeche hasta unos 80 km. al oeste de esta línea; sin embargo, esta planicie se encuentra a elevaciones de 200 a 300 m. sobre el nivel del mar; entre estas dos plataformas encontramos la "región intermedia interior", que desciende en escalones gradualmente.

Este paisaje escalonado puede dar la clave para la región sur de Quintana Roo, y es la región más favorable para encontrar una solución al problema de abastecimiento de agua.

Pero los escalones (Este -Oeste) no se asemejan a una escalera, sino que descienden en forma de ondas. Igualmente, los pisos de los valles se siguen unos a otros en la dirección NE, no en cascadas topográficas simples, sino como cuencas separadas por mesillas. Lo anterior sugiere los efectos de un doble levantamiento de la corteza del sur de la Península de Yucatán: uno más antiguo con su centro en la altiplanicie del sur de Chiapas y Guatemala, que provocó el descenso hacia el N ó NE, y uno más joven con centro en el parteaguas Campeche- Quintana Roo, que ocasionó las caídas hacia la costa del Caribe.

El doble sistema de valles creó un paisaje de cuencas cerradas o semicerradas, redondas y elipsoidales, la mayoría de ellas con drenaje interno, aunque algunas tienen una o dos salidas incompletas, hacia otras cuencas vecinas más bajas.

Podría esperarse que la gran precipitación que cae en el interior de la península desarrollara grandes ríos con cursos unificados y con tributarios; en vez de éste encontramos un sistema hidro

gráfico totalmente desmembrado.

El Ingeniero Ramos Robles llama a este fenómeno "endorreísmo", que significa drenaje subterráneo en un área de captación cerrada. Pero para poder deducir el recorrido probable del agua que se ha infiltrado, es necesario examinar la naturaleza de las formaciones geológicas.

ESTRACTOS GEOLOGICOS, SU SECUENCIA, COMPOSICION Y ESTRUCTURA.

De los mapas geológicos disponibles así como de las perforaciones de Pemex en distintas partes de la Península, hemos encontrado las siguientes características, importándonos principalmente aquellas formaciones que reciben la lluvia directamente en sus afloramientos o indirectamente por infiltración hasta una profundidad de 300 a 500 m.

Este grupo superior pertenece al Cenozoico y comprende sedimentos marinos de los últimos 40 a 55 millones de años, siendo como decíamos, sus subdivisiones, espesor y características las siguientes:

PLEISTOCENO- PLIOCENO:

Caliza porosa, algunas veces pulverulenta, eventualmente compacta y dura. Casi siempre cristalina o semicristalina, con algún conglomerado. Las perforaciones hechas por Pemex que penetraron estas formaciones perdieron su circulación y no la recuperaron hasta entrar a la parte superior del Mioceno que comienza con Margas.

La edad del Pleistoceno es de 0 a 2 millones de años, la del Plioceno de 2 a 12 millones de años, y el espesor de ambos, de 160 a 235 m.

ANALISIS FISICO QUIMICO DE LAS AGUAS DEL POZO PROFUNDO EN LA CARRETERA A CALDERITAS

(Resultados expresados en p.p.m.)

DETERMINACION	Pozo profundo Camino a Calderitas (km 4)	Normas de calidad.
Turbiedad	0	10
Olor	sulfhídrico	
Color	0	20
pH	7.3	7 - 8.5
SOLIDOS TOTALES:	3096	500 - 1000
Sílice (Si)	8	
Calcio (Ca)	626	200
Magnesio (Mg)	116	125
Sodio (Na)	24	
Bicarbonato (HCO_3)	307	
Sulfato (SO_4)	1713	250
Cloruro (CL)	56	250
Determinaciones como Ca CO_3:		
Alcalinidad TOTAL	252	400
Dureza TOTAL	2042	300
Dureza Carbonato	252	
COMBINACIONES HIPOTETICAS:	409	
Bicarbonato de Calcio	1788	
Sulfato de Calcio	61	
Cloruro de Sodio		

Antes de continuar, hay que aclarar que aunque la norma mexicana admite hasta 300 ppm. de dureza total, debe reconocerse que un agua de esta dureza ya resulta notablemente antieconómica para usos higiénicos en que intervenga el uso de jabones. Tratando de mantener un límite de dureza más razonable se ha fijado un máximo de 250 ppm, que es el que debe satisfacer el agua de cualquier fuente, ya sea directamente, o diluida con agua destilada.

Puesto que el agua de pozo en la zona cercana a la ciudad no difiere mucho en cuanto a calidad a las aguas del río Hondo, siendo estas últimas mejores, por razones que a nadie escapan, en caso de tener que tratar algunas, serían las del río.

Hacemos notar que las aguas del pozo de Calderitas, no han sido las subterráneas de peor calidad, pues el poblado de Sabidos se utiliza un pozo cuyas aguas tienen las siguientes características:

Dureza: 2,064 ppm; Sulfatos: 5,200 ppm.
Alcalinidad: 210 ppm; Cloruros: 70 ppm.

MIOCENO:

Margas y calizas, también pizarras y arcillas con intercalaciones de calizas. Según el Ing. Sapper, el Mioceno Inferior consiste en depósitos de yeso (Sulfato de calcio) y de margas que en Icaiché, en el Sur oeste de Quintana Roo están reemplazadas por calizas. Las calizas que se encuentran arriba del yeso contienen concreciones de peritas (sulfato de hierro).

La edad del Mioceno se calcula de 12 a 30 millones de años, y su espesor de 105 a 180 metros.

OLIGOCENO:

Margas que alternan con calizas criptocristalinas. El Ing. Sapper llama a estas capas "Calizas del Petén" y las describe - como arenosas con brechas de calizas.

Su edad se estima de 30 a 40 millones de años, y su espe-- sor de 155 a 300 metros.

EOCENO:

Margas, calizas y pizarras.

Edad de 40 a 55 millones de años, y espesor de 185 a 335 - metros o más.

Vemos entonces que el espesor total varía de 605 a 1,045 - metros, y si excluímos el Eoceno, el espesor sería de 420 a 715 metros.

De acuerdo con estos datos, las calizas del Plioceno -Pleis toceno pueden considerarse como acuíferos excelentes en los luga res donde lleguen por debajo del nivel freático.

El subestrato impermeable que cierra este horizonte de agua por debajo está formado por margas del Mioceno.

El yeso y las concreciones de pirita en las secciones inferiores del Mioceno, representan la principal fuente de las aguas sulfatadas del río Hondo, de la laguna de Bacalar y de otras -- aguas del SE de Quintana Roo. Las aguas mineralizadas del sur y centro del territorio, así como las de Campeche, se deriban de la serie de calizas del Mioceno Superior o de las calizas alterna-- das del Oligoceno.

Desgraciadamente la falta de mapas geológicos adecuados pa-

ra el sur de Quintana Roo, nos impide precisar los frecuentes - cambios de propiedades de las formaciones, impidiéndonos así poder entender la circulación y régimen del agua con claridad.

REGIMEN DEL AGUA Y EL CICLO HIDROLOGICO.

Debe ser muy grande el volumen del agua que en cualquier - momento se une a los acuíferos subterráneos durante el ciclo hidrológico de corto período. Con una precipitación media de 1300 mm/año y un coeficiente de infiltración de 20%, y contando con una capacidad de almacenamiento apreciable (como la que ofrecen los bloques cársicos maduros), el agua subterránea en movimiento cíclico en la región intermedia interior (que tiene un área de - 10,000 km^2), debe ascender a 2,500 millones de m^3/año, equivalente a 80 m^3/seg.

Nos preguntamos pues, ¿Hacia donde drena el agua subterránea que - permanece bajo la superficie en la región intermedia interior, y que obtiene aportaciones del flujo subterráneo de la meseta que se extiende hacia arriba hasta llegar al parteaguas Golfo - Caribe?

No hay duda, entonces, de que la trinchera Hondo Bacalar - es el principal y primer colector del drenaje subterráneo del sur de Quintana Roo. Puesto que su lecho está bajo el nivel del mar - y bajo el de la Bahía de Chetumal, la mayor parte del agua debe - entrar al sistema Hondo - Bacalar antes de pasar al mar. Sin embargo, el sistema Hondo -Bacalar actúa no sólo como colector, sino también como regulador. El flujo que sale de él (sobre o bajo-

la superficie) ocurre después que se ha llenado hasta toda su capacidad y después que las aguas que entran se han mezclado con las aguas salobres de las reservas acumuladas. Hacia el este de la línea Hondo - Bacalar, el agua subterránea que se mueve hacia el mar ha adoptado las características geoquímicas del sistema Hondo Bacalar, cualquiera que haya sido su composición original.

Puesto que la superficie del suelo entre río Hondo- Laguna de Bacalar y la bahía de Chetumal, se encuentra a sólo unos metros sobre el nivel del mar, los niveles freáticos tocan la superficie periódicamente o aún durante todo el año. En estas tierras sin relieve la evaporación del agua subterránea excede a la precipitación local, de suerte que parte del drenaje subterráneo de tierra adentro regresa al aire. El volumen de agua subterránea evaporada en la faja costera se ha estimado de 1,500 millones de m^3/año, ó 48 m^3/seg. Esta cantidad representa una fracción considerable del drenaje subterráneo (80 m^3/seg), que se ha calculado para el sur de Quintana Roo.

El volumen restante de agua subterránea (80 - 48 = 32 m^3/seg) no drena hacia el mar abierto sino hacia la bahía de Chetumal. Igualmente se ha calculado la evaporación en la bahía, que llega a 750 millones de m^3/año, equivalentes a 24 m^3/seg.

Las pérdidas combinadas de evaporación en la faja costera y en la bahía de Chetumal, serán entonces de 48+24=72 m^3/seg; ó sea solamente un 10% menos que el drenaje subterráneo total (80 m^3/seg) del sur de Quintana Roo.

CONSECUENCIAS IMPORTANTES:

Estas cifras, aunque aproximadas, revelan consecuencias de importancia práctica fundamental.

Entendemos ahora porqué las aguas de la bahía de Chetumal - son mucho menos salinas que el agua del océano, ya que tiene un flujo entrante de las aguas del río Hondo (durante el período de lluvias), y el drenaje contínuo de agua hacia la bahía, princi-- palmente.

Encontramos entonces que la parte sur de Quintana Roo (no - sólo las partes de tierra adentro) forma un sistema hidrológico cerrado.

La consecuencia práctica más importante de los estudios anteriormente señalados, radica en la conclusión de que los grandes volúmenes de agua dulce, superficial y subterránea provenientes del interior, solamente pueden retenerse para uso benéfico, extrayéndolas antes de que lleguen al sistema Hondo- Bacalar, es decir, a alturas mayores de 10 m.

Al aumentar gradualmente la explotación del agua dulce en - el interior, en sitios adecuados al oeste de la línea Hondo- Bacalar, las aguas de la bahía aumentarán su salinidad; después sucederá lo mismo con la laguna de Bacalar, y finalmente con el río-- Hondo. Sin embargo, el aumento del contenido de minerales nunca- llegará a ser significativo, ya que las avenidas siempre diluirán las soluciones minerales acumuladas.

SITIOS DE PERFORACION CONVENIENTES:

De acuerdo con todas las condiciones y características señaladas anteriormente, los lugares que presentan más probabilidades de encontrar agua de mejor calidad para el abastecimiento de la ciudad de Chetumal, se proponen en seguida, los cuales pueden iniciarse simultáneamente:

I) En el Km. 26.9, del lado norte del camino Escárcega--Chetumal; elevación aproximada, 19 m. sobre el nivel del mar; profundidad estimada del nivel freático, 4 a 10 m.; profundidad mínima de la perforación: 25 a 30 m.

II) En el Km. 49.1 del lado sur del camino Escárcega-Chetumal; elevación aproximada: 39 m. sobre el nivel del mar; profundidad probable del nivel freático 9 a 20 m. profundidad mínima de la perforación: 40 a 50 m.

En una región donde no se han perforado pozos es muy probable que no se tenga éxito en las primeras perforaciones, sin embargo, ya que se trata no sólo de la forma y costo para el abastecimiento de Chetumal, sino también del tipo de actividad agrícola en una amplia región, deben aceptarse los riesgos inevitables.

De acuerdo con los resultados de las primeras perforaciones exploratorias, podrán deducirse otros sitios de perforación, así como las profundidades y secuencias.

Los pozos deberán perforarse por el método de percusión, de

bido a que las profundidades son relativamente pequeñas, y no - valdrían la pena el tiempo que se ganaría con el sistema rotatorio. Las herramientas de percusión son también preferibles, para poder obtener buenas muestras geológicas de las formaciones que - atraviesen.

Puesto que los niveles freáticos y la calidad del agua pueden variar de la estación seca a la de lluvias, se deberán tomar muestreos por un período de un año cuando menos, antes de decidir su uso para Chetumal, o para fines agrícolas.

Si la perforación I en el Km. 26.9 da resultados satisfactorios, podrían probarse sitios más cercanos a Chetumal, para reducir la longitud de la línea de conducción. Estos sitios podrían-- ser:

a). Km. 22.1 del lado norte del camino a Escárcega; altura - aproximada: 27 m. sobre el nivel del mar; profundidad -- probable del nivel freático: 5 a 18 m; profundidad mínima de exploración: 30 a 40 m.

b). Km. 18.4 del lado norte del camino a Escárcega; altura - aproximada 13 m. sobre el nivel del mar; profundidad probable del nivel freático: 6 a 9 m.; profundidad mínima de perforación: 15 a 25 m.

Una fuente de abastecimiento de agua subterránea para una -- ciudad deberá contar con dos pozos totalmente equipados cuando menos, particularmente cuando sirva además para un sistema de abastecimiento regional.

Las razones por las que se recomendó que el sitio II (Km.49.1) se perfore simultáneamente que en el sitio I (Km. 26.9), son las - de seguridad y diversidad.

El sitio I pertenece al valle de Ucum, que es el más bajo - de los "polyes" de Quintana Roo y cuya área principal de drenaje se extiende hacia el norte del camino a Escárcega. En el sitio - II pueden prevalecer condiciones hidrográficas e hidrológicas diferentes, ya que se encuentra en un escalón más elevado del sistema de valles intramontanos, y además el drenaje en esta depresión se deriva principalmente de las áreas al sur del camino a - Escárcega, por otra parte la selección del sitio II ayudaría a - abastecer los poblados del río Hondo.

Finalmente, los resultados de la perforación en el sitio II contribuirán a aclarar las condiciones del agua subterránea en una área de drenaje que se conecta naturalmente o que se podría unir artificialmente con el valle de Ucum.

Esta última razón nos induce a aumentar la lista de sitios de perforación en dos puntos más, a mayores distancias de Chetumal. Los planes de desarrollo económico de Chetumal, que abarcan proyectos de administración de agua fuera de los abastecimientos netamente domésticos, incluirían todas las depresiones de la región intermedia interior.

Por lo tanto se sugieren también los siguientes sitios:

III) Km. 61.8 del lado norte del camino a Escárcega; altura aproximada: 78 m. sobre el nivel del mar; profundidad - probable del nivel freático: 30 a 50 m; profundidad mínima de — perforación: 70 a 100 m.

IV) Km. 81.6 (ó 87.2) del lado norte del camino a Escárcega ; altura aproximada: 104 m. sobre el nivel del mar; profundidad probable del nivel freático: 36 a 65 m.; profundidad mínima de perforación: 85 a 120 m.

Es de esperarse que con las perforaciones en estos cuatro - puntos sea posible un enfoque racional de la selección de las futuras fuentes de abastecimiento para Chetumal, y que con estos - resultados se aclaren otros proyectos hidráulicos para el sur de Quintana Roo, como podrían ser: almacenamiento bajo o sobre la superficie del suelo, construcción de presas, irrigación, colonización de las cuencas intramontanas, generación de energía hidroeléctrica, etc.

En caso de que fallaran los sitios I y II (lo que sería poco probable), tendrían que añadirse otras perforaciones al oeste o noroeste de Bacalar.

A primera intención, las posiciones de estos sitios serían a lo largo de la línea al norte de Bacalar, hacia el oeste hacia Cacab - Porvenir.

Va) 15 Km. de Bacalar, altura aproximada: 30 m. sobre el nivel del mar, a 50 Km. de Chetumal.

Vb) 20 Km. de Bacalar, altura aproximada: 40 m. sobre el nivel del mar, a 55 Km. de Chetumal.

En las últimas fechas se ha terminado de perforar el pozo - del Km. 27.1, denominado Poso Ucum, en el cual el espejo del - agua fue hallado a 14.75 m. y el tirante del agua se midió de 7.10 m.

El análisis de esta agua es bastante satisfactorio y prometedor, ya que la cantidad de sólidos totales está casi dentro de las especificaciones.

La cantidad de sulfatos no satisface, pues es la más pequeña de todas las fuentes analizadas, sin embargo su dureza total-

es todavía excesiva, y sus cloruros también elevados.

Desgraciadamente en el aforo el espejo del agua bajó inmediatamente no pudiéndosele extraer más de 1 litro/seg.

Se va a proceder a perforar más profundo, y a volver a aforar; en caso de obtener otra vez resultado negativo, deberán realizarse nuevas exploraciones cercanas al lugar para poder determinar con más precisión la capacidad de extracción, que en el caso de ser satisfactoria, llegaría a solucionar el problema de la fuente de abastecimiento para Chetumal.

ANALISIS FISICO QUIMICO DE LAS AGUAS DEL POZO UCUM EN EL KM. 27.1

(Resultados expresados en ppm.)

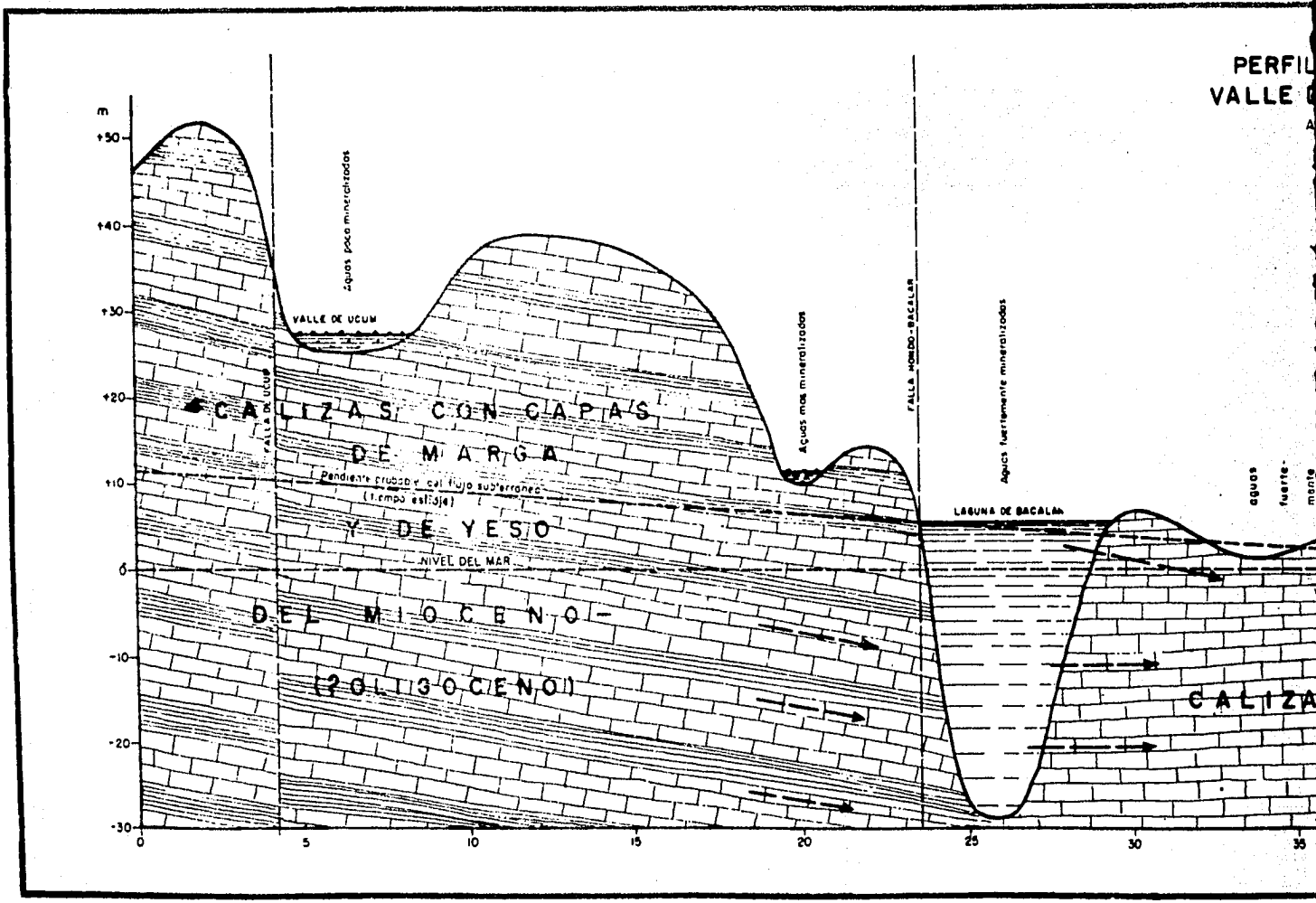
DETERMINACION.	Pozo Ucum. Km. 27.1 Prof. muestreo. 17.66 m.	Normas de Calidad.
Turbiedad	12	10
Color	5	20
pH	6.5	7 -8.5
Sólidos TOTALES.	1046	500 -1000
Calcio (Ca)	146	200
Magnesio (Mg)	76	125
Sodio (Na)	283	
Bicarbonato (HCO_3)	716	
Sulfato (SO_4)	198	250
Cloruro (Cl)	358	250
Determinaciones como Ca CO_3:		
Alcalinidad F	0	
Alcalinidad Total	587	400
Dureza Total	676	300
Dureza Carbonato	587	
COMBINACIONES HIPOTETICAS:		
Bicarbonato de Calcio	585	
Sulfato de Magnesio	107	
Sulfato de Sodio	163	
Cloruro de Sodio	587	

ANALISIS DE COSTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA DE POZOS CERCA DE UCUM

(Estudio realizado por el Dr. Alfred Löhnberg).

a)	Población proyecto:	20 000 Hab.
	Dotación:	300 l/h/d
	Inversión Inicial:	$ 10,250,000.00
	Costo por m^3:	
	Amortización:	$ 2.56
	Operación, tratamiento	0.35
	Total:	$ 2.91
b)	Población proyecto:	30 000 hab.
	Dotación Chetumal:	300 l/h/d
	Dotación otras poblaciones:	200 l/h/d
	Inversión inicial:	$ 14.625,000.00
	Costo por m^3:	
	Amortización:	$ 2.90
	Operación, tratamiento:	0.35
	Total:	$ 3.25

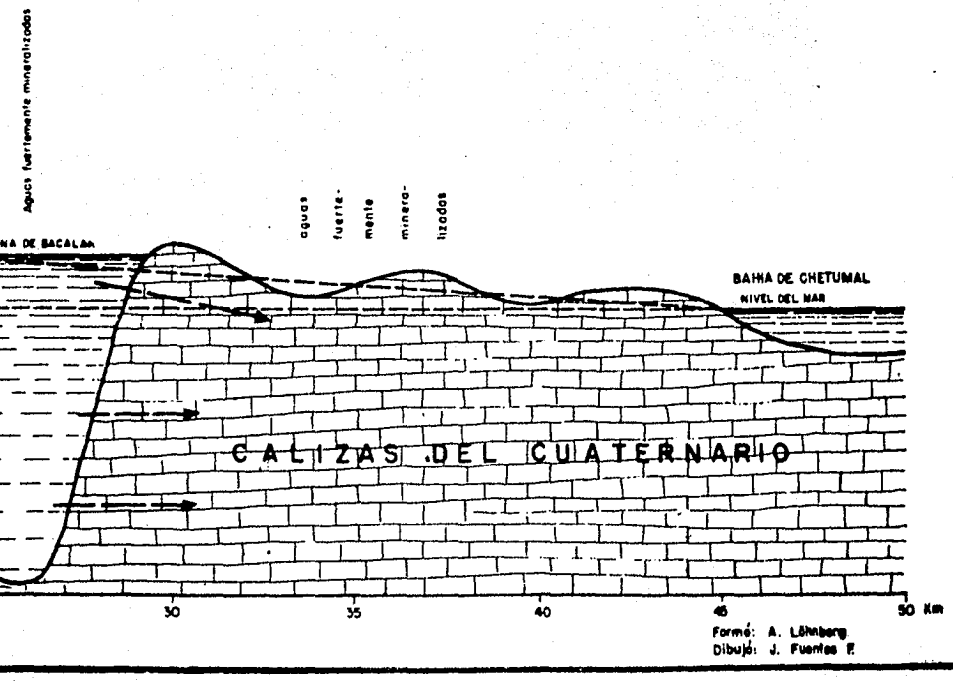
Si no se recupera el 33% de la contribución del Gobierno Federal de la inversión inicial, en el caso b), la amortización se reducirá a $ 1.98 y el costo por m^3 de agua será de $ 2.33.


PERFIL
VALLE
m
+50
+40
+30
+20
+10
0
-10
-20
-30
0
5
10
15
20
25
30
35
Aguas poco mineralizadas
VALLE DE UCUM
FALLA DE UCUM
CALIZAS CON CAPAS
DE MARGA
Pendiente propia del flujo subterraneo
(Tiempo estiaje)
Y DE YESO
NIVEL DEL MAR
DEL MIOCENO-
(?OLIGOCENO)
Aguas mas mineralizadas
FALLA HONDO-BACALAR
Aguas fuertemente mineralizadas
LAGUNA DE BACALAR
aguas
fuerte-
CALIZA

PERFIL HIDROLOGICO ESQUEMATICO
VALLE DE UCUM– BAHIA DE CHETUMAL

ASOCIACION HIDROLOGICA MEXICANA, A.C.
Julio de 1959

Nº 5



Formó: A. Lönnberg
Dibujó: J. Fuentes F.

5.- AGUAS DEL RIO UCUM.

El Ucum se une al río Hondo en un recodo amplio a 20 Km. al oeste de Chetumal. El camino de Chetumal a Escárcega cruza el río por un puente que se encuentra en el pueblo de Ucum a tres Km. antes de su confluencia con el río Hondo; en este punto el lecho del río se encuentra a 6 m. sobre el nivel del mar, o sean de 3 a 5 metros sobre el recodo del río Hondo.

En la visita, que fue en el mes de enero, el río Ucum llevaba un gasto apenas perceptible pero los habitantes del pueblo informan que aún en años secos lleva agua el río.

El lecho del río es en forma de V. indicando su juventud geológica y baja en escalones de la tierra alta al NW del río Hondo.

El río Ucum drena el valle de Ucum, y aunque su curso está marcado en algunos mapas recientes como un río intermitente (sólo a una distancia de 15 Km. arriba de Ucum), lleva durante todo el año agua. La caracterización de "intermitente" puede ser correcta en lo que se refiere a las grandes diferencias, entre el tiempo de secas y de lluvias, del volumen de agua que fluye por él. Para darnos una idea de estas variaciones, mencionaremos que en el año de 1958, el río pasó por arriba del puente antes mencionado.

Es sorprendente que un río tan corto transporte periódicamente volúmenes tan grandes de agua, sobre todo en una región tan plana.

Viendo los análisis del río Ucum, notamos el hecho sorprendente que revelan la existencia de un tributario del río Hondo, cuyas aguas tienen un contenido menor de sales que el río principal, indicando por lo tanto que no toda el área contiene formaciones minera

lizadas.

COMPARACION ENTRE LAS AGUAS DEL RIO UCUM
Y LAS DEL RIO HONDO

LOCALIDAD.	Dureza	Alcalinidad	Sulfatos	Cloruros.
Promedio de 8 muestras. del río Hondo	1392	240	2413	118
Máximo de 8 muestras del río Hondo	1556	308	3840	340
Mínimo de 8 muestras del río Hondo	1320	100	1200	30
Río Ucum cruce del camino Km. 25.	420	232	230	110
Río Ucum, 3.7 Km. aguas arriba	153	160	0	15
Tolerancia Máxima normal, uso urbano.	300	400	250	250

El agua del río Ucum en el cruce del camino es todavía dura y sulfatada, pero semejante a la empleada en el Estado de Yucatán. En cambio la tomada a 3.7 Km. río arriba del punto anterior acusa un agua potable de muy buena calidad. Esta diferencia es tan notable que se antoja repetir los análisis para excluir los errores.

Igualmente sería conveniente aumentar el muestreo a lo largo del río para encontrar los detalles de la tendencia a la mineralización.

Desgraciadamente el flujo permanente del río es pequeño durante la época de secas, tal vez de unos 5 a 10 l/seg.

Es posible también que la calidad del agua mejore durante la época de lluvias.

El almacenamiento de las avenidas implica la construcción de una presa para lo que se tendría que localizar un sitio adecuado. Pero se desconoce la cantidad de escurrimiento por lo que no se puede saber si el gasto medio anual puede satisfacer las necesidades de la capital. Es muy necesario instalar una estación de aforo en el puente del camino, en Ucum, para ayudar a la planeación del agua en el sur de Quintana Roo.

Con los escasos datos hidrográficos y meteorológicos disponibles, sólo podemos intentar estimar la posible amplitud de los volúmenes de escurrimiento.

El tamaño mínimo de drenaje abarca al Valle de Ucum con un área de 200 $Km.^2$. Hay dos posibles áreas subsidiarias de captación, hacia el norte con 300 $Km.^2$. y hacia el NW con 400.

La precipitación es probable que sea semejante a la de Chetumal (1 250 mm/a en promedio).

Si consideramos coeficientes de escurrimiento de 10 20 y 30% de la precipitación podremos establecer la siguiente escala tentativa.

VOLUMENES POSIBLES DE ESCURRIMIENTO DEL

RIO UCUM.

(Precipitación media anual: 1250 mm/a)

Area de Captación Río Ucum.		Volumen de Precipitación		Volumen de Escurrimiento con Coeficientes de: 10%		20%		30%	
1.)	200 Km^2	250	mill. m^3/a	25	mill. m^3/a.	50	mill. m^3/a	75	mill. m^3/a
2.)	300 Km^2	375	"	37.5	"	75	"	112.5	"
3.)	400 Km^2	500	"	50	"	100	"	150	"

Los volúmenes de escurrimiento variarían entre 25 y 150 millones de m^3/año, equivalentes a 800 - 1 760 l/seg.

En condiciones favorables, el 40% de estos volúmenes pueden considerarse como abastecimiento potencial, es decir 320 - 1 900 l/seg.

CONSTRUCCION DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO

EN EL RIO UCUM.

Puesto que hemos supuesto que la demanda de agua para Chetumal no excederá los 110 l/seg. en un futuro próximo, se puede -- considerar como una posibilidad definida la construcción de una presa de almacenamiento en el río Ucum. Sin embargo, el agua cruda tendría que someterse a potabilización, ya que siendo el escurrimiento periódico y muy variable, acarrea consigo gran cantidad de sedimentos.

Además, el área de captación dentro de las partes bajas del

VOLUMENES POSIBLES DE ESCURRIMIENTO DEL

RIO UCUM.

(Precipitación media anual: 1250 mm/a)

Area de Captación Río Ucum.	Volumen de Precipitación	Volumen de Escurrimiento con Coeficientes de: 10%	20%	30%
1.) 200 Km^2	250 mill. m^3/a	25 mill. m^3/a.	50 mill. m^3/a	75 mill. m^3/a
2.) 300 Km^2	375 "	37.5 "	75 "	112.5 "
3.) 400 Km^2	500 "	50 "	100 "	150 "

Los volúmenes de escurrimiento variarían entre 25 y 150 millones de m^3/año, equivalentes a 800 - 1 760 l/seg.

En condiciones favorables, el 40% de estos volúmenes pueden considerarse como abastecimiento potencial, es decir 320 - 1 900 l/seg.

CONSTRUCCION DE UNA PRESA DE ALMACENAMIENTO

EN EL RIO UCUM.

Puesto que hemos supuesto que la demanda de agua para Chetumal no excederá los 110 l/seg. en un futuro próximo, se puede -- considerar como una posibilidad definida la construcción de una presa de almacenamiento en el río Ucum. Sin embargo, el agua cruda tendría que someterse a potabilización, ya que siendo el escurrimiento periódico y muy variable, acarrea consigo gran cantidad de sedimentos.

Además, el área de captación dentro de las partes bajas del

valle de Ucum se tendría que limpiar y drenar también para evita la formación de pantanos y disminuir la evaporación.

Sin embargo, a pesar de nuestro optimismo por la buena cali dad de las aguas, debemos pensar que la construcción de la presa quedaría condicionada a la topografía del terreno, ya que siendo éste escencialmente plano y permeable, de no encontrarse un siti de una boquilla aceptable y un vaso más o menos formado, caería- mos en el caso de una gran laguna rodeada de diques que impidan la fuga del agua.

El valle de Ucum comienza en el Km. 25 con 6 m. sobre el ni vel del mar en su punto más bajo. El piso del valle, rodeado en su límite sur por el camino de Escárcega se encuentra a alturas de 19 a 25 m (22 en promedio). No está claro si el piso se eleva hacia el oeste, conforme el perfil del camino, de ser así, podrí mos fijar el límite oeste del valle de Ucum en el Km. 39.5 a una altura de 32 m.

En el siguiente escalón de la región intermedia interior ti ne su punto más bajo a 39 m. sobre el nivel del mar, y es relati vamente angosto, de 7 Km. cuando mucho.

De la descripción anterior notamos que la altura de la cort na debe ser muy baja, del orden de 15 m., por lo que considerand la pendiente general del terreno de S = 0.00167,, o sea que aume ta 1.67 metros por cada kilómetro , en el valle. En esta condici nes, si la topografía del terreno lo permitiera, para almacenar un volumen de agua de 150 millones de metros cúbicos, el espejo del agua abarcaría una superficie aproximada de 10 millones de m tros cuadrados, es decir 10 Km^2., que equivalen al 5% del Valle

de Ucum.

Y considerando el coeficiente de evaporación de 2 m/año, - tendríamos pérdidas por este concepto de 20 millones de metros cúbicos.

Una construcción de este tipo, necesitaría una erogación - de más de 40 millones de pesos, y antes de intentar decidirnos por esta solución, debemos conocer exactamente la topografía del terreno, así como la calidad de las aguas, muestreadas durante todo el año y bajo todas las condiciones.

Hay que recordar que los volúmenes considerados corresponden a una serie de consideraciones que podrían darnos sorpresas al - medirlas y cuantificarlas realmente.

Cabe señalar una observación muy interesante:

En los años lluviosos (como en 1929 en que cayeron 2000 mm. de lluvia en Chetumal), se producen inundaciones locales de gran intensidad en los sistemas de drenaje no regulados. Estas lluvias excepcionalmente fuertes que pueden presentarse cada 50 ó 100 -- años, pueden transformar los ríos del tipo del Ucum en canales - erosivos de fuerza destructiva.

Este elemento destructivo inherente a las características - hidrográficas del río Ucum parece ser el origen de la salida hacia el mar que tiene el sistema Hondo - Bacalar. La evidencia -- geológica y tipográfica indican la unión hidrográfica entre el - río Hondo y la laguna de Bacalar en un pasado geohistórico no — muy lejano, en el punto donde el río Hondo da vuelta hacia el este, hacia la Bahía de Chetumal, el nivel del agua es ahí todavía casi el mismo que el de la laguna de Bacalar (entre 2 y 4 m. sobre el nivel del mar).

Sin embargo, el río Ucum se eleva inmediatamente de su boca na cerca del recodo del río Hondo, a 7 m. en el puente del camino y a 20 m. sobre el nivel del mar en el valle de Ucum. La laguna de Bacalar corre exactamente en el mismo sentido que el sector principal del río Hondo y ambos sistemas se parecen mucho entre sí. Antes de que el río Hondo llegara al mar, la laguna Hondo - Bacalar funcionaba como una base de drenaje interno para las aguas de las avenidas del interior del sur de Quintana Roo.

Los torrentes de agua del río Ucum que ocasionalmente invadían la laguna Hondo - Bacalar ocasionaban un derrame en la parte opuesta con suficiente poder erosivo para abatir permanentemente el sitio de derrame. Así se creó el río Hondo, dejando a la laguna de Bacalar aislada (aunque sólo por una estrecha faja de tierra de 1 a 2 m. de altura), y haciéndola finalmente tributaria del río Hondo.

La región de Ucum puede no sólo llegar a ser la clave para el abastecimiento de agua para Chetumal, sino también para el desarrollo de una vasta región de Quintana Roo, transformando los pantanos de los valles intramontanos en tierras laborables. Los riesgos de auxilio con aguas de escurrimiento almacenadas son factibles en las mesetas altas.

De hecho se puede decir que existe ya una solución para el futuro que permitirá proporcionar agua abundante para la capital a un precio razonable.

Solamente queda estudiar si se puede encontrar un modo menos complicado y más rápido que el de almacenar el agua superficial, esto es, que si las indicaciones favorables de calidad y cantidad que muestra el río Ucum reflejan también las características del agua subterránea en la misma área, como lo hemos señalado en el capítulo anterior. Es decir, que si el muestreo de los pozos en esta región manifiestan la misma calidad que las aguas del río Ucum, sale innecesaria la construcción de la presa, y sólo tendremos las erogaciones inherentes al bombeo y a la conducción.

6.- LAGUNA DE BACALAR.

La laguna de Bacalar está unida al río Hondo por el estero de Chac, a 20 Km. al W de la desembocadura del río Hondo.

La conexión no es directa, ya que el estero representa el flujo saliente de un sistema de lagunas alargadas denominadas Canal de Chac, que tienen interconexiones muy estrechas. A 20 Km. al NNE de Chac, el canal de Chac se une también con la laguna de Mariscal, y de ahí, por medio de un canal artificial (que data de la época colonial) va a dar a la laguna de Bacalar, frente al poblado del mismo nombre.

El flujo del agua va de la laguna al río Hondo, y no varía con las mareas, el viento o las avenidas del río Hondo, es decir, la laguna de Bacalar, con sus sistemas, tributarios drena en el río Hondo; sin embargo esta cantidad de agua que sale de la laguna al río es pequeña.

Los resultados de los análisis químicos de las muestras de agua del sistema de Bacalar no difieren mucho. Todas estas aguas son muy duras y sulfatadas, pero no salobres (Na Cl), es decir, no son diferentes a las del río Hondo.

Las conclusiones a las que se llegó vienen a corroborar lo expuesto en el capítulo anterior, es decir, que por lo que se refiere a su origen, debe ser el mismo. Los minerales disueltos se derivan de la acción de lado de las lluvias sobre la superficie del suelo, que es rica en sales de calcio y azufre. No se puede atribuir la acumulación de minerales a la intrusión de agua de mar en una época geológica reciente.

RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LAS AGUAS DEL SISTEMA BACALAR

(En partes por millón)

Sitio de Muestreo	Dureza	Alcalinidad	Sulfatos	Cloruros
Huay- Pix, estuario de Chac	1468	100	1256	114
Laguna Mariscal	1500	130	1440	143
Laguna Bacalar	1746	144	2400	118
Lagunas al W de Bacalar:				
Laguna de Cangrejo	336	76	360	115
Laguna del Arco.	528	150	437	68
Laguna de Pájaros	92	122	0	15
Tolerancia Máxima	300	400	250	250

Al comparar las muestras del sistema de Bacalar se advierte - también que la dureza, alcalinidad y sulfatos decrecen al disminuir la distancia al río Hondo.

El sistema de Bacalar debe considerarse como una red hidrográfica más o menos cerrada dentro de la cual la laguna de Bacalar juega el papel principal de receptáculo del drenaje superficial y subterráneo. No sólo debido a sus dimensiones, sino también a su posición geográfica al pie de una masa continental, la laguna actúa como drenaje de una extensa faja de tierra. La cantidad de precipitación (sin minerales) que cae en la laguna, es muy pequeño en relación con el agua subterránea mineralizada que entra a la misma.

Las lagunas subsidiarias más pequeñas, que se encuentran - al W de la laguna de Bacalar (y probablemente también las otras lagunas que están entre estas tributarias y la parte norte de la bahía de Chetumal) son todas poco profundas, tal vez de 1 a 3 m. de profundidad, en contraste con los 20 a 40 m. de la laguna de Bacalar.

Estas lagunetas están protegidas del flujo entrante de agua subterránea muy mineralizada por la misma trampa que forma la laguna de Bacalar, y debido a su poca profundidad, contienen un mayor porcentaje de agua dulce. (de lluvia) que la laguna de Bacalar. Esto explica por qué encontramos contenido de minerales más bajo en Chac, Mariscal y otros, que en la laguna de Bacalar.

Por lo que se refiere al uso del agua de la laguna de Bacalar para el abastecimiento de agua para Chetumal, podemos afirmar abiertamente que no es conveniente, debido a que presentando las mismas características que las del río Hondo, y estando a una -- distancia mucho mayor de la ciudad, deducimos que si nos hallamos en el caso de tratar estas aguas, lo haríamos con las del río - Hondo.

7.- FUENTES DE PROVISION LEJANAS.

Unicamente para fines comparativos de costos, podríamos considerar otra posibilidad, como fuente de abastecimiento para la ciudad de Chetumal que sería la de conducir de sitios lejanos — agua potable para el consumo de los habitantes.

Esto es, desde luego, solamente en el caso de que las consideraciones mencionadas de las aguas subterráneas de la región intermedia interior, o las aguas del río Ucum, no mantengan la calidad que se les ha encontrado.

Entonces el buscar fuentes lejanas es sólo una alternativa - contra el tratamiento o desmineralización de las aguas existentes, ya sean las del río Hondo, las de la bahía, o las de cualquier — otra fuente.

Para evitar caer nuevamente en aguas mineralizadas, debemos - alejarnos de los suelos cársicos de la península yucateca.

Hallamos entonces que los ríos más cercanos con abundante — agua potable se encuentran hasta los Estados de Campeche, Tabasco, y Chiapas, pudiendo mencionar entre los más cercanos a Chetumal:

Río San Pedro a 305 Km.

Río Candelaria a 325 Km.

Río Chumpán a 340 Km.

Río Usumacinta a 340 Km.

En el supuesto caso de abordar este proyecto, habría que tender una tubería, sensiblemente de oeste a este, salvando alturas máximas de 150 a 200 m. Pero el gasto que llevaríamos sería mayor - al calculado, para aprovechar a surtir de agua a todos los pobla-

dos necesitados, en su recorrido.

Podemos hacer un estimado a "groso modo", considerando un consumo de 130 l/seg. que con una dotación de 250 l/hab/día, podría suministrar agua a 45 000 habitantes.

CONDUCCION:

Tubería de asbesto cemento de 16"		
a $300.00 /m x 300 Km		$ 90 000 000.00
Equipo de bombeo 1000 HP a $ 2000.....		" 2 000 000.00
Estaciones de bombeo, importe global		
aproximado.....		" 600.000.00
TOTAL.....		$ 92 600 000.00
Costo medio de conducción por		
kilómetro de tubería.....		$ 308 666.67

INTERESES, DEPRECIACION, OPERACION Y CONSERVACION.

Intereses			
7% sobre $ 308 666.67.....			$ 21 606.67
Depreciación.			
Conducción (50 años de vida)			
0.23% sobre $300 000.00	$ 690.00		
Equipo de bombeo.			
3.33% sobre $6 666.70	$ 222.00		
Estaciones de bombeo.			
0.0075% sobre $2 000. 00	$ 0.15		
		$	912.15
Operación y conservación			
Costo de la energía			
25 Kw x 24 h x 365 d x 0.15	$ 10 950.00		
Operación de las plantas			
de bombeo / km.	$ 500.00	$	11 450.00
		$	33 968.82

Por otra parte vemos, una planta de tratamiento nos daría un costo medio por m^3. de agua potabilizada de $5.00. En estas condiciones el costo anual, sería de:

8 640 M^3 x 365 x $5.00 = $15,768.000.00

Podemos decir que la longitud máxima de conducción, para -- obtener un costo de $ 5.00 /m^3. (costo medio de tratamiento), estará expresado por:

$$\frac{\$\ 15\ 768\ 000}{\$\ 33\ 968.82/km.} = 463.5\ km.$$

Y considerando el costo mínimo, de la planta destiladora, - mencionada anteriormente ($2.20/$m^3$.).

$$\frac{\$\ 6\ 937\ 920}{\$33\ 968.82/km.} = 204.0\ km.$$

Lo anterior es considerando un costo exageradamente alto por metro cúbico.

Si a esto añedimos que necesitamos hacer una inversión ini-- cial arriba de los $ 90 000 000 (noventa millones de pesos), podemos afirmar categóricamente que la solución de llevar agua de fuentes tan lejanas, resulta inadmisible.

Un costo razonable por metro cúbico, de acuerdo con las condiciones de Chetumal, de $ 0.80, nos permitiría llevar el agua desde una distancia de:

$$\frac{\$\ 2\ 522.880}{\$33\ 968.82/\ km.} = 76\ km.$$

Con una inversión inicial, de $ 23 200 000.00 (ventitrés millones doscientos mil pesos).

REGULARIZACION.

La regularización es un abastecimiento de agua se hace con el objeto de transformar el régimen de aportaciones constantes, en un régimen de demandas variables. El estudio cuidadoso de ambos regímenes nos determinará la capacidad que habremos de dar al tanque de regularización. La regularización puede efectuarse mediante bombas , tanques o bombas y tanques; éstos pueden ser superficiales o elevados.

El tanque de regularización debe ponerse a una elevación - tal, que dé la carga mínima requerida en la red de distribución. Se acostumbra considerar como carga mínima 15 metros, aunque en poblaciones chicas se puede reducir esta carga hasta 10 metros.

Para determinar la capacidad del tanque de regularización debemos tomar en cuenta:

a) El régimen de aportaciones, el cual puede ser constante en las 24 horas del día o solamente durante unas cuantas horas.

b) El régimen de demandas, siempre variable.

Para determinar las horas de bombeo más conveniente, se hará uso de las tablas de Demanda horaria del Banco Hipotecario Urbano y de Obras Públicas.

Estas tablas nos muestran el porcentaje horario de las demandas a las cuales se les considera una variación lineal. Se tienen asimismo las diferencias acumulativas, en las que las positivas - nos representan el almacenamiento necesario para el exceso de aportación sobre la demanda, y las negativas, lo que debe almacenar-

se para impedir que haya déficit. Con estas tablas se obtiene el porcentaje de variación horaria sumando aritméticamente las diferencias acumuladas, tomando la máxima positiva y la máxima negativa, como se detalla en las tablas que se insertan a continuación.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE REGULADOR PARA BOMBEO DE 24 HORAS DIARIAS.

Horas	.Demanda	.Bombeo	.Diferencias	Dif.Acumuladas
0-1	45%	100%	+ 55%	55%
1-2	45	100	+ 55	+ 110
2-3	45	100	+ 55	+ 165
3-4	45	100	+ 55	+ 220
4-5	45	100	+ 55	+ 275
5-6	60	100	+ 40	+ 315
6-7	90	100	+ 10	+ 325
7-8	150	100	- 50	+ 275
8-9	180	100	- 80	+ 195
9-10	160	100	- 60	+ 135
10-11	160	100	- 60	+ 75
11-12	150	100	- 50	+ 25
12-13	140	100	- 40	- 15
13-14	160	100	- 60	- 75
14-15	140	100	- 40	- 115
15-16	150	100	- 50	- 165
16-17	130	100	- 30	- 195
17-18	100	100	- 0	- 195
18-19	100	100	0	- 195
19-20	90	100	+ 10	- 185
20-21	60	100	+ 40	- 145
21-22	60	100	+ 40	- 105
22-23	50	100	+ 50	- 55
23-24	45	100	+ 55	0

Capacidad necesaria del tanque:
325 + 195 = 520% del consumo diario.
5.2 x 87 x 3600 = 1.628,640 lt.
Capacidad necesaria: 1,600 M^3.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE REGULADOR PARA BOMBEO DE 20 HORAS DIARIAS.

Horas	Demanda	Bombeo	Diferencias	Dif. Acumuladas
0-1	45%	0%	- 45%	- 45 %
1-2	45	0	- 45	- 90
2-3	45	0	- 45	-135
3-4	45	0	- 45	-180
4-5	45	120	+ 75	-105
5-6	60	120	+ 60	- 45
6-7	90	120	+ 30	- 15
7-8	150	120	- 30	- 45
8-9	180	120	- 60	-105
9-10	160	120	- 40	-145
10-11	160	120	- 40	-185
11-12	150	120	- 30	-215
12-13	140	120	- 20	-235
13-14	160	120	- 40	-275
14-15	140	120	- 20	-295
15-16	150	120	- 30	-325
16-17	130	120	- 10	-335
17-18	100	120	+ 20	-315
18-19	100	120	+ 20	-295
19-20	90	120	+ 30	-265
20-21	60	120	+ 60	-205
21-22	60	120	+ 60	-145
22-23	50	120	+ 70	- 75
23-24	45	120	+ 75	0

335% del consumo máximo diario.

3.35 x 87 x 3600 = 1.049,220 lt.

Capacidad necesaria: 1,000 m^3.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DEL TANQUE REGULADOR PARA BOMBEO DE 16 HORAS DIARIAS.

Horas	Demanda	Bombeo	Diferencias.	Dif. Acumuladas.
0-1	45%	0%	- 45%	- 45%
1-2	45	0	- 45	- 90
2-3	45	0	- 45	-135
3-4	45	0	- 45	-180
4-5	45	0	- 45	-225
5-6	60	0	- 60	-285
6-7	90	150	+ 60	-225
7-8	150	150	0	-225
8-9	180	150	- 30	-255
9-10	160	150	- 10	-265
10-11	160	150	- 10	-275
11-12	150	150	0	-275
12-13	140	150	+ 10	-265
13-14	160	150	- 10	-275
14-15	140	150	+ 10	-265
15-16	150	150	0	-265
16-17	130	150	+ 20	-245
17-18	100	150	+ 50	-195
18-19	100	150	+ 50	-145
19-20	90	150	+ 60	- 85
20-21	60	150	+ 90	+ 5
21-22	60	150	+ 90	+ 95
22-23	50	0	- 50	+ 45
23-24	45	0	- 45	0

2854 95 = 380% del consumo máximo diario.
3.8 x 87 x 3600 = 1.190,160 lt.
Capacidad necesaria: 1,200 m3.

Mediante el cálculo anterior, hemos determinado las capacidades del tanque regularizador para distintos períodos de bombeo.

Como se ve al examinar las tablas anteriores, lo más adecuado es bombear 20 Horas diarias con una bomba de 120% de capacidad, reduciéndose de esta manera la capacidad del tanque de regularización.

Por lo tanto, podemos considerar para el proyecto un tanque de regularización con capacidad de 1,000 M3.

RED DE DISTRIBUCION.

Tiene como finalidad distribuir el agua en todas las zonas de una población en cantidad, calidad y presión estipuladas para satisfacer las demandas de los consumidores.

Elección del sistema de distribución.- Se eligió la red cerrada formando circuitos de circulación cuyas ventajas son:

1.-Alimentar los tramos de la red por diversos lados y poder sobre-alimentar cualquier tramo de la misma por medio de un manejo adecuado de las válvulas de seccionamiento.

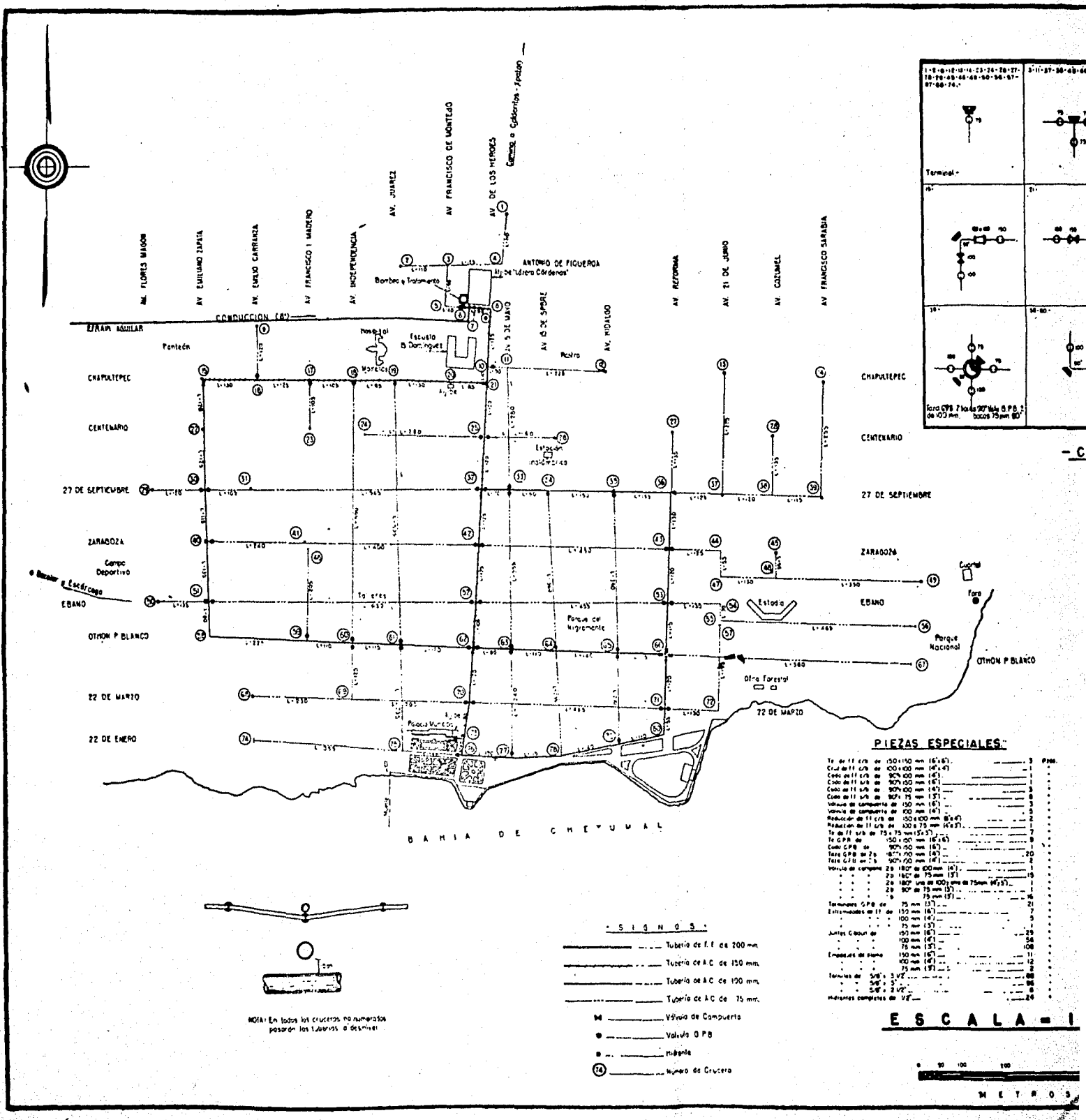
2.- Poder aislar tramos pequeños en caso de algún desperfecto.

El agua sale desde el tanque mediante una tubería principal de alimentación, de la cual, a partir del punto 21 localizado en el plano, se desprenden las líneas secundarias.

CALCULO HIDRAULICO DE LA RED.

Mediante este cáculo se determinan las cargas disponibles en los cruceros de la red de distribución, así como los diámetros de las tuberías.

Tenemos un gasto máximo horario de 150 l/seg. con el cual debe calcularse la red de distribución. Sin embargo, este gasto será para la población futura y todavía no se ha definido exactamente la ampliación urbana de Chetumal, y por lo mismo, no se dispone del plano correspondiente. Por lo tanto, vamos a estimar el gasto tributario a la zona correspondiente a la ciudad actual, y la diferencia de éste con el gasto máximo horario ya establecido, corresponderá a la zona aún por establecerse, así como las ca



PIEZAS ESPECIALES

		Pzas.
Te de 11 s/b de 150 x 150 mm (6"x6")		3
Cruz de 11 s/b de 100 x 100 mm (4"x4")		1
Codo de 11 s/b de 150 x 150 mm (6")		1
Codo de 11 s/b de 150 x 100 mm (6")		2
Codo de 11 s/b de 150 x 75 mm (6")		3
Codo de 11 s/b de 100 x 100 mm (4")		6
Codo de 11 s/b de 100 x 75 mm (4")		3
Válvula de compuerta de 150 mm (6")		2
Válvula de compuerta de 100 mm (4")		3
Reducción de 11 s/b de 150 x 100 mm (6"x4")		2
Reducción de 11 s/b de 100 x 75 mm (4"x3")		1
Te de 11 s/b de 75 x 75 mm (3"x3")		7
Te GPB de 150 x 150 mm (6"x6")		9
Codo GPB de 90° 150 mm (6")		1
Toma GPB de 2" 150 x 100 mm (6")		20
Toma GPB de 1" 90° 100 mm (4")		2
Válvula de compuerta 2" 180° de 100 mm (4")		1
" " " 2" 180° de 75 mm (3")		15
" " " 2" 90° de 75 mm (3")		1
" " " 1" 75 mm (3")		16
Terminales GPB de 75 mm (3")		21
Extremidades de 11 de 150 mm (6")		7
" " " " 100 mm (4")		5
" " " " 75 mm (3")		1
Juntes Gibault de 150 mm (6")		29
" " 100 mm (4")		58
" " 75 mm (3")		108
Empaques de hule 150 mm (6")		11
" " 100 mm (4")		12
" " 75 mm (3")		2
Tornillos de 5/8" x 3 1/2"		88
" " 5/8" x 3"		88
" " 5/8" x 2 1/2"		8
Hidrantes completos de 1/2"		24

SIGNOS

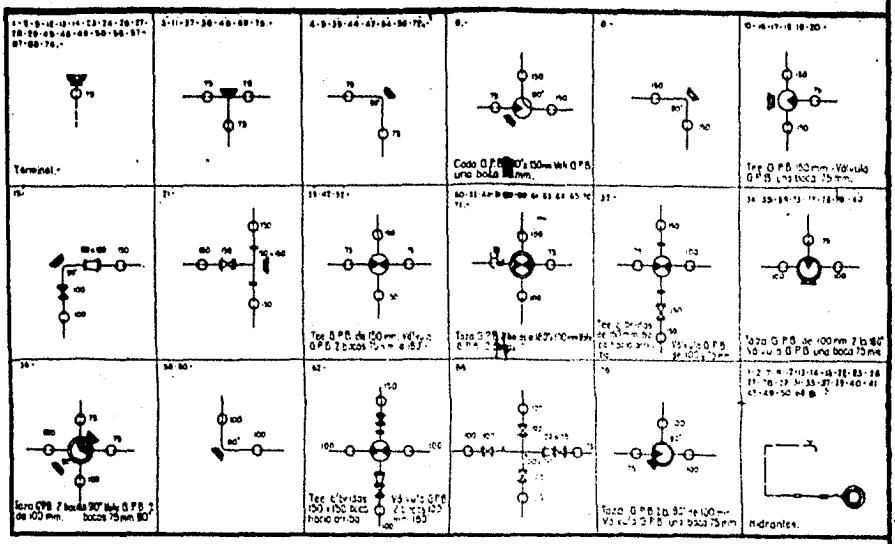
- Tubería de F.F. de 200 mm.
- Tubería de A.C. de 150 mm.
- Tubería de A.C. de 100 mm.
- Tubería de A.C. de 75 mm.
- Válvula de Compuerta
- Válvula G.P.B.
- Hidrante
- (74) Número de Crucero

NOTA: En todos los cruceros no numerados pasarán las tuberías a desnivel

ESCALA = 1

0 50 100 200

METROS

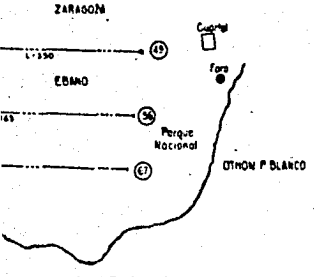


CHAPULTEPEC

CENTENARIO

-C R U C E R O S D E L A R E D-

27 DE SEPTIEMBRE



PIEZAS ESPECIALES

				Pzas
Te de 11 s/b de	150 x 150 mm	(6"x6")		3
Cruz de 11 s/b de	100 x 100 mm	(4"x4")		1
Codo de 11 s/b de	150 x 100 mm	(6")		1
Codo de 11 s/b de	150 x 150 mm	(6")		1
Codo de 11 s/b de	100 x 100 mm	(4")		3
Codo de 11 s/b de	100 x 75 mm	(3")		8
Válvula de compuerta de	150 mm	(6")		3
Válvula de compuerta de	100 mm	(4")		5
Reducción de 11 s/b de	150 x 100 mm	(6"x4")		2
Reducción de 11 s/b de	100 x 75 mm	(4"x3")		1
Te de 11 s/b de	75 x 75 mm	(3"x3")		7
Te G.F.B. de	150 x 150 mm	(6"x6")		9
Codo G.F.B. de	90° x 150 mm	(6")		1
Toma G.F.B. de 2a	45° x 100 mm	(4")		20
Toma G.F.B. de 2 b	90° x 100 mm	(4")		2
Válvula de compuerta	2a 180° de 100 mm	(4")		1
" " "	2a 180° de 75 mm	(3")		15
" " "	2a 180° una de 100 y una de 75mm	(4"y3")		1
" " "	2a 90° de 75 mm	(3")		100
" " "	1 " 75 mm	(3")		16
Terminales G.F.B. de	75 mm	(3")		21
Extremidad de 11 de	150 mm	(6")		7
" " "	100 mm	(4")		5
" " "	75 mm	(3")		1
Juntas Gibault de	150 mm	(6")		23
" " "	100 mm	(4")		56
" " "	75 mm	(3")		100
Empaques de plomo	150 mm	(6")		11
" " "	100 mm	(4")		12
" " "	75 mm	(3")		2
Tornillos de	5/8" x 3 1/2"			88
" "	5/8" x 3"			96
" "	5/8" x 2 1/2"			8
Hidrantes completos de	3/4"			24

DATOS DE PROYECTO.-

Población 1960	10 000 Habitantes.
Población de proyecto	25000 Habitantes.
Dotación	200 Lts/Hab/día.
Dotación servida por hidrantes	30 Lts/Hab/día.
Coeficiente variación diaria	1.2
Coeficiente variación horaria	1.5
Gasto máximo horario tributario a la zona 1	13.15 l.p.s.
Sistema	Bombeo.
Regularización	Tanque superficial de 1 000 m³

RED.- CANTIDADES DE TRABAJO.-

Tubería A.C. clase A-7 de 75 mm (3")	13 155 mts.
Tubería A.C clase A-7 de 100 mm. (4")	3 360 mts.
Tubería A.C clase A-7 de 150 mm (6")	1 495 mts
Hidrantes	24 ptos.
Tomas domiciliarias	1 000 ptos.
Excavación	9 154 m³
Relleno de capas	9 154 m³

E S C A L A = 1:4000

0 50 100 200 500

M E T R O S

FACULTAD DE INGENIERIA

CHETUMAL, Q. ROO.

DOTACION AGUA POTABLE - Red de Distribución - Cruceros

lles nuevas que no están registradas en el plano proporcionado por la S.R.H.

El gasto máximo horario correspondiente a la zona indicada queda estimado en 13.15 l/seg.

El procedimiento seguido para el cálculo de la red fue el siguiente:

1.- Se calcula la longitud total de la red que va a servir a los habitantes.

Longitud total de la red = 18,010 m.

2.- Se calcula el gasto unitario, dividiendo el gasto máximo horario entre la longitud total de la red.

$$Q \text{ unitario} = \frac{13.15}{18,010} = 0.000730$$

3.- Se definen los circuitos principales de alimentación, tomando en cuenta la densidad de la población, la topografía del terreno y las demandas.

4.- Con el mismo criterio se suponen los sentidos de escurrimiento en cada uno de los tramos de la red.

5.- Se calcula el gasto tributario a cada uno de los tramos de los circuitos.

$$q \text{ parcial} = Q \text{ unitario} \times l$$

6- A partir del punto de equilibrio de cada circuito, se calculan los gastos hasta llegar al tanque de regularización.

Al llegar el agua a un circuito para su distribución, tomará para su escurrimiento dos caminos. Teóricamente, después de ocurrir los consumos a lo largo del circuito

y en los ramales que concurren a él, existirá un punto en donde el gasto, siguiendo los dos sentidos de escurrimiento, se anula. A este punto se le designa con el nombre de punto de equilibrio.

En nuestro caso, el punto de equilibrio del primer circuito quedó situado en el crucero número 58, y el del segundo circuito en el crucero número 80.

7.- Debe comprobarse que la suma acumulada de gastos al llegar al tanque de regularización, sea igual al gasto máximo horario.

8.- Se procede a calcular la red por el método de Hardy Cross: Este método está basado en el principio de que el gasto que llega a un punto del sistema sea el mismo que sale del punto y que la suma algebráica de las pérdidas de carga por fricción a lo largo de cualquier circuito cerrado, sea cero.

Ya conocidos los gastos que escurrirán en cada tramo del circuito, se fija el diámetro de la tubería.

En nuestro proyecto la tubería de alimentación se supuso de 150 mm. (6") de diámetro. El tramo del crucero 21 al 15 de 150 mm., asimismo del 21 al 62. El resto de los circuitos se supuso de 100 mm., y se fijó el diámetro de los tubos de relleno de 75 mm., diámetros que mediante el cálculo de la red, se observó que trabajan eficientemente.

Después de lo anterior se determinan las pérdidas de carga hasta llegar a los puntos de equilibrio, siguiendo el recorrido supuesto.

En la tabla siguiente se muestra el cálculo de la red:

En la primera columna aparece CIRCUITO.

En la segunda columna aparece CRUCERO, en la cual se indican mediante números (ver plano de Abastecimiento de Agua), los distintos cruceros que interceptan los circuitos.

La tercera columna corresponde a LONGITUD, en la cual se consignan los metros correspondientes a cada tramo.

Los DIAMETROS intervienen en la cuarta columna. Estos diámetros se fijan según criterio del proyectista, tomando en cuenta que a medida que la tubería se aleja del punto de alimentación, disminuyen los diámetros.

En la quinta columna se consignan los GASTOS, valores que representan gastos acumulativos a partir del punto que se consideró como de equilibrio.

Ya fijos los diámetros en el circuito, así como el gasto en cada tramo, se determinan las pérdidas de carga hasta llegar al punto de equilibrio, siguiendo el recorrido de escurrimiento supuesto obteniéndose de esta manera la sexta columna.

Ahora bien, la suma de las pérdidas de carga a partir del crucero donde nace el circuito hasta el punto que se fijó como de equilibrio, debe ser igual a la suma de las pérdidas desde el mismo crucero hasta el último punto de equilibrio al recorrer los dos sentidos del circuito.

Estas pérdidas se pretende que sean iguales o en su defecto, con una diferencia no mayor de 10% de aproximación. Si esta diferencia es mayor que la tolerancia, se corrigen los gastos por medio de la siguiente fórmula:

Debe verificarse que las cargas disponibles en cruceros que tengan cotas máximas y mínimas, se encuentren dentro de lo normal establecido.

Posteriormente se procede a diseñar los cruceros, utilizando las piezas especiales necesarias que permitan flexibilidad y alivio al sistema de operación de la red de distribución y que permitar aislar cualquier parte del sistema con una interrupción mínima del servicio.

CIRCUITO	CRUCERO	LONG.	DIAM.	GASTO	H	H/Q	△	Q.C.	H.C.	COTAS PIEZOM.	COTAS TERR.	CARGA DISP.
	T									25.00	8.10	16.90
		65	150	12.78	0.27							
	8									24.73	8.05	16.68
		125	150	12.73	0.49							
	10									24.24	7.85	16.39
		40	150	12.24	0.15							
	21									24.09	6.05	18.04
1	21									24.09	6.05	18.04
		85	150	2.59	0.015	0.0058	0.687	3.277	0.023			
1	20									24.07	6.35	17.72
		130	150	2.52	0.022	0.0087	0.687	3.207	0.034			
1	19									24.03	7.20	16.83
		95	150	2.19	0.012	0.0055	0.687	2.877	0.020			
1	18									24.01	7.25	16.76
		105	150	1.89	0.009	0.0047	0.687	2.577	0.018			
1	17									23.99	7.60	16.39
		125	150	1.74	0.010	0.0057	0.687	2.427	0.019			
1	16									23.97	8.01	15.86
		375	100	1.56	0.210	0.1345	0.687	2.247	0.425			
1	30									23.54	6.35	17.19
		115	100	0.902	0.023	0.0255	0.687	1.589	0.063			
1	40									23.48	2.80	20.68
		135	100	0.50	0.005	0.0100	0.687	1.187	0.042			
1	51									23.44	1.15	22.29
		80	100	0.058	0.000	0.0000	0.687	0.745	0.010			
1	58									23.43	0.93	22.50
					0.306	0.2004			0.654			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	21									24.09	6.05	18.04
		120	150	9.62	0.281	0.0291	0.687	8.933	0.249			
I	25									23.84	1.85	21.99
		120	150	9.21	0.269	0.0292	0.687	8.523	0.235			
I	32									23.60	1.68	21.92
		125	150	4.37	0.066	0.0151	0.442	3.928	0.049			
I	42									23.55	1.50	22.05
		125	150	3.99	0.051	0.0128	0.442	3.548	0.041			
I	52									23.51	1.35	22.16
		105	150	3.53	0.0345	0.0098	0.442	3.088	0.026			
I	62									23.47	1.05	22.42
		170	100	1.26	0.058	0.0460	0.687	0.573	0.012			
I	61									23.46	0.85	22.61
		115	100	0.76	0.015	0.0197	0.687	0.073	0.003			
I	60									23.45	0.80	22.65
		110	100	0.39	0.002	0.0052	0.687	0.001	0.001			
I	59									23.44	0.83	22.61
		225	100	0.164	0.001	0.0061	0.687	0.002	0.001			
I	58									23.43	0.93	22.50
					0.777	0.1700			0.617			

$$SUMA\ DE\ H_I = 0.471$$
$$SUMA\ DE\ H/Q = 0.3704$$

$$\Delta_I = \frac{0.471}{1.85 \times 0.370} = 0.687$$

DE DONDE: $\Delta_I = 0.687$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
II	32									23.60	1.68	21.92
		70	100	4.57	0.038	0.0083	0.245	4.325	0.039			
II	33									23.56	1.60	21.96
		90	100	4.26	0.049	0.0115	0.245	4.015	0.039			
II	34									23.52	1.25	22.27
		150	100	3.93	0.060	0.0152	0.245	3.685	0.051			
II	35									23.45	0.90	22.55
		135	100	3.56	0.044	0.0124	0.245	3.315	0.039			
II	36									23.41	0.82	22.59
		130	100	2.62	0.205	0.0780	0.245	2.375	0.153			
II	43									23.26	0.76	22.50
		120	100	1.83	0.087	0.0475	0.245	1.585	0.065			
II	53									23.19	0.68	22.51
		115	100	1.10	0.031	0.0281	0.245	0.855	0.019			
II	66									23.17	0.65	22.52
		120	100	0.51	0.008	0.0157	0.245	0.265	0.001			
II	71									23.17	0.60	22.57
		55	100	0.040	0.000	0.0000	0.245	0.000	0.000			
II	80									23.17	0.50	22.67
					0.522	0.2167			0.406			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
II	32									23.60	1.68	21.92
		125	150	4.37	0.069	0.0158	0.442	3.928	0.050			
II	42									23.55	1.50	22.05
		125	150	3.99	0.052	0.0131	0.442	3.548	0.041			
II	52									23.51	1.35	22.16
		105	150	3.53	0.035	0.0099	0.442	3.088	0.026			
II	62									23.47	1.05	22.42
		120	100	1.95	0.100	0.0513	0.245	2.195	0.129			
II	70									23.34	0.65	22.69
		120	100	1.29	0.045	0.0348	0.245	1.535	0.065			
II	76									23.27	0.63	22.64
		120	100	0.85	0.019	0.0224	0.245	1.095	0.030			
II	77									23.20	0.60	22.60
		115	100	0.58	0.009	0.0155	0.245	0.825	0.017			
II	78									23.17	0.52	22.65
		140	100	0.33	0.006	0.0182	0.245	0.575	0.010			
II	79											
		110	100	0.08	0.001	0.0125	0.245	0.325	0.001	23.17	0.48	22.69
II	80									23.17	0.50	22.67
					0.336	0.1935			0.369			

$$SUMA\ DE\ HII = 0.186$$

$$SUMA\ DE\ H/Q = 0.4102$$

$$\Delta II = \frac{0.186}{1.85 \times 0.4102} = 0.245$$

$$DE\ DONDE:\ \Delta II = 0.245$$

CUARTA PARTE

SINTESIS.

GENERALIDADES.

Población actual.....	12,855 Hab.
Población futura (20 años).....	25,000 "
Dotación.....	200 l/h/d.
Gasto medio requerido.....	58 l/seg.
Gasto medio en el día de máximo consumo.....	87 l/seg.
Gasto máximo horario.....	150 l/seg.
Precipitación media anual.....	1 354mm/año.
Evaporación.....	2 005mm/año.

La ciudad de Chetumal, desde su fundación hasta la fecha, -- se ha abastecido del agua de lluvia colectada en tanques de madera llamados curvatos, y de agua de pozos someros.

En los últimos años se han acondicionado las pistas del aeropuerto y zonas adyacentes, como superficies de captación de aguas de lluvia, las cuales son conducidas a dos aljibes con una capacidad total de cien mil metros cúbicos.

Sin embargo, debido posiblemente a descuidos en la operación, a la alta evaporación y al mal estado de las pistas, estos aljibes guardan poca agua en la época de sequía, al grado de que era tal la escasez de agua, que en las colonias humildes les entregaban una lata de agua para cada familia, por medio de pipas de-- cinco metros cúbicos, traídos desde una distancia de 30 km.

Por estas circunstancias la solución al problema de abastecimiento de agua para Chetumal, lo podemos dividir en dos etapas, - una de carácter urgente e inmediato, y otra complementaria y posterior:

a.- EVITAR QUE LA POBLACION PADEZCA DE SED.

b.- DOTAR DE SUFICIENTE AGUA POTABLE A LA CIUDAD.

a.- Evitar que la población padezca de sed.

En las páginas anteriores se hizo el estudio del funcionamiento de los aljibes, pudiéndose extraer en condiciones favorables 50 l/h/d (5.8 l/seg.), considerando una población 10,000 habitantes. Es decir, por medio de los aljibes podemos evitar que la población padezca de sed, pero para ello habrá que seguir los pasos:

1.-Reacondicionar las pistas del aeropuerto y superficies adyacentes para tener una superficie efectiva de captación de 190 000 m^2, (actualmente hay 84 000 m^2).

2.- Resanar los aljibes para evitar pérdidas por infiltración.

3.- Reducir la evaporación.

4.- Reparar tubería de conducción, y de distribución a los hidratantes.

5.- Controlar los microorganismos.

6.-Incrementar la construcción de curvatos, en una proporción de uno por cada diez habitantes.

b.- Dotar de suficiente agua potable a la ciudad.

Posibilidad de aprovechar la superficie de las calles como zonas de captación:

Volumen requerido (población futura)..... 7 503.8 m^3/día.

Superficie requerida para captar ese volumen con agua de lluvia... .....2 900.000 m^2.

Superficie urbana de Chetumal.....2 890.000 M^2.

Superficie de las calles (estimada).....1 011 500 m^2.

Superficie de captación requerida por habitante..... 116 m^2/hab.

Aprovechando las calles, la superficie de captación (considerando los 10 000 hab.-actuales) sería..... 101 m^2/hab.

No es conveniente considerar las calles como superficies de captación por:

1.- El agua resultaría de mala calidad, pues se mineraliza fácilmente si no se conservan las calles perfectamente pavimentadas.

2.- Bombeo costoso.

3.- Dificultad de almacenar el agua, ya que se requieren depósitos con capacidad de 911 000 M^3 (nueve veces mayor a la de los aljibes existentes.)

Para captar aguas de lluvia, eliminada la posibilidad de utilizar las calles, sólo queda la aternativa de aprovechar las pistas del aeropuerto, con un gasto medio de 5.8 l/seg.

Por lo tanto, debemos obtener 81 l/seg. de otras fuentes.

El agua de las otras fuentes conocidas está altamente mineralizada (3 000 ppm de sólidos totales); sin embargo, parece que no se han estuiado todas las alternativas. Sugieren algunos geólogos que se perforen cuando menos seis pozos en la "Región Intermedia Interior" (cuatro en el camino Chetumal-Escárcega, a 27.1, 49.1, 61.8 y 81.6 kms. respectivamente de la primera, y dos a 15 y 80 kms de Bacalar.

Si estas pruebas presentan aguas de buena calidad, y los aforos de los pozos indican la capacidad requerida de extracción, quedará solucionado el problema de la fuente de abastecimiento.

Si estos estudios resultan negativos, debemos dirigir nuestra atención al río Ucum, cuyas aguas se han hallado de buena calidad, pero que por su régimen casi intermitente, en estiaje conduce sólo de 5 a 10 l/seg., se hace indispensable la construcción de una presa.

Desgraciadamente, la construcción de la presa se dificulta por la topografía del terreno, ya que siendo éste esencialmente plano y permeable, de no hallarse una depresión favorable, el hecho de que no exista ninguna boquilla ni vaso natural, implica la construcción de grandes diques que permitan el almanecamiento del agua.

El costo de una presa en el río Ucum se ha estimado superior a 40 millones de pesos, aparte del costo de impermeabilización del vaso.

Si los estudios anteriores son desfavorables, recordando que conducir agua potable de fuentes lejanas es muy costoso, la única alternativa que nos queda es la desmineralización de las aguas conocidas.

Los métodos más usuales para desmineralizar agua son:

Destilación (simple, de múltiple efecto, o a compresión), evaporación con radiación solar (simple o de varios pasos); permutación iónica, electrodiálisis, electrósmosis, congelación, congelación y evaporación y otros métodos en experimentación.

RESUMEN DEL ANALISIS QUIMICO DE LAS AGUAS:

Fuente	Distancia a Chetumal.	Sólidos Totales	Dureza Total	Sulfatos.	Cloruros.
Bahía de Chetumal	100 m	21 046	4 596	2 087	9 850
Río Hondo	10 km	2 806	996	1 066	838
Aguas Subterráneas	3 km	3 096	2 042	1 713	56
Laguna de Bacalar	28 km	2 920	1 746	2 400	118

Por el cuadro anterior, podemos concluir que las aguas del río Hondo, son las que presentan menos inconvenientes para ser tratadas. (El río Hondo conduce un gasto en estiaje riguroso de 20 m^3/seg).

Plantas de Tratamiento.

Los procesos más factibles para desmineralizar estas aguas son:

1.- Destilación.

2.- Permutación Iónica.

3.- Electrodiálisis.

El costo de una planta de tratamiento para cualquiera de estos procesos es sencillamente igual (del orden de 20 millones de pesos), variando únicamente las condiciones de operación, pero en los tres, el costo por metro cúbico de agua tratada sería superior a $ 4.00

En el proceso de destilación, se necesitaría para el funcionamiento de la planta, una gran cantidad de combustible (40 000 - kg. de petróleo o diesel) diariamente, lo cual motivaría un con-

trol riguroso de los transportes, así como la construcción extra de un gran tanque de almacenamiento.

Siguiendo el método de permutación iónica con el empleo de resinas sintéticas, regenerables con ácido sulfúrico y carbonato de sodio, tendríamos también la necesidad de controlar un servicio de transportes para llevar estas subtancias químicas.

Debemos pensar en una solución de otro tipo, pues debido a las condiciones geográficas de Chetumal, es difícil asegurar un buen servicio de transportes y estaríamos expuestos a que tuviera que separarse la planta y la ciudad careciera de agua.

En los últimos años se ha elaborado un estudio para desenvolver e incrementar económicamente la Unidad del Sureste, llamado "Lo que ha sido y lo que puede ser el Sureste". Se menciona la posibilidad de producir cerca de dos millones de KW de potencia hidroeléctrica de los ríos Grijalva y Usumacinta.

En caso de realizarse este proyecto, el costo del KWh sería del orden de 12 centavos en Chetumal, que se considera bastante económico.

En estas condiciones, debe considerarse la posibilidad de efectuar un tratamiento que necesite como materia prima la energía eléctrica, como puede ser el método de elctrodiálisis, descrito en páginas anteiores.

A pesar de esto, el costo del agua tratada será muy alto, e implicará una pesada carga económica permanente para los habitantes y las autoridades, pero es preferible a que la ciudad se estanque, debilite o entre en decadencia. Muchas calamidades ha po

dido soportar la humanidad, pero nunca la falta de agua.

Red de Distribución.

Debido a que se está elaborando aún el plano regulador de las -- nuevas colonias y demás zonas urbanas futuras, únicamente se hizo el estudio de la zona correspondiente al plano proporcionado por la SRH, obteniéndose los siguientes resultados:

Gasto máximo horario tributario..... 13.15 l/seg

Longitud total de la red..... 18 010 m

Tubería A.C. de 75 mm (3")..... 13 155 m

Tubería A.C. de 100 mm (4")..... 3 360 m

Tubería A.C. de 150 mm (5")..... 1 495 m

Se consideraron dos circuitos de alimentación, y las correcciones a las pérdidas de carga se calcularon con el método de -- Hardy- Cross.

Costo toal de la red de distribución..... $670 003.10

El financiamiento se hará mediante un préstamo que deberá - pagarse en 10 años con intereses del 4.5% semestral

Amortización anual..... $134 021.80

Los habitantes deberán pagar por concepto de la red de distribución..... $ 0.33/ m^3.

CONCLUSIONES.

1.- Para la población de escasos recursos rehabilitar las pistas del aeropuerto y resanar los aljibes.
Reducir la evaporación por cualquiera de los métodos ya citados a vigilar la planta de cloración.

2.- Obligar a los propietarios de casas a construir curvatos o aljibes para aliviar la escasez de agua.

3.- En los estudios de las aguas del Río Hondo y de la Bahía de Chetumal se encontró que debido a su alto contenido de sales, son inadecuadas para usos domésticos y su potabilización resulta complicada y costosa alcanzando un valor de $ 3.00 por metro cúbico incluyéndose el costo de tratamiento.

En consecuencia la perforación de pozos en la zona denominada "Siempre allá" o pozo "Taurino" que realizó la Secretaría de Recursos Hidráulicos da la solución de este problema pues los tres pozos ya perforados nos dan 55 litros por segundo y se tiene el proyecto de continuar perforando otros pozos hasta alcanzar un gasto de 100 litros/segundo suficientes para cuando la ciudad con 30,000 habitantes más de los considerados en este estudio

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

1.- GEOGRAFIA DE MEXICO.

Profr. Jesús Galindo y Villa.

2.- HISTORIA DEL DESCUBRIMIENTO Y CONQUISTA DE YUCATAN

Juan Francisco Molina Solis.

3.- LA CIVILIZACION MAYA.

Silvanus G. Morley.

4.- MONOGRAFIA DE LA REPUBLICA MEXICANA.

Mariano Miranda Fonseca.

5.- OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS. TERRITORIO DE QUINTANA ROO.

Banco Nal. Hipotecario Urbano y de Obras Públicas, S.A.

6.- EL AGUA COMO CLAVE EN EL DESARROLLO DE LA PENINSULA DE YUCATAN.

Asociación Hidrológica

Mexicana A. C.

México 1959.

7.- APUNTES SOBRE LA MORFOLOGIA DE YUCATAN EN LOS RECURSOS NATURALES DE YUCATAN.

Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

México 1950.

8.- WATER TREATMENT AND PURIFICATION.

William J. Ryan, M.E.

9.- GEOLOGIA DE LA PENINSULA DE YUCATAN.

Enciclopedia Yucatanence.

Sapper, K.

México 1945.

10.- SEE WATER DESTILLATION.

Richardsons, Westgarth & Co. Limited.

England 1958.

11.-DEMINERALIZATION BYION EXCHANGE (Folleto)

Pfandler Permutit Inc.

New York 1958.

12.-OBRAS DE AGUA POTABLE S. DE R.H. (Folleto México 1962.)

13.- APUNTES DE LA CLASE.

Ing. Arnulfo Paz Sánchez.

14.- ABASTECIMIENTO DE AGUA Y ALCANTARILLADO.

Errust W. Steel.

Editorial Gustavo Gili, S.A.

Barcelona, 1958.

15.- MONOGRAFIA DEL RIO HONDO.

Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

México. 1946.

16.- BOSQUEJO CLIMATOLOGICO EN LOS RECURSOS NATURALES DEL SURESTE Y SU APROVECHAMIENTO.

Contreras Arías.

México 1958.

17.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CHETUMAL, QUINTANA ROO.

Dr. Alfredo Lohnberg

México, 1959.

18.- APPLIED HYDRULIES

Herbert Addison

John Wiley & Sons, Ine, 1938.

INDICE.

PRIMERA PARTE.

I.- ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.- - - - - - - - - - - - - - 1

SEGUNDA PARTE.

II.- CONSIDERACIONES PRELIMINARES. - - - - - - - - - - - - - 17

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.

a).-OBRAS DE CAPTACION. - - - - - - - - - - - - - - - - - - - 21

b).-OBRAS DE CONDUCCION.- - - - - - - - - - - - - - - - - - - 23

c).-OBRAS DE ALMACENAMIENTO Y REGULARIZACION - - - - - - - - 24

d).-OBRAS DE DISTRIBUCION- - - - - - - - - - - - - - - - - - -26

e).-OBRAS PARA BOMBEO Y POTABILIZACION - - - - - - - - - - - 29

TERCERA PARTE

III.- ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN CHETUMAL - - - - - - -32

a).-CANTIDAD SUFICIENTE - - - - - - - - - - - - - - - - - - -32

b).-ESTUDIO DE LA POBLACION FUTURA - - - - - - - - - - - - - 33

c).-DOTACION - 37

d).-VARIACION DE CONSUMOS - - - - - - - - - - - - - - - - - 40

FUENTES DE ABASTECIMIENTO - - - - - - - - - - - - - - - 42

a).-AGUAS DE LLUVIA - 43

APROVECHAMIENTO DE LAS CALLES COMO SUPERFICIES DE

CAPTACION - 50

ANALISIS DE LAS AGUAS DEL ALJIBE - - - - - - - - - - 52

EVITAR QUE LA POBLACION PADEZCA DE SED - - - - - - - - 62

DOTAR DE SUFICIENTE AGUA A LA CIUDAD - - - - - - - - - 70

b).-AGUAS DE MAR - 71

ANALISIS DE LAS AGUAS DE LA BAHIA DE CHETUMAL - - - - -73

METODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE MAR - - - - - - - -76
DESTILACION -79
DESTILADOR DE MULTIPLES PASOS - - - - - - - - - - - - 81
EVAPORADORES CON RADIACION SOLAR - - - - - - - - - - 83
PERMUTACION IONICA - - - - - - - - - - - - - - - - - - 85
ELECTRODIALISIS - 86
OSMOSIS - 87
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DE LA BAHIA DE CHETUMAL - - -89
c).-RIO HONDO - 92
ANALISIS DE LAS AGUAS DEL RIO HONDO - - - - - - - - - 93
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RIO HONDO - - - - - - - 96
d).-AGUAS SUBTERRANEAS. - - - - - - - - - - - - - - - - 98
ANALISIS DE LOS POZOS.
HIDROLOGIA DE LA FAJA COSTERA. - - - - - - - - - - - -99
HIDROLOGIA DE LA REGION INTERMEDIA INTERIOR - - - -100
EXTRATOS GEOLOGICOS, SU SECUENCIA, COMPOSICION, Y
ESTRUCTURA - 102
CONSECUENCIAS IMPORTANTES - - - - - - - - - - - - - -108
SITIOS DE PERFORACION CONVENIENTES - - - - - - - - - 109
ANALISIS DE COSTO DE ABASTECIMIENTO DE POZOS - - - - 114
e).-RIO UCUM - 115
ANALISIS DE LAS AGUAS - - - - - - - - - - - - - - - - 116
CONSTRUCCION DE UNA PRESA DE ABASTECIMIENTO - - - - -118
f).-LAGUNA DE BACALAR - - - - - - - - - - - - - - - - -123
ANALISIS DE LAS AGUAS - - - - - - - - - - - - - - - -124
g).-FUENTES DE PROVISION LEJANAS - - - - - - - - - - - 126

REGULARIZACION - 129

RED DE DISTRIBUCION - - - - - - - - - - - - - - - - - 133

CUARTA PARTE.

SISTESIS - 139

CONCLUSIONES - 146

BIBLIOGRAFIA — -147

INDICE - 149