

# Universidad Nacional de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA SANITARIA



*Proyecto de Investigación Sobre;*

ASPECTOS HIDRÁULICOS DE LAS LAGUNAS  
DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JUAN DE  
MIRAFLORES - LIMA

## TESIS DE GRADO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

**JOSE FELIPE LIVIA**

Lima - Perú

Año 1983

## P R O L O G O .

Se dice que la Ingeniería es el método más económico para utilizar las fuerzas de la naturaleza. En mi concepto un buen Ingeniero es aquel que adopta mejor sus planes al medio ambiente natural, uno que mejore y modifique su plan para ahorrar trabajo y material y que permita la naturaleza lo ayude en su trabajo.

Se puede diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para poblaciones, en unidades convencionales de maquinarias y equipos sofisticados, que ocupe una área pequeña y cuyo costo sea elevadísimo; sin embargo es posible diseñar otro tipo de planta para la misma población, consistentes en unidades más sencillos - sin equipo ni maquinarias y que ocupe un área mayor que lo anterior y de un costo bajísimo.

Ante estas dos alternativas cabe hacerse una serie de preguntas: Será igual el precio de terreno al precio de maquinarias?, Se tendrá personal capacitado para operar con equipos convencionales?. Las respuestas las obtendremos luego de realizar los estudios de investigación.

Los estudiosos y especialistas en Ingenierías Sanitaria y Ciencias del ambiente, debemos de buscar "Soluciones nacionales para un problema nacional y evitar en lo posible la importación de tecnología, que además de ser demasiado costoso, no encajan en nuestra realidad.

Por razones expuestas anteriormente, el Estado debe apoyar y promover investigaciones en nuestra propia realidad, de esta forma disminuir la dependencia tecnológica y económica con países importadores.

La irrigación por medio de aguas residuales tratadas, no solo tiene que ver con la Ingeniería sino también con la economía. La América Latina y países pobres en desarrollo, de sus técnicos depende el progreso. Si nosotros como Ingenieros, podemos desarrollar y construir por sumas reducidas, así podemos mantener nuestros gastos capitales a un mínimo, hemos ayudado a nuestro país y a nuestros compatriotas a alcanzar las comodidades y mejoras en su nivel de vida que son su derecho.

En el presente trabajo se ha desarrollado información solo referente a Aspectos Hidráulicos. Por tanto no se proporciona información referente a Aspectos Bioquímicos, que sería tema de otro trabajo.

P R O G R A M A

Proyecto de Investigación sobre:

ASPECTOS HIDRAULICOS DE LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE SAN JUAN  
DE MIRAFLORES LIMA .

		Pág.
CAPITULO I	ANTECEDENTES .....	1
CAPITULO II -	PROPOSITOS Y OBJETIVOS .....	3
CAPITULO III -	ASPECTOS HIDRAULICOS DE LAS LAGUNAS ....	5
3.1.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	5
3.1.1.	Funcionamiento de la laguna .....	5
3.1.2.	Cargas Aplicadas .....	7
3.1.3.	Control de Efluentes .....	8
3.2.	INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA .....	13
3.2.1.	Sistema de Pretratamiento .....	13
3.2.1.1.	Cámara de Rejas .....	15
3.2.1.2.	Desarenadores .....	16
3.2.2.	Conducción y Derivaciones-Afluentes ...	16
3.2.2.1.	Derivaciones y Mecanismos Regula- dores de Flujo .....	17
3.2.2.2.	Red de Conducción .....	22
3.2.2.3.	Selección de Estructuras Hi- dráulicas .....	25
3.2.2.4.	Dispositivos de Control Hi- dráulico .....	28
3.2.3.	Efluentes .....	38
3.2.3.1.	Consideraciones Generales ....	38
3.2.3.2.	Selección de Estructuras Hidráulicas .....	39
3.2.3.3.	Dispositivos de Control Hidráulico .....	52
3.3.	SUBMODELO HIDRAULICO DE LA LAGUNA COMO REACTOR ..	56
3.3.1.	Consideraciones Generales .....	56
3.3.2.	Tipos de Flujo dentro del Reactor .....	65
3.3.3.	Importancia de la Caracterización Hidráulica .....	69
3.3.4.	Infiltración (Balance de masa Q) .....	75

CAPITULO IV - METODOLOGIA PARA EVALUACION DE LOS DIVERSOS ASPECTOS HIDRAULICOS .....	82
4.1. CALIBRACION DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS	82
4.1.1. Importancia .....	82
4.1.2. Metodología Experimental .....	83
4.1.3. Posibilidades .....	105
4.2. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE LA LAGUNA	106
4.2.1. Metodología de Prueba de Trazadores .....	106
4.2.2. Problemas de las Pruebas con Trazadores .....	123
4.2.3. Consideraciones de Infiltración y Evaporación ..	123
CAPITULO V - RESULTADOS OBTENIDOS .....	133
5.1. TABLAS .....	133
5.2. GRAFICAS .....	135
5.3. CURVAS .....	136
CAPITULO VI - DISCUSION DE RESULTADOS .....	138
6.1. AFORO DE CAUDALES .....	138
6.1.1. Calibración Hidráulica	140
6.1.2. Infiltración .....	142
6.2. PRUEBA DE TRAZADORES .....	143
CAPITULO VII - CONCLUSIONES .....	145
CAPITULO VIII - RECOMENDACIONES Y FUTUROS ESTUDIOS	149
CAPITULO IX - APENDICA .....	151
CAPITULO X - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	166

## C A P I T U L O I

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

La construcción de lagunas estabilizadoras y rellenos sanitarios en "San Juan de Miraflores-Lima", creó nuevos biotopos con aguas de elevadas capacidad de producción pobladas por abundantes algas, que han servido al Ministerio de Salud, para rehabilitar zonas que se han dedicado a la agricultura, florestación y recreación de ,los habitantes de la Gran Lima.

Lima, capital del Perú, está situada en los 12 grados de latitud Sur y por grados longitud Oeste, frente al Océano Pacífico Tropical. Por su ubicación Geográfica debería tener un clima con abundantes lluvias y elevadas temperaturas, pero debido a las aguas frías de la corriente peruana y a los procesos de afloramiento de aguas desde profundidades moderadas, su clima es benigno, en cambio las precipitaciones pluviales son sumamente escasas a lo largo de casi toda la región costera del país.

Debido a ello, la costa peruana es un desierto semiárido salvo en las zonas donde fluyen los ríos de la vertiente del Pacífico. Dada la escasez de recursos de agua superficial y subterránea en la cuenca natural que, provee Lima, el aprovechamiento para usos diversos de las aguas residuales, tratadas, es una necesidad indiscutible.

A fin de determinar la factibilidad de usar las aguas residuales tratadas en las zonas áridas circunvecinas, el Ministerio de Salud por medio de sus oficinas Técnicas de Saneamiento ha venido preocupándose, desde hace varios años, por establecer programas que permitan rehabilitar el desierto y destinarlo para fines agrícolas, mediante el trabajo integrado de los Ministerios de Salud, Agricultura, Vivienda, del Interior y los gobiernos locales (Municipalidades).

Es así como en San Juan, uno de los 42 distritos Municipales de La Gran Lima, el Ministerio de Vivienda orientado por las investigaciones realizadas por el Ministerio de Salud, construyó un complejo de Lagunas bio-estabilizadoras, cuyos efluentes se u

san para rehabilitar el desierto en una extensión que en su máximo desarrollo cubrirá 400 Has.

Dentro de la misma zona, La Legislación Sanitaria especialmente preparada y La Asesoría Técnica, han permitido que 13 distritos Municipales que cubren 6,500 Has., urbanizada con más de 1'000,000 de habitantes, eliminan sanitariamente las basuras mediante el Relleno Sanitario. Es así, en la zona anexa a las lagunas se ha permitido el entierro diariamente de 3,000 m<sup>3</sup> de desperdicios sólidos aportando a los arenales la materia orgánica indispensable para la formación de lo que construirá el Parque Forestal de San Juan, con carácter zonal, este parque atenderá las necesidades de recreación de unos 5,000 habitantes. Dicho proyecto en plena marcha es la primera fase de la rehabilitación del desierto que se conoce con el nombre de TABLAZO DE LURIN. Se extiende hacia el Sud-Este de Lima donde se piensa poner en el futuro bajo riego más de 600 Has., utilizando los desagües que drenan hacia el Sur pero que hoy se pierdan en el Océano Pacífico sin provecho alguno y más bien, produciendo la contaminación de estas aguas que bañan las playas de Lima.

Con estos trabajos la Ingeniería Sanitaria del Perú está contribuyendo a transformar los desechos sólidos y líquidos en recursos, mediante técnicas y costos que están al alcance de la modesta economía de la mayoría de los países americanos.

Las lagunas de San Juan-Lima, son relativamente nuevas y debido a ello, el número de estudios científicos efectuados en ellas es todavía muy reducido.

El Laboratorio de La Facultad de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima, efectuó de Octubre a Noviembre de 1967, un análisis bioquímico del desagüe crudo y del efluente de la primera laguna primaria construída en San Juan.

Más tarde el Dr. Julio Morales, del laboratorio de Salud Pública efectuó (en 1969), un análisis de los efluentes de los tres tipos de lagunas, construídas allí determinando las bacterias y los parásitos, existentes en dichos efluentes.

Como se puede observar los estudios de investigación que se realizaron anteriormente, se preocuparon más en lograr resultados favorables para la remoción de materia orgánica, reducción de organismos patógenos y estudio de algas; pero no había sido estudiado ni establecido el papel que desempeñan las condiciones hidráulico de las lagunas que forma parte de los datos de evaluación en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales. Recién los dos últimos estudios de investigación que realizó el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) en Las Lagunas de San Juan, abre la puerta hacia el mundo hidráulico de la laguna de estabilización. Se hacen estudios sobre la gran importancia que tiene el desempeño hidráulico de una laguna.

## C A P I T U L O   I I

### PROPOSITOS   Y   OBJETIVOS.

El presente trabajo de investigación, fijó los propósitos y objetivos más importantes siguientes:

#### 1.- OBJETIVOS PRINCIPALES

- a) Evaluar la eficiencia del sistema hidráulico,<sup>13</sup> en todas las estructuras de los afluentes y efluentes, así como en la laguna como reactor de tratamiento de aguas residuales domésticas conocida como lagunas de estabilización; ~~afin de obtener una serie de parámetros experimentales de diseño y operación para lagunas en áreas tropicales, y específicamente para áreas costeras en el Perú, que tengan climas similares altas de la ciudad de Lima.~~
- b) Proporcionar información al ingeniero sanitario para que tenga una adecuada concepción en el desarrollo de proyectos y de el adecuado conocimiento del comportamiento hidráulico de lagunas de varias formas, al uso adecuado de constantes de modelos y de la adecuada interpretación de los datos de evaluación<sup>2</sup>.

A pesar de existir una gran cantidad de información sobre lagunas y haberse conducido un gran número de investigaciones, existen todavía grandes vacíos. Debido a que las lagunas no tienen la eficiencia esperada por deficiencias hidráulicas que ocasionan diferentes distribuciones de flujo y afectan los períodos de retención del agua en los reactores. Como se ha dicho, esto ocurre por cuanto la literatura convencional de tratamiento no provee la información necesaria para diseñar, operar y evaluar los reactores en los cuales se desarrollan estos procesos.

- c) Evaluar el comportamiento de las lagunas de estabilización de SAN JUAN bajo una variedad de condiciones de carga (incluyendo las variaciones en las condiciones climáticas y calidad del agua) con el propósito de de-

desarrollar el criterio de diseño para este tipo de proceso.

## 2.- OBJETIVOS SECUNDARIOS

- a) Difundir la metodología de investigación desarrollada, así como la información obtenida.
- b) Analizar los períodos y tiempos de retención experimental de la laguna y determinar las características de flujo que en ella se produce.
- c) Reducir al máximo los costos de proyecto, haciendo uso de cargas aplicadas más altas, compatibles con las temperaturas de climas cálidas.
- d) Procurar<sup>que</sup> el análisis de datos de evaluación de lagunas en serie, en climas tropicales, indique que el alcance de eficiencias de remoción de DBO soluble por encima de 80%



## C A P I T U L O    I I I

### ASPECTOS HIDRAULICOS DE LAS LAGUNAS.

#### 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los estudios de investigación en las lagunas que funcionan en serie, primordialmente es para lograr alta eficiencia de remoción de compuestos orgánicos y reducción de organismos patógenos.

Para lograr con éxito alta eficiencia de tratamiento de aguas residuales crudas, es menester esencial llevar a cabo un control continuo e intensivo de cargas orgánicas y cargas hidráulicas de ingreso y salida de los reactores.? Además controlar el desempeño hidráulico del reactor que es tá muy relacionado con las estructuras de ingreso y salida como el tipo de flujo que se desarrolla.

El desempeño hidráulico del reactor (laguna) es importante para la evaluación del reactor. Los parámetros hidráulicos como coeficiente de dispersión, período de retención promedio experimental, etc., forman parte del grupo de datos que sirven para evaluar la laguna. De este modo conocer las condiciones hidráulicas y la eficiencia de tratamiento.

##### 3.1.1. Funcionamiento de la Laguna.

En general, las lagunas de estabilización son diseñadas y construídas para que dentro de ella se realicen procesos físicos, bioquímicos, hidráulicos etc, que conduzcan a la depuración de las aguas residuales.

Los estudios de investigación que se llevó a cabo en tres lagunas de San Juan, funcionó en serie. Llamándolos en sentido de flujo lagunas Pri-

maeía P1 al primer reactor; laguna secundaria S1 al segundo reactor; laguna Terciaria T1 al tercer reactor.

Como se ha indicado anteriormente el criterio fundamental que demanda la utilización de las 3 lagunas en serie, es con el propósito de lograr alta eficiencia de remoción de compuestos orgánicos y reducción de organismos patógenos.

La laguna primaria P1, funciona específicamente como reactor de alta remoción de materia orgánica. La laguna secundaria S1, funciona como reactor de maduración de bacterias y la laguna terciaria T1, funciona como gran reductor de bacterias patógenas y parásitos.

El proceso bioquímico del funcionamiento de la lagunas es bastante amplio, que sería tema de otro trabajo. Como el tema del presente trabajo se refiere solo al "Aspecto Hidráulico", las explicaciones del proceso de funcionamiento se hará sólo desde este punto de vista hidráulico que también es bastante amplio.

A pesar de existir una gran cantidad de información sobre lagunas y haberse conducido un gran número de investigaciones, existen todavía grandes vacíos, que no permiten al Ingeniero Sanitario obtener una adecuada concepción de proyecto para casos como serio vacío en el adecuado conocimiento del comportamiento hidráulico de lagunas de varias formas, el uso adecuado de constantes de modelos y la adecuada interpretación de datos de coeficiente de dispersión, período de retención experimental, que forman parte de los datos de evaluación de la laguna que funciona entre el flujo tipo pistón y flujo de mezcla completa.

Según informaciones sobre lagunas e investigaciones realizadas, existen diversos modelos hidráulicos para la evaluación intensiva del funcionamiento de las lagunas. En particular, para la evaluación intensiva de las lagunas de San Juan, se ha seguido PRUEBAS DE CAMPO COMBINADAS. Esta prueba consiste en pruebas de campo en funcionamiento continuo (modelo de dispersión Axial) y las pruebas de campo tipo Batch.

Estas pruebas de campo combinadas, ofrece las mejores ventajas en la evaluación de una laguna de estabilización en condiciones de campo, puesto que permite conocer tanto información sobre la degradación de la materia orgánica y destrucción de organismos patógenos como las condiciones hidráulicas de la laguna.

En las condiciones de prueba de campo TIPO BATCH, tanto la degradación orgánica, como la destrucción de microorganismos se efectúan en condiciones rápidas bajo la suposición de mezcla completa y uniformidad de bio masa en el tiempo.

En cambio, las pruebas de campo en funcionamiento continuo (flujo pistón disperso), através de las pruebas de trazadores nos facilita conocer las condiciones hidráulicas de la laguna.

Las Pruebas de trazadores en lagunas es muy útil para:

- Determinar la distribución del flujo en reactores.
- Evaluar la eficiencia hidráulica .

Configuración de unidades de distribución.

- Entrada y recolección de aguas residuales en reactores.

Actualmente las pruebas de Trazadores son utilizados principalmente para definir<sup>8</sup>:

- Los tiempo reales de retención y
- Sus principales características concomitantes (tipos de flujo espacios muertos y cortocircuitos.)
- Modelo de reactores en etapa de diseño para conocer su comportamiento Hidráulico.

Cabe mencionarse que las pruebas de trazadores, da información de gran interés en la evaluación del funcionamiento de una laguna. Sobre todo en relación con la presencia de corto circuitos. Esta información es de utilidad en el estudio de relocalización de estructuras de entrada y salida<sup>3</sup>.

Posteriormente en el capítulo 3.3. se hace una explicación amplia del sub-modelo hidráulico del reactor.

### 3.1.2. Cargas Aplicadas.

En un proceso de investigación, la variación de la aplicación de cargas tanto orgánicas como hidráulicas son de suma importancia durante el período de estudio.

Los resultados de la variación de las cargas aplicadas, no solamente serán útiles para evaluar las lagunas de estabilización, sino también serán útiles para tener mayor criterio del problema en el diseño de lagunas para clima tropicales.

En el presente capítulo, se limita solo a aclarar algunos conceptos referentes a cargas.

#### a) CARGAS ORGANICAS

Las cargas orgánicas se obtiene en función de la determinación de Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO) y se expresa como:

Carga      Kg. DBO/Ha x día .

La determinación de DBO se realiza en el laboratorio mediante el análisis de las muestras tomados en el campo. Las muestras se toman sobre todo en el afluente a la laguna primaria, para conocer la carga aplicada a la laguna primaria.

Cuando se construye lagunas de estabilización, es menester reducir al máximo los costos de proyecto haciendo uso de cargas orgánicas más altos, compatibles con las temperaturas de climas cálidos.

De modo que los datos de evaluación de lagunas en climas tropicales nos indiquen que al alcance de eficiencia de remoción de DBO soluble esta

por encima de 80%, tal como se indican en la Tabla No.1. Esto es posible únicamente mediante el uso de lagunas en serie

- La aplicación de cargas orgánicas, también es de significancia para ayudar a entender, en mayor forma, el límite de carga entre las lagunas facultativas y las anaeróbicas, en base a la predominancia del proceso biológico. Como la ganancia de Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) sólo es posible como resultado de los procesos anaeróbicos, se puede afirmar que para cargas orgánicas por encima de cierto límite predominan los procesos anaeróbicos. Osea hay una relación bastante significativo, entre AMONIACO versus CARGAS ORGANICAS<sup>2</sup>.

#### b) CARGAS HIDRAULICAS.

Las cargas hidráulicas se miden y determinan directamente en el campo. Se expresan como:

$$\text{m}^3/\text{h} ; \quad \text{l}/\text{seg.}, \quad \text{mm}/\text{día} \quad \text{o} \quad \frac{\text{m}^3/\text{día}}{\text{m}^2}$$

Las pruebas de cargas hidráulicas que se realizan en el campo son:

Medición de caudales en los afluentes de las lagunas primarias. Estas mediciones de caudal son de suma importancia puesto que son los únicos medios directos de evaluar o determinar DBO en sitio.

La medición de caudales en los efluentes de laguna, al mismo tiempo de evaluar la carga hidráulica, también permite evaluar las pérdidas por evaporación e infiltración.

Los datos o pruebas de cargas hidráulicas, son utilizados para evaluar el BALANCE HIDRAULICO DE LA LAGUNA (reactor).

#### 3.1.3. Control de Efluentes.

Las evaluaciones en los efluentes y afluente de las lagunas en condiciones de equilibrio continuo, son componentes fundamentales para la evaluación de la laguna de estabilización como reactor.

Las evaluaciones en los efluentes y afluente requiere de mediciones de caudal y muestreo representativo en la entrada y salida, generalmente para la determinación de DBO y coliforme fecal.

En el afluente con el objeto fundamental de controlar el caudal de ingreso a las lagunas se instalaron las siguientes estructuras hidráulicas:

- Estructura de regulación de flujo con vertedero de carga constante sobre orificios. (Fig. No.4). Esta estructura facilita controlar el flujo constante de aguas residuales cruda, sobre todo en horas de máxima descarga.

- Medidor PARSHALL con su caseta de Limnógrafo y caseta para muestreo (Fig. No. 11). Esta estructura facilita la medición continua del caudal total del crudo que fluye por el canal de conducción hacia las lagunas.
- Medidor Palmer - Bowlus I con su caseta de Limnógrafo (Fig. No. 13). También facilita la medición continua del caudal del crudo que fluye por el canal de conducción.

Mediante los datos registrado por el Medidor Parshall y Palmer - Bowlus I, se determina exactamente el caudal de ingreso a la laguna primaria P1 (Fig. No.1)

El contro en los efluentes se realizó mediante:

- a) Los dispositivos hidráulicos de salida pueden estar constituidos por unos simples vertederos (Fig. No. 17' y 18') que, al mismo tiempo, permita medir el caudal de salida y en un momento dado, evaluar las pérdidas por evaporación y percolación.
- b) Caseta de muestreo que, permita la toma de muestra para la de terminación de DBO y coliforme fecal en dicho punto, tal como se indican en las Fig. No. 17' y 18'.

T A B L A N<sup>o</sup> 1

**DATOS DE CARGAS HIDRAULICAS, ORGANICAS Y % REMOCION**

LAGUNA PRIMARIA ,1.20 Ha

SEM.	* CAUDALES (lps) * * AFL. EFL. *	* DBOtC (mg/l) *	* DBOsPl (mg/l) *	* CARGA ( kg DBO/Ha.xdia) * * Aplicada Efluente Removida* % *	* REM *
110	28.5 20.3	104.0	16.0	213.4 23.4 190.0	89.0
111	30.1 23.0	120.0	12.5	260.1 20.7 239.4	92.0
113	28.1 21.4	127.6	08.1	258.2 12.6 245.6	95.1
115	21.7 15.4	160.9	07.8	251.4 8.6 242.8	96.5
116	31.6 25.5	147.2	08.5	334.9 15.6 319.3	95.3
117	21.2 15.2	128.9	10.0	196.8 10.9 185.9	94.4
118	25.0 19.2	141.4	08.0	254.5 11.1 243.4	95.6
119	23.8 18.1	144.5	14.0	247.7 18.3 229.4	92.6
120	35.7 30.1	141.6	16.8	364.1 36.6 327.5	89.9
125	21.4 16.4	102.4	07.9	157.8 9.3 148.5	94.1
128	21.9 17.2	133.4	22.8	210.4 28.3 182.1	86.5
129	21.2 16.5	117.8	24.1	179.9 28.7 151.2	84.0
130	24.3 19.8	112.2	31.2	196.3 44.6 151.7	77.2
136	31.2 27.1	93.3	19.2	209.7 37.6 172.1	82.0
137	27.5 23.5	119.9	28.9	237.4 48.9 188.5	79.4
140	28.6 24.8	76.0	17.7	156.5 31.7 124.8	79.7
141	26.8 23.1	127.0	16.9	245.2 28.2 217.0	88.4
143	25.3 21.7	106.9	12.4	194.9 19.5 175.4	89.9
144	19.2 15.7	142.2	15.4	196.6 17.5 179.1	91.0
145	23.1 19.5	68.0	13.7	113.1 19.3 93.8	82.9
148	24.7 21.4	262.4	15.6	466.8 24.1 442.7	94.8
150	21.8 18.5	119.4	11.3	187.5 15.1 172.4	91.9
151	22.9 19.7	167.8	11.0	276.8 15.6 261.2	94.3
152	22.2 19.0	122.5	29.1	195.8 39.9 155.9	79.6
153	23.5 20.3	182.1	20.0	308.2 29.3 278.9	90.4
154	25.2 22.1	194.9	13.8	353.6 22.0 331.6	93.7

Para 54 semanas de estudio:

**PROM. REMOCION ORGANICA = 89.2%**

T A B L A N° 2

DATOS DE CARGAS HIDRAULICAS, ORGANICAS Y % REMOCION

LAGUNA SECUNDARIA, 1.44 Ha

SEM.	* CAUDALES (lps) * * AFL.	EFL. *	DBOtPl (mg/l)	DBOsSl (mg/l)	* CARGA ( kg DBO/Ha.xdia) * * Aplicada	Efluente	Removida*	REM % *
104	19.0	12.0	62.1	16.8	70.8	12.4	58.4	82.4
105	21.9	13.3	75.2	13.5	98.8	11.1	87.7	88.7
107	24.1	11.8	53.1	11.5	76.8	8.4	68.4	89.0
110	20.3	14.3	36.7	07.5	44.7	6.6	38.1	85.2
111	23.0	16.4	58.1	11.0	80.2	11.1	69.1	86.1
112	20.3	13.9	48.4	10.7	59.0	9.2	49.8	84.4
116	25.5	09.7	51.0	12.1	78.0	7.2	70.8	90.7
117	15.2	17.9	42.6	10.8	38.9	11.9	27.0	69.4
118	19.2	14.8	65.2	10.8	75.1	9.9	65.2	86.8
119	18.1	15.6	62.5	17.4	67.9	16.8	51.1	75.2
120	30.1	15.4	45.2	15.2	81.6	14.5	67.1	82.2
121	29.0	14.0	62.8	12.3	109.3	10.7	98.6	90.2
125	16.4	10.4	42.3	14.1	41.6	9.1	32.5	78.1
126	16.4	11.3	31.4	12.5	30.9	8.7	22.2	71.8
127	15.0	11.2	36.9	12.3	33.2	8.5	24.7	74.3
128	17.2	12.9	53.0	08.7	54.7	6.9	47.8	87.3
129	16.5	13.0	59.5	11.4	58.9	9.1	49.8	84.5
130	19.8	12.2	64.1	10.8	76.2	8.2	68.0	89.2
132	17.5	14.3	66.8	15.6	70.1	13.8	56.3	80.3
136	27.1	23.6	52.3	06.3	85.0	9.3	75.7	89.0
137	23.5	21.4	63.3	10.0	89.3	13.3	76.0	85.1
138	27.4	25.4	61.0	32.0	100.3	50.2	50.1	49.9
140	24.8	19.5	76.9	08.5	114.4	10.3	104.1	90.9
141	23.1	16.5	64.5	14.0	89.4	14.3	75.1	84.0
143	21.7	15.5	43.2	09.8	56.2	9.4	46.8	83.2
144	15.7	14.9	69.7	19.3	65.7	17.7	48.0	73.0
145	19.5	18.9	38.5	14.4	45.0	16.8	28.2	62.6
147	18.2	17.8	57.0	13.4	62.2	14.7	47.5	76.3
149	19.3	16.2	32.3	18.1	37.4	18.1	19.3	51.6
150	18.5	17.0	32.0	09.7	35.5	10.2	25.3	71.2
151	19.7	18.5	31.0	13.4	36.6	15.3	21.3	58.1
153	20.3	16.2	58.2	11.3	70.9	11.4	59.5	83.9
154	22.1	17.0	38.7	08.9	51.3	9.4	41.9	81.6

Para 54 Semanas de Estudio:

PROM. REMOCION ORGANICA = 79.2%

### T A B L A   N º   3

#### DATOS DE CARGAS HIDRAULICAS, ORGANICAS Y % REMOCION LAGUNA TERCIARIA ,1.49 Ha

SEM.	* CAUDALES (lps) * * AFL.	EFL. *	DBOtPl (mg/l)	DBOsSl (mg/l)	* CARGA ( kg DBO/Ha.xdia) * * Aplicada	Efluente	Removida*	% REM * %
104	12.0	10.8	51.0	26.0	35.5	16.3	19.2	54.0
105	13.3	12.1	41.0	27.5	31.6	19.3	12.3	38.9
110	14.3	13.1	23.0	08.8	19.1	6.7	12.4	64.9
111	16.4	15.2	33.5	14.8	31.9	13.0	18.9	59.2
112	13.9	12.7	32.5	15.0	26.2	11.0	15.2	58.0
116	09.7	08.5	37.0	07.5	20.8	3.7	17.1	82.2
117	17.9	16.7	33.0	06.3	34.3	6.1	28.2	82.2
119	15.6	14.4	54.8	08.7	49.6	7.3	42.3	85.2
120	15.4	14.2	29.2	06.1	26.1	5.0	21.1	80.8
121	14.0	12.8	25.7	09.1	20.9	6.8	14.1	67.4
125	10.4	09.2	32.9	04.4	19.8	2.3	17.5	88.3
126	11.3	10.1	27.4	07.8	18.0	4.6	13.4	74.4
129	13.0	11.8	34.5	15.7	26.0	10.8	15.2	58.4
130	12.2	11.0	57.7	10.9	40.8	7.0	33.8	82.8
132	14.3	13.1	47.3	13.9	39.2	10.6	28.6	72.9
136	23.6	22.4	43.9	07.0	60.1	9.1	51.0	84.8
138	25.4	24.2	61.0	07.3	89.8	10.3	79.5	88.5
143	15.5	14.3	31.8	12.1	28.6	10.0	18.6	65.0
144	14.9	13.7	40.3	17.5	34.8	13.9	20.9	60.0
145	18.9	17.7	43.8	09.3	48.0	9.6	38.4	80.0
147	17.8	16.6	40.7	11.7	42.0	11.3	30.7	73.0
149	16.2	15.0	55.0	10.2	51.7	8.9	42.8	82.7
150	17.0	15.8	29.5	09.4	29.1	8.6	20.5	70.4
151	18.5	17.3	40.7	10.2	43.7	10.3	33.4	76.4
153	16.2	15.0	34.6	10.5	32.5	9.1	23.4	72.0
154	17.0	15.8	27.2	09.3	26.8	8.5	18.3	68.2

Para 54 Semanas de Estudio:

PROM. REMOCION ORGANICA = 72.1 %



## 3.2. INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA.

Durante los últimos años, en los países en vías de desarrollo se han venido construyendo un sin número de estructuras de tratamiento de aguas residuales, principalmente del tipo de Laguna de Estabilización, empleando gran diversidad de criterios y cometiendo a la vez errores de concepción en algunas de ellas, tanto en el sistema Hidráulico de abastecimiento y reparto de aguas residuales a cada una de las lagunas, como en el sistema de recolección de las aguas tratadas.

El presente trabajo trata del aspecto hidráulico de cada una de las diferentes estructuras con que cuenta el sistema de tratamiento por lagunas de estabilización pudiéndose además utilizarse los mismos criterios en el diseño de cualquier tipo de planta de tratamiento que vaya a poseer estructuras similares.

En la recolección bibliográfica se han tenido en cuenta los criterios más comúnmente usados en el dimensionamiento de estructuras hidráulicas con la finalidad de poder tener a la mano todo el material necesario para esta tarea.

### 3.2.1. Sistema de Pretratamiento.

El objetivo de pretratamiento de las aguas residuales crudas es de remover todo tipo de materia gruesa y sedimentable. Para tal propósito se han construido estructuras de rejas y desarenadores que se encuentran ubicados antes de la cámara de reparto y regulador de flujo de aguas residuales tal como se indica en la Fig. No. 1.

Mediante las estructuras de rejas y desarenadores se evita que las materias gruesas y flotantes lleguen a obstruir los medidores de caudales, se evita que las materias pesadas lleguen a sedimentar en el tramo o secciones de medidores de régimen crítico, trayendo como consecuencia lecturas erróneas de tirante hidráulico en la sección de medida y por lo tanto cálculo de caudales incorrectos (irreales). Así mismo las materias flotantes que llegan a las lagunas si no se mantiene una limpieza permanente impide el paso de los vagos solares hacia las profundidades de la masa líquida y por consiguiente impide un buen funcionamiento biológico de las lagunas.

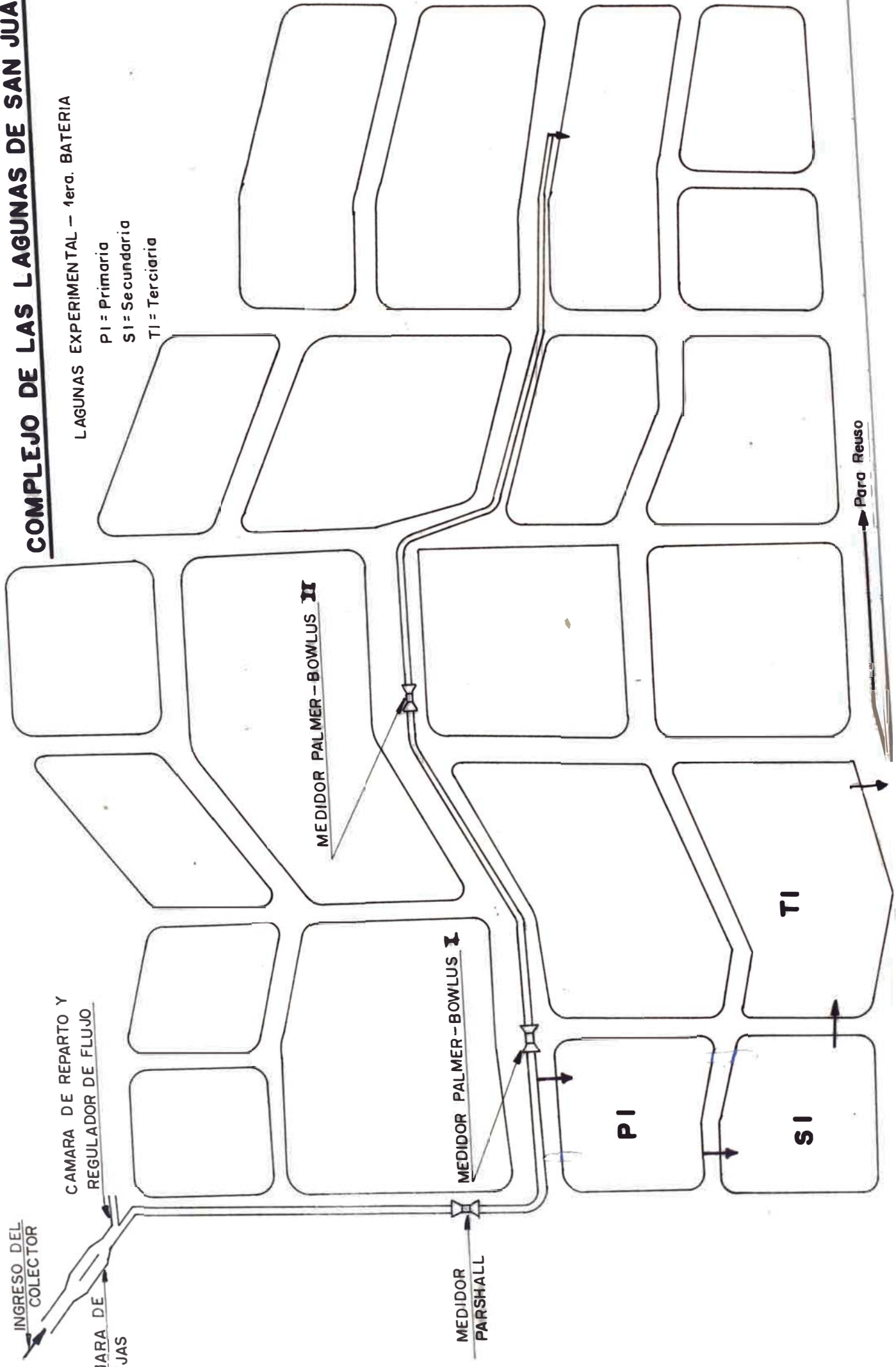
vagos

Por razones explicadas anteriormente, el sistema de pretratamiento es de suma importancia en el tratamiento de aguas residuales, principalmente del tipo de lagunas de estabilización como las de San Juan de Miraflores que se ha llevado a cabo.

# COMPLEJO DE LAS LAGUNAS DE SAN JUAN

LAGUNAS EXPERIMENTAL - 1era. BATERIA

PI = Primaria  
SI = Secundaria  
TI = Terciaria



### 3.2.1.1. Cámara de Rejas .

Las rejas tienen por misión remover todas aquellas materias sólidas de dimensión mayor al espaciamento existente entre cada uno de los componentes de la reja con la finalidad de proteger las instalaciones constituyentes del sistema de tratamiento de agua o para impedir la presencia del material flotante indeseables en las lagunas primarias (recptoras) o en la superficie líquida de los reactores (laguna).

Las rejas están conformadas esencialmente por una serie de perfiles metálicos igualmente espaciados e instalados transversalmente en el canal colector, formando un determinado ángulo con la horizontal.

Las rejas tienen por misión separar sólidos en general, incluyendo material flotante muy grueso.

Estas cámaras de rejas están instaladas a continuación del emisor que hace su ingreso a las lagunas de estabilización.

En el caso de San Juan de Miraflores, la limpieza de la cámara de rejas se realiza manualmente y diaria para facilitar la remoción de los sólidos retenidos, la inclinación de las rejas es menor a  $60^{\circ}$  con la horizontal. El rastrillero periódico depende de las características del líquido residual y de la abertura de las rejas debiendo realizarse oportunamente para evitar una excesiva pérdida de carga, la cual podría ocasionar el desbrote de las aguas en la parte alta del canal.

Para evitar cualquier problema que puede suceder en la cámara de rejas, durante el período de estudio, se ha inspeccionado diariamente y se ha mantenido personal obrero permanente para que haga la limpieza diaria mediante rastrillos que fue proporcionada. Además la cámara de rejas tiene "by pass" como medida de seguridad que entraría a funcionar cuando el nivel de agua reborda.

Las rejas se acostumbra a clasificar de acuerdo a la magnitud del espaciamento de los elementos que la conforman de la siguiente manera:

- 1o. Rejas Gruesas .
- 2o. Rejas Medianas .
- 3o. Rejas Finas .

Particularmente para el caso de San Juan, las rejas son medianas. Se estima que el volumen de sólidos gruesos removidos está comprendido entre 2 y 5 l/1000 m<sup>3</sup> de aguas residuales. La separación de reja a reja es aproximadamente de 4 cm.

El objetivo del presente trabajo no es diseño de estructuras hidráulicas, por esta razón se ha obviado realizar cálculos de diseño.

La operación hidráulico de las rejas se muestra en la Fig. No. 2

### 3.2.1.2. Desarenadores

Las aguas residuales contienen una serie de partículas en suspensión como son: arenas, sólidos orgánicos, material flotante, etc., que de no ser removidos oportunamente pueden ocasionar perjuicios a los equipos de tratamiento, obturando el caudal de ingreso a lagunas primarias y restando volumen útil a las lagunas.

Los desarenadores operan en la remoción selectiva de todas aquellas partículas inerte, excluyendo a los sólidos descomponibles, que ocasionan molestias durante el manipuleo de las arenas y que tienden, además, a convertir al desarenador en una especie de tanque séptico.

Las estructuras de control hidráulico en el desarenador, implican el diseño de adecuadas áreas, transversales que permitan mantener una conveniente velocidad horizontal de desplazamiento de la masa de agua para lo cual se requiere idealmente, un valor constante de la relación caudal-área ( $Q/A$ ). Este efecto se logra mediante el empleo de controladores de flujo como el vertedero de flujo proporcional (sutor) o canales tipo Parshall. Específicamente en el caso San Juan, como controladores de flujo se han empleado estructuras de canales tipo Parshall.

La cámara de desarenadores son construídas de mediana profundidad, alargadas y capaces de remover partículas de gravedad específica de 2.65 y de diámetro mayores de 0.2 mm.

El tirante de agua en el canal está normalmente gobernado por el caudal que ingresa al complejo de las lagunas.

La remoción selectiva de materia inerte se hace muy complicada por las continuas fluctuaciones del caudal.

Los desarenadores se limpiaron cada semana y manualmente. La operación hidráulica de las cámaras de rejillas y desarenadores se indica en las vistas fotográficas de la Fig. No. 3

### 3.2.2. Conducción y Derivaciones - Afluentes

Esta parte comprende exclusivamente el flujo de aguas residuales crudas en los afluentes de las lagunas Primarias.

De modo que dentro del área de conducción, de aguas residuales crudas, una buena selección de estructuras hidráulicas, regulación de flujo y dispositivos de control hidráulico para medir caudales, constituyen actividades más importantes en el campo de la hidráulica aplicada, habiéndose desarrollado innumerables dispositi

vos y métodos de estimación de caudal. Es por esto que su conocimiento nos lleva a una adecuada selección de estructuras hidráulicas al inicio de estudio y la ventajosa aplicación de los dispositivos de control hidráulico (medición de caudal), durante el período de estudio.

### 3.2.2.1. Derivaciones y mecanismos reguladores de flujo

En el sistema de tratamiento de aguas residuales de extensión moderada, especialmente en los de tipo de laguna de estabilización con varias celdas, se hace necesario repartir las aguas equivalentemente a las áreas superficiales

Las lagunas de estabilización, al entrar en funcionamiento, toman un tiempo para alcanzar su estado de maduración y si las cargas aplicadas y las condiciones ambientales se mantienen más o menos uniformes, lograrán además su equilibrio en el medio ambiente.

Siendo la temperatura un parámetro variable no controlable y de variación lenta, es de esperar que el equilibrio sufra un desplazamiento amortiguado de acuerdo a las estaciones climáticas. Sin embargo, si a esto, se le suma la variación de las tasas de aplicación a causa de la modificación continua de gasto, prácticamente no se logrará en ningún momento el equilibrio y la laguna comenzará a operar deficientemente.



Fig. No. 2 REJAS USADAS EN LAGUNAS DE SAN JUAN

Por lo expuesto líneas arriba, se nota la importancia de diseñar sistemas repartidores y reguladores de flujo que permitan la aplicación diaria de cargas orgánicas casi constantes sin necesidad de la participación de los operadores.

Las estructuras reguladoras de flujo deben permitir distribuir los caudales proporcionalmente a las áreas de las lagunas. De este modo se garantiza que la carga orgánica total del día, llegada al sistema de tratamiento, se distribuye ponderadamente a cada celda.

Entre las estructuras repartidoras y reguladores de flujo que operan en San Juan y que cumplen con el principio mencionado mas arriba tenemos:

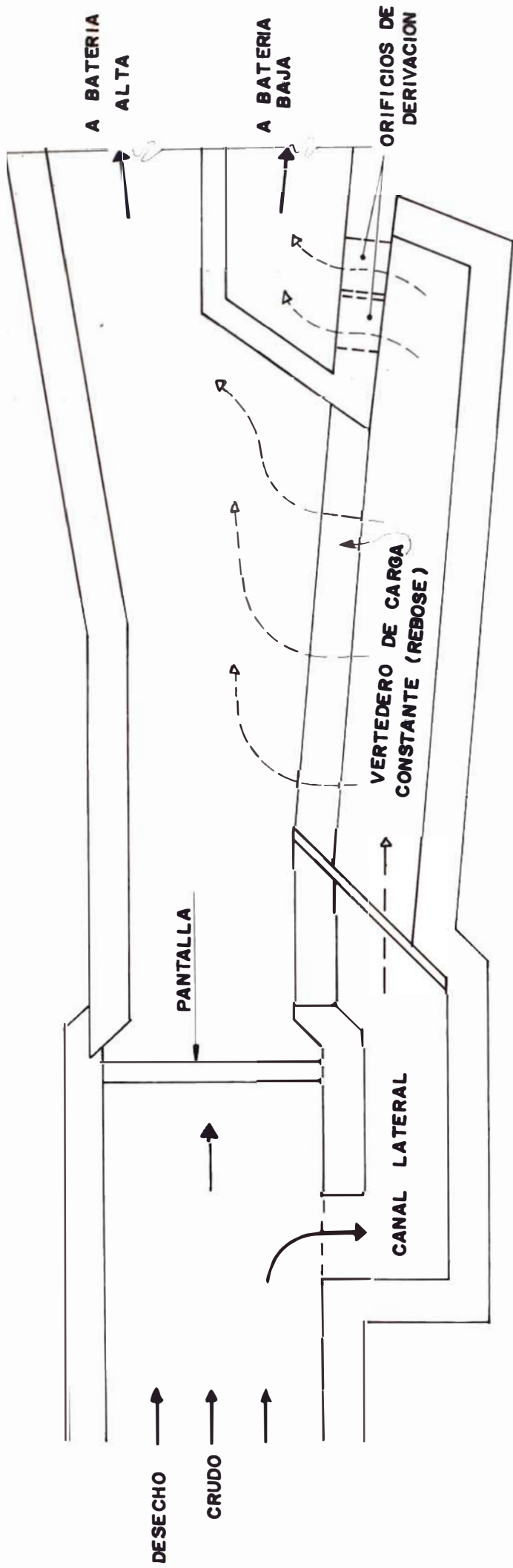
10. REGULADOR CON VERTEDERO LATERAL DE CARGA CONSTANTE CON ORIFICIOS.

Para la evaluación intensiva de lagunas a escala de campo es muy recomendable asegurar un flujo lo más uniforme posible por un período adecuado.

En instalaciones con celdas múltiples como la de San Juan de Miraflores para asegurar caudales constantes se han construido una estructura de regulación compuesta de un vertedero lateral con dos orificios circulares tal como se muestra en la Fig. No. 4. En teoría lo que se persigue es una carga constante sobre los orificios circulares, localizado bajo el vertedero lateral. Este vertedero lateral (rac



Fig. No. 3 CAMARA DE REJAS Y DESARENADORES USADOS EN LAGUNAS DE SAN JUAN



### PLANTA

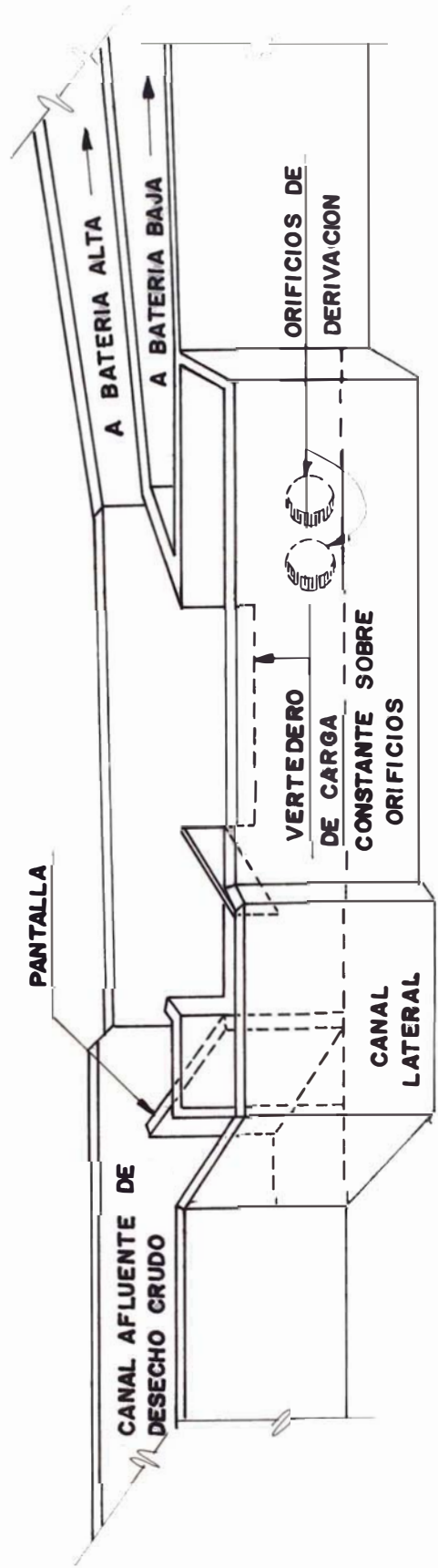
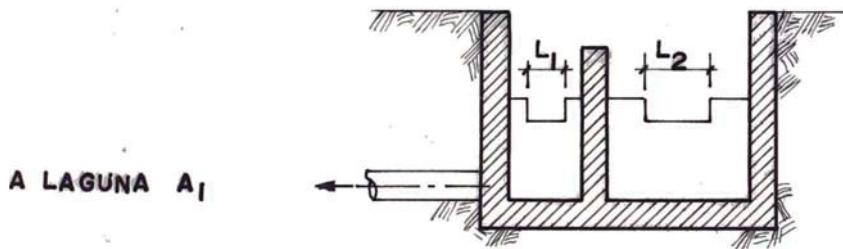
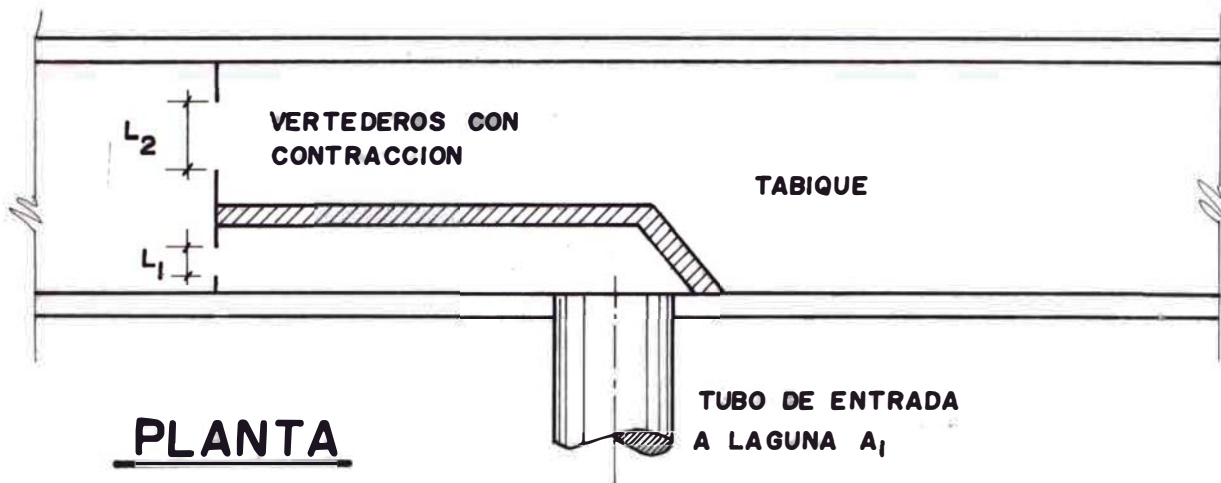
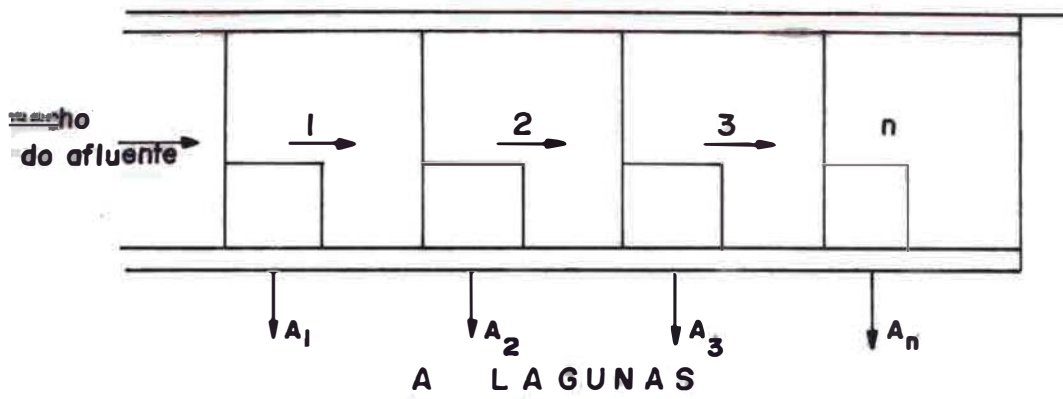


FIG. No. 4 ESTRUCTURAS DE REGULACION DE FLUJO



## CORTE TRANSVERSAL

Figura No 5 REPARTIDOR CON VERTEDEROS CON CONTRACCIONES



tangular) es suficientemente largo con la finalidad de reducir la altura de la napa de descarga durante horas de pico.

Esta estructura de regulación de flujo se encuentra ubicada a continuación de cámara de rejas y desarenador y antes del medidor PARSHALL ( ver Fig. No. 1)

## 2o. DERIVACION O REPARTIDOR CON VERTEDEROS CON CONTRACCIONES

La Fig. No. 5 muestra este segundo tipo de estructura hidráulica y su propósito de uso es auto explicativo para el caso de lagunas que funcionan en paralelos, osea son estructuras que reparten caudales para el ingreso a las lagunas primarias de la primera, segunda y tercera batería que trabajan en paralelo, tal como se observa en la vista fotográfica de la Fig. No. 6.

Esta estructura hidráulica consiste en colocar vertederos rectangulares de escotadura proporcional a las areas de las lagunas a servir.

Proporción de escotaduras del primer repartidor (punto 1)

$$\frac{L1}{L2} = \frac{A1}{\sum_{i=2}^n A} \dots\dots\dots (1)$$

; A<sub>i</sub> : entra a laguna A<sub>i</sub>

i=2

; A repartirse en demás lagunas

i=n



Fig. No. 6 REPARTIDOR DE FLUJO USADO EN LAGUNA DE SAN JUAN.

Proporción de escotadura en el punto (n - 1)

$$\frac{L_{n-1}}{L_n} \quad \frac{A_{n-1}}{A_n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

en donde:

A. = Area de la laguna

L = Longitud de escotadura

### 3.2.2.2. Red de Conducción

La red de conducción se refiere a las estructuras de canales abiertas instaladas para conducir líquidos crudos (desagüe crudo) a las diferentes lagunas para procesos de tratamiento.

#### CONCEPTOS GENERALES

Sabemos que los líquidos que fluyen por conductos libres (canales) están sujetas a presión atmosférica, por lo menos en un punto de su área Hidráulica. Generalmente, tales conductos presentan una superficie en contacto con el aire. Constituyen ejemplos de conductos libres: cursos naturales de agua, las alcantarillas, canaletas de desagüe pluvial, etc.

Los conductos libres pueden ser abiertos o cerrados, presentándose en la práctica una gran variedad de secciones.

La velocidad del líquido en los conductos libres (canales abiertos) varían, tanto transversal como longitudinal, tal como se indica en la Fig. No.7

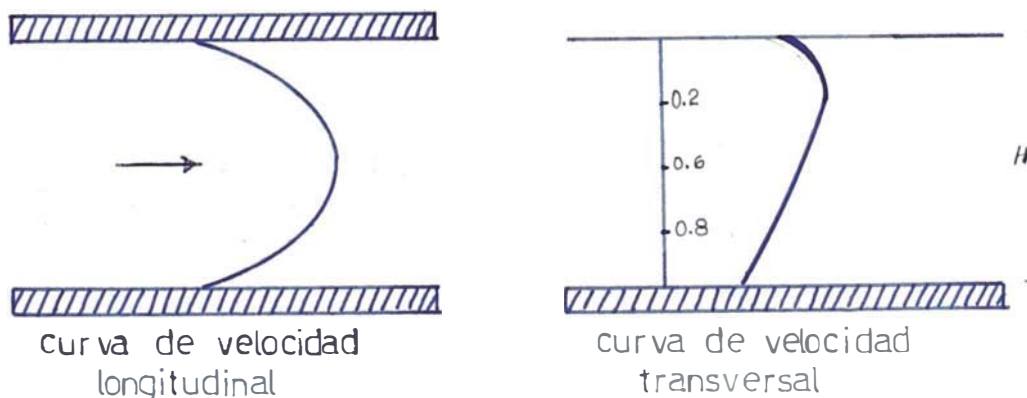


Fig. No. 7 CURVAS DE VELOCIDADES EN CANALES

El Servicio Geológico de los EE.UU. presenta las siguientes relaciones para estimación de la velocidad promedio y por consiguiente del caudal:

a)  $\bar{V}_{vert} \approx 80 \text{ ó } 90\% V_{sup}$ .

T A B L A No. 4

BATERIA No.	LAGUNA	NOMBRE DE LAS LAGUNAS
1o	P1 S1 T1	Laguna Primaria Laguna Secundaria Laguna Terciaria
2o	P2 S2 T2 C2	Laguna Primaria Laguna Secundaria Laguna Terciaria Laguna Cuaternaria
3o	P3 S3 T3	Laguna Primaria Laguna Secundaria Laguna Terciaria

La red para conducción de desagüe crudo se inicia en la cámara de reparto, donde el flujo se divide tanto para la zona alta y para la zona baja.

El sistema Hidráulico de la Red de conducción del proyecto de investigación está conformado de:

- Canaletas de sección rectangular de descargo. libre.
- Un medidor PARSHALL de descargo libre para control continuo de flujo.
- 2 medidores Palmer - Bowlus de descargo libre para control continuo de flujo situadas antes de las entradas a las lagunas primarias de las 3 baterías; que precisamente a través de estos medidores podemos conocer el caudal de ingreso a las lagunas primarias (Fig. No. 1)
- Las Cámaras divisoras están situadas en las entradas de las lagunas primarias y son de tipo standard como se muestra en la Fig. No. 5
- 9 Vertederos Triangulares de 90° y 1 medidor Palmer - Bowlus instaladas a las salidas de las lagunas primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias. La ubicación de los vertederos están indicadas en la Fig. No. 1

b) **Caso Particular:**

Para el caso particular del desarrollo de esta Tesis de Grado he considerado necesario y suficiente realizar un estudio completo del aspecto hidráulico de las lagunas de la primera batería (P1, S1, T1), porque la metodología y procedimiento para su evaluación son muy similares a las otras 2 baterías, variando simplemente en los resultados.

De modo que el sistema hidráulico de la primera Batería, incluido el medidor Parshall y el Medidor Palmer-Bowlus, está conformado de 3 vertederos instalados en las salidas de las lagunas primaria, secundaria y terciaria.

La Tabla No. 5 ofrece mayores informaciones de la primera batería.

T A B L A No. 5

TIPO DE VERTEDERO, AREA Y PROFUNDIDAD DE LAGUNAS

LAGUNA	TIPO DE VERTEDERO EN LA SALIDA	AREA Ha .	PROFUNDIDAD		
			Mín.	Máx.	Prom
P1	Triangular doble 90°	1.20	1.06	1.40	1.30
S1	Palmer - Bowlus	1.44	0.80	3.10	1.60
T1	Triangular 90°	1.49	0.95	1.80	1.30

La profundidad promedio ha sido calculado y colocada con la ayuda de varios perfiles.

El efluente de la laguna terciaria es conectada a canales abiertos que conducen aguas residuales domésticas tratadas y que son usadas para propósito de irrigación.

3.2.2.3. Selección Estructuras Hidráulicas:

En la evaluación intensiva del afluente a las lagunas primarias del complejo de las Lagunas de San Juan, se dió gran importancia a la Selección de los dispositivos hidráulicos para medir caudales de aguas residuales crudas y las estructuras de ingreso a las lagunas primarias.

## A.- SELECCION DE DISPOSITIVOS HIDRAULICOS PARA MEDIR CAUDALES

Sabemos que la medición de caudales constituye una de las actividades más importantes en el campo de la HIDRAULICA APLICADA. Por esta razón que su conocimiento nos lleva a una adecuada selección y ventajosa aplicación.

Sabemos que las aguas residuales crudas que poseen material fácilmente sedimentable tienden a depositarse en el fondo de los canales de conducción cuando decrece su velocidad tal como se indica en la Fig. No. 13. Para evitar inexactitud en la estimación de caudales, debido a la alteración de la geometría del fondo, se han preferido los dispositivos de medición de REGIMEN CRITICO, tales como MEDIDOR PARSHALL y el MEDIDOR PALMER - BOWLUS. Estos dispositivos tienen las características de poseer un simple estrangulamiento en la sección transversal (garganta) que permite el incremento de la velocidad en el área de medición de flujo, y por tanto, no están expuestos a interferencias en la estimación de caudal.

Por estas razones los medidores tipo REGIMEN CRITICO son ideales para ser utilizados en la estimación de caudales de aguas residuales crudas con alto contenido de sólidos sedimentables.<sup>7</sup>

Los medidores PARSHALL y PALMER - BOWLUS, son seleccionados para uso en desagües crudos, ya que tienden a ser sistemas auto-limpiadores y también operan con la menor pérdida de carga que los vertederos rectangulares.<sup>14</sup>

Específicamente la Selección de dispositivos hidráulicos para medir caudales en los afluentes, depende del rango de caudal a medirse y la pérdida de carga disponible. Osea para medir caudales de mayores rangos de flujo, se han decidido por los medidores PARSHALL y PALMER - BOWLUS, que han sido diseñados e instalados en el canal de conducción de desagüe crudo<sup>3</sup>.

Para que los medidores de Régimen Crítico operen satisfactoriamente, se necesita cumplir con determinados requisitos de tamaño que deben ser especificados en el proceso de diseño, construcción e instalación de los medidores.

## B.- ESTRUCTURA DE INGRESO A LAGUNA PRIMARIA

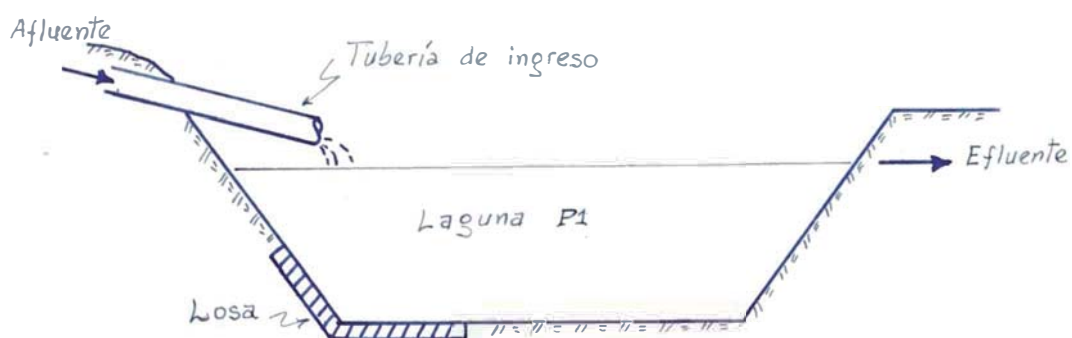
En la evaluación intensiva de lagunas en condiciones de campo, el investigador muy frecuentemente se ve en la necesidad de introducir reformas en el ingreso, interconexión y salida.

De acuerdo con recientes investigaciones, las lagunas de estabilización comunmente diseñadas, están sujetos a grandes corto circuitos, de modo que para minimizar este efecto y promover un funcionamiento más adecuado de la laguna, es necesario separar las estructuras de ingreso y salida lo mas lejos posible.

Las estructuras de entrada deben diseñarse y construir

se para permitir el ingreso y distribución eficiente de las aguas residuales a las lagunas.

En los casos en que las tuberías que hacen su ingreso a las lagunas deben protegerse contra la sedimentación y erosión (motivo por el cual sus bases deben reposar firmemente, sobre el suelo), a menudo se hace necesario instalar una pequeña losa de hormigón o piedra grande bajo la tubería de descarga proteger el lecho contra la erosión. Con este criterio se instaló la tubería de ingreso a la laguna P1 en las lagunas de San Juan tal como se muestra en la Fig. No. 8



**a) Vista de Corte Vertical**



**b) Vista Aérea del ingreso de crudo a P1.**

**Fig. No. 8 ESTRUCTURA DE INGRESO A LAGUNA PRIMARIA**

Si el lector desea conocer otras formas de ingreso, consultar las referencias 7.

Algunos autores indican que las descargas cerca al dique contribuyen a la aparición de malos olores y si estos a su vez son visibles, el material flotante será mas persistente en la superficie. Por esta razón, recomiendan que las salidas de las aguas se ubique lo mas lejos posible.

#### 3.2.2.4. Dispositivos de Control Hidráulico.

El objetivo de este capítulo es el estudio de los denominados MEDIDORES DE REGIMEN CRITICO que han sido seleccionados en el acápite 3.2.2.3., para medir aguas residuales crudas en forma continua que ingresan a las lagunas primarias.

La medición de caudal o descarga en conductos libres y particularmente en los canales abiertos, constituye una de las actividades mas importantes en el campo de la hidráulica aplicada, habiéndose desarrollado innumerables dispositivos y métodos de estimación de caudal.

En particular serán estudiados los medidores PARSHALL y PALMER - BOWLUS, dispositivos cuya aplicación se viene generalizando cada vez más. Estos dispositivos de control hidráulico han operado en la evaluación intensiva de las Lagunas de San Juan.

Como se ha advertido anteriormente, aquí no se pretende hacer los cálculos de diseño, sino el objetivo es evaluar la operación y adecuado funcionamiento hidráulico de los medidores PARSHALL y PALMER - BOWLUS que se ha llevado a cabo en el campo.

#### A.- MEDIDOR PARSHALL

El caudal o gasto ha sido determinado cuando la masa de agua residual cruda estuvo en condiciones de escurrimiento libre con tirante crítico en la cresta y salto hidráulico en la sección de salida.

##### a) Ventajas

Además de la facilidad con que pueden ser construídas, estos medidores presentan ventajas que tienen sus propias características hidráulicas:

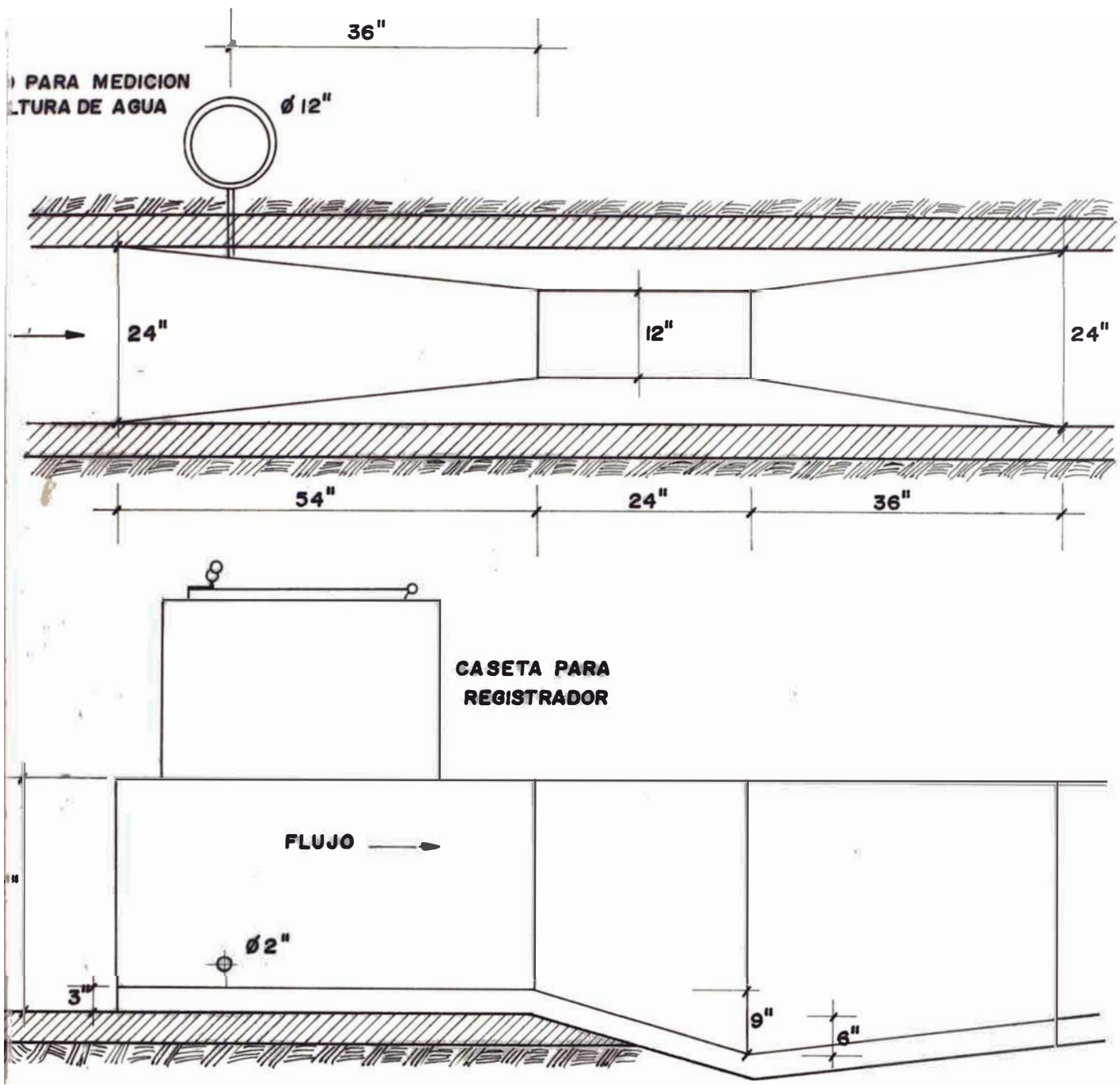
Una sola determinación de carga "H" es suficiente para determinar el caudal.

- Produce poca pérdida de carga hidráulica.

No hay obstáculos capaces de provocar la formación de dispositivos de materia sedimentable.

##### b) Dimensiones

El medidor Parshall, consiste en una sección con-



No. 9 MEDIDOR PARSHALL USADA EN LAGUNAS DE SAN JUAN LIMA



vergente, una sección de paredes verticales paralelas llamada garganta "W" y una sección divergente y un fondo con descenso y sobre elevación.

Los medidores Parshall son indicados nominalmente por el ancho de la garganta "W", así por ejemplo el Parshall que operó en las Lagunas de San Juan tiene una garganta igual a 12 pulgs., que es equivalente a 0.305m el ancho de la garganta concretamente se denomina como Parshall de 12".

Las dimensiones del medidor Parshall usadas en Lagunas de San Juan, se muestra en la Fig. No. 9

### c) Condiciones de descarga hidráulica

El flujo a través de un medidor Parshall puede realizarse de 2 maneras distintas.

- 1o. Flujo con descarga libre,
- 2o. Ahogamiento o sumersión.

En el caso de descarga libre es suficiente medir la carga "H" para determinar el caudal, tal como se ha indicado anteriormente.

En el caso de que el medidor es ahogado (Grado de Sumersión). El ahogamiento es causado por condiciones de aguas abajo, obstáculos existentes, falta de declive o niveles obligados en tramos o unidades subsecuentes. Este problema de ahogamiento no presenta el Parshall de San Juan.

Si se presenta el problema de ahogamiento, será necesario medirse también una segunda carga  $H_2$ , en un punto próximo a la sección final de la garganta, tal como se indica en la Fig, No. 10

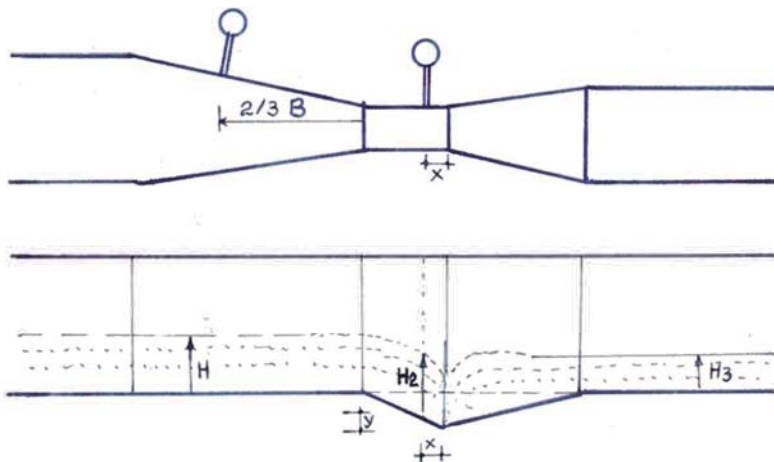


Fig. No. 10 PUNTOS DE MEDICION DE CARGAS EN EL MEDIDOR PARSHALL

La relación  $H_2$  se conoce como grado de sumersión.

$$\frac{H_2}{H}$$

La descarga será libre, cuando:

$$\frac{H_2}{H} \leq 0.60 \quad , \quad \text{para} \quad W < 0.300$$

$$H$$

$$\frac{H_2}{H} \leq 0.70 \quad , \quad \text{para} \quad 0.30\text{m} < W < 2.5 \text{ m}$$

La descarga será ahogada, cuando:

$$\frac{H_2}{H} \geq 0.95$$

De cualquier manera la sumergencia no debe exceder el límite práctico de 95%, pues valores mayores no conducen a una buena precisión. Como se ha indicado anteriormente, en el caso de ahogamiento será entonces necesario medir la altura  $H_2$  (carga) para calcular el caudal. La descarga real será inferior a la obtenida por la fórmula, siendo indispensable aplicar una corrección negativa.

La lectura  $H_2$  se mide a 2" aguas arriba de la parte final de la sección estrecha (garganta).

En la práctica, siempre que sea posible se tratará de tener la descarga libre, por el hecho de quedar restringido a una medición de carga única "H". De esta manera se ha operado en las Lagunas de San Juan de Miraflores.

#### d) Punto de Medición

Con la descarga libre, la medición de la carga "H", necesaria y suficiente para conocerse el caudal, se realiza a 2/3 del inicio de la garganta en la sección convergente (2/3 de B), tal como se muestra en la Fig. No. 10. En esta posición se ha construido o un pozo LATÉRAL DE MEDICION de sección circular de un diámetro igual a  $W + 0.15$  para evitar registros oscilatorios, e interconectado el nivel del desagüe del canal principal por medio de un tubo de  $\phi$  2".

Para  $W = 12"$  0.305 m, el diámetro del pozo Lateral de medición es igual a 0.46 m.

Sobre el Pozo Lateral de medición se puede medir directamente el tirante del desagüe por medio de una regla graduada y determinar valores discretos de caudales diarias o interdiarias.

Valores continuos de caudales se han obtenidos mediante un equipo llamado LIMNIGRAFO que es un registrador mecánico y que ha sido instalado sobre la poza lateral de medición tal como se muestra en la fotografía de la Fig. No. 11

## LIMNIGRAFO

Esta unidad mecánica (Registrador del nivel superficial del desagüe) trabaja en base a un flotador (boya), que se moviliza a la altura del nivel superficial del desagüe conectado a una polea que cuando gira acciona un cilindro que contiene un registro gráfico. Un reloj acciona una pluma que se mueve de izquierda a derecha a lo largo del cilindro produciendo un registro del cambio de nivel del líquido monitoreado. Los tiempos a registrarse varían de 0 a 48 horas (2 días). Los registradores están generalmente equipados a escala diferentes, en el caso particular de las lagunas de San Juan, el registrador estuvo graduado a escala de cada 30 min., de esta forma el nivel del líquido es leído directamente cada 30 minutos. Se entiende que estos registradores no son universales y que son usados para un flujo característico (régimen de tirante crítico). Estos equipos de medición, por lo tanto, deben de basarse en su diseño a las características del lugar y del líquido por monitorear.

Se ha construido caseta de concreto armado con puerta metálica sobre el pozo de medición con la finalidad de proteger y dar seguridad al Limnigrafo, tal como se muestra en la Fig, No. 9 y 11'

### e) Fórmula Para Procesamiento de Datos.

Como ecuación general para estimar el caudal en base al ancho de la garganta se utiliza.

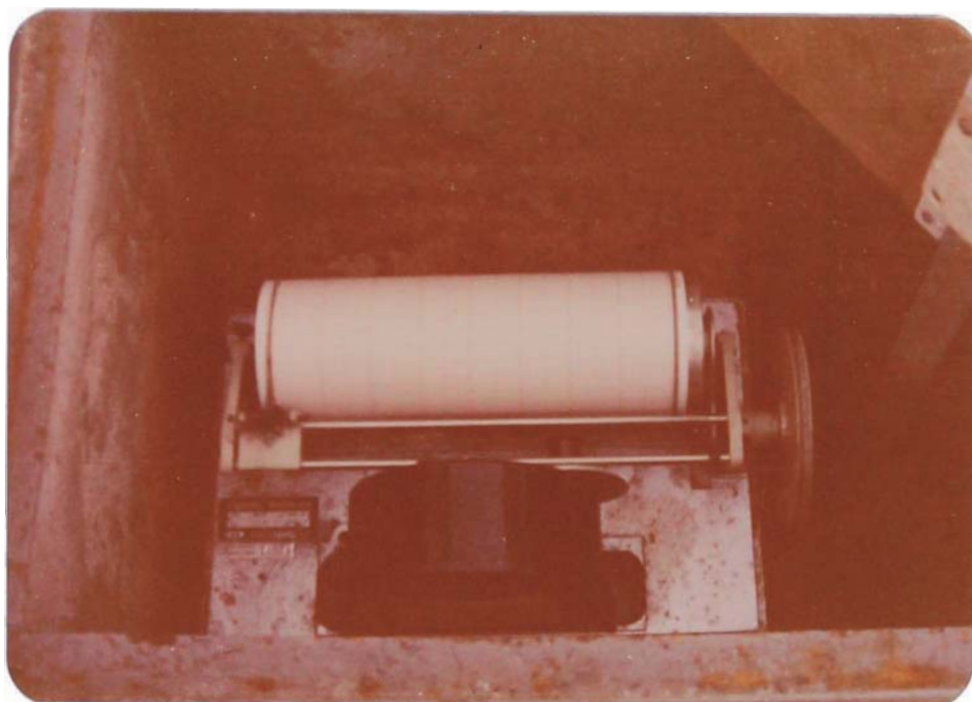
$$Q = 2.2 \ W \ H^{3/2} \dots\dots\dots (6)$$



Fig. No. 11 MEDIDOR PARSHALL QUE MUESTRA POZO LATERAL DE MEDICION - CASETA PAR<sup>A</sup> LIMNIGRAFO.



- a) Limnógrafo mostrando sus partes mecánicas de polea y cilindro, está siendo instalada en la caseta sobre la poza de medición.



- b) Limnógrafo perfectamente instalado en la caseta, mostrando hoja de papel a escala para el registro continuo de niveles de aguas residuales.

Fig. No.11' LIMNIGRAFO UTILIZADO EN LAS LAGUNAS DE SAN JUAN

donde:

Q: caudal, m<sup>3</sup>/seg.

W: ancho de la garganta, m.

H: carga Hidráulica, m.

El medidor Parshall usada en Lagunas de San Juan tiene  $W = 12" = 0.305m$ . Luego la Fórmula Teórica en sistema métrico decimal que se ha usado para procesar los datos es:

$$Q = 0.690 H^{1.522} \dots\dots\dots ( 7 )$$

## B.- MEDIDOR PALMER - BOWLUS

Este tipo de medidor está constituido por elevaciones del fondo de piso de contracciones del canal conductor de aguas residuales de fácil construcción, lo cual le da una gran ventaja sobre el medidor Parshall. Esas condiciones de contracción y elevaciones del fondo hacen necesario que el flujo salga de la garganta con velocidades supercríticas<sup>15</sup>

La longitud de la sobre elevación es aproximadamente igual al ancho del canal.<sup>15</sup>

El medidor PALMER - BOWLUS que ha operado en las Lagunas de San Juan, son de sección rectangular, para el cual se ha desarrollado las fórmulas, que indicara más adelante

### a) Ventajas

La mayor ventaja del medidor PALMER - BOWLUS es la habilidad de desarrollar una curva de apreciación de flujo usando la aplicación de principios hidráulicos. Por medio de uso de la ecuación de Bernoulli, entre la energía en la garganta del canal.<sup>15</sup>

El diseñador puede preparar una curva de apreciación de flujo (curva de coeficiente de flujo C) para cualquier tipo de sección de garganta y puede diseñar un medidor que se ajuste a cualquier conjunto de condiciones de flujo. La curva de apreciación es desarrollado tomando varias profundidades críticas en la garganta, computando la velocidad de flujo, cantidad y energía total en la garganta y después de terminado la profundidad y velocidad en la sección corriente arriba en la sección corriente arriba que produce la misma energía total para cada conjunto de datos.

### b) Condición de Flujo

Los medidores PALMER - BOWLUS siempre han operado en condiciones de escurrimiento libre (descarga libre) con tirante crítico en la cresta. De tal manera que para determinar el caudal es suficiente con medir la carga única H.

### c) Dimensiones

En general, el diseñador del medidor PALMER - BOWLUS puede hacer para cualquier tipo de sección de garganta tal como se muestra en la Fig. No. del apéndice.

Particularmente el medidor PALMER - BOWLUS que ha operado en el afluente de las Lagunas de San Juan son de sección rectangular la garganta, cuyas dimensiones son tal como se muestra en la Fig. No. 12

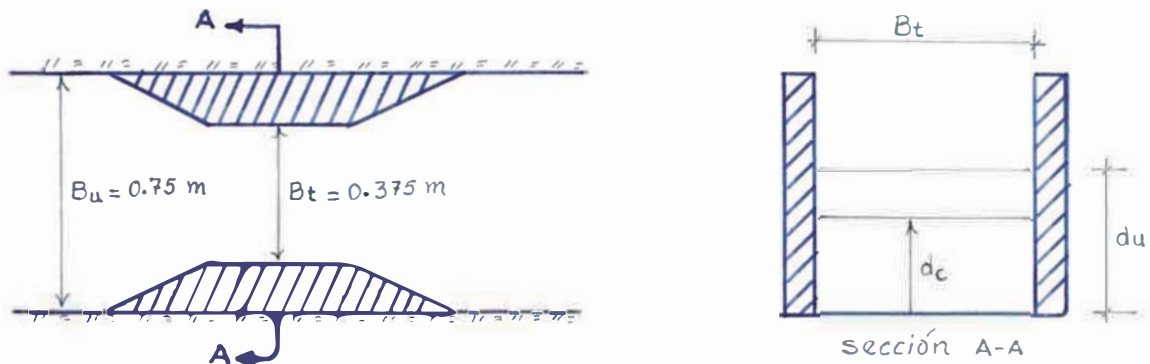


Fig. No. 12 SECCION DE LA GARGANTA DEL MEDIDOR PALMER - BOWLUS USADA EN LAGUNA DE SAN JUAN!

### d) Punto de Medición

La determinación del tirante de agua se realiza por intermedio de un pozo de observación ubicada aguas arriba a una distancia mínimo de 0.95 veces el ancho del canal y conectada con éste a través de un tubo de  $\varnothing 2''$ .

El pozo de observación es amplia que permite el desplazamiento holgado de la boya de medición y la adecuada instalación y lectura del LIMNIGRAFO, como también podría ser otro equipo.

Se instaló una caseta de concreto armado sobre el pozo de observación, la cual debe ser amplia y ventilada para alojar, operar y mantener en perfecto estado el equipo del Limnigrafo, tal como se muestra en la Fig. No. 13 .

Funcionamiento del LIMNIGRAFO es muy similar al explicado para el caso del medidor Parshall.

### e) Fórmula para Cálculo de Caudales

El análisis de la fórmula general para procesamiento de datos y calcular caudales continuos que ingresan a las lagunas primarias, parte de la fórmula general que está dado por:

$$Q = C B_t (du - t)^{3/2} \dots\dots\dots (8)$$

en donde

Q: caudal de agua residual cruda, m<sup>3</sup>/seg.

B : Ancho de la sección de garganta rectangular, m.

C: Coeficiente de flujo.

du: Tirante o carga hidráulica, m

t: Elevación del fondo de garganta (cuello), m

Como t es muy pequeña comparada a du, tenemos que:

$$Q = C B_t (du)^{3/2} \dots\dots\dots (9)$$

Según Nomograma<sup>15</sup> de la Fig. No. 14, observamos que:

$$C = f (R, t)$$

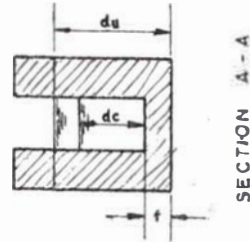
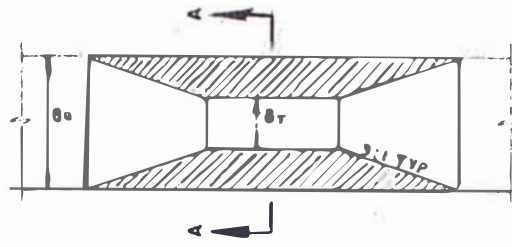
en donde  $R = \frac{Bu}{B_t} \dots\dots\dots (10)$

Además el nomograma presenta coeficiente de flujo para un rango de valores de R desde 2.00 hasta 4.00 y para valores de t de 0, 0.005 y 0.10 m.



Fig. No. 13 MEDIDOR PALMER - BOWLUS CON SU CASETA PARA LIMNIGRAFO. USADO EN LAGUNAS DE SAN JUAN.

$$Q = CB_t (d_u - t)^{3/2}$$



$$Q = CB_t (d_u - t)^{3/2}$$

BUE ( 0.5, 1.5 m )  
 due ( 0, 1.0 m )

Para convertir coeficiente "C" a unidades inglesas ( ft y cfs ) multiplique valores por 1.811

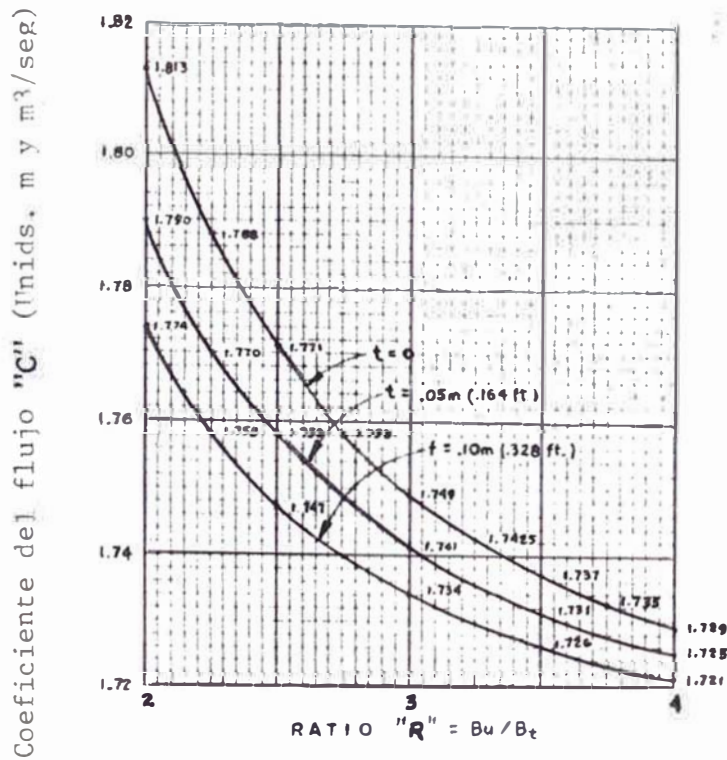


Fig. N° 14 Coeficiente de flujo para canales Palmer-Bowlus con garganta rectangular en conductos rectangulares.



Reemplazando valores indicados en la Fig. No. 12 en la ecuación 10 tendremos que:

$$R = \frac{0.75}{0.375} = 2.0$$

De Nomograma<sup>15</sup> con  $R = 2.0$ , obtenemos que  $C = 1.813$

Reemplazando valores en la fórmula 9 tendremos que:

$$Q = 1.813 \times 0.375 \times du^{3/2}$$

$$Q = 0.680 du^{3/2}$$

Haciendo  $du = H$

$$\therefore Q = 0.680 H^{1.50} \dots\dots\dots (11)$$

Por tanto, la ecuación (11) es la fórmula teórica que se ha utilizado sobre todo para evaluar la calibración del medidor Palmer Bowlus.

### 3.2.3. Efluentes.

En los efluentes de las lagunas P1, S1 y T1, desde punto de vista hidráulico se harán referencias correspondientes a las estructuras para medir caudales y para tomar muestras de aguas residuales.

Una buena selección de dispositivos de control hidráulico, una buena ubicación e instalación de estructuras hidráulicas y un buen mantenimiento, durante el período de estudio, facilitará su operación con alta eficiencia hidráulica y así obtener resultados y conclusiones reales de un buen funcionamiento de las lagunas.

#### 3.2.3.1. Consideraciones Generales

- a) El control de los dispositivos hidráulicos y la medición de caudales en las alidas de las lagunas son de gran importancia para la evaluación del balance hidráulico de las lagunas:
  - En el efluente de la laguna P1, Al inicio del estudio operó 2 vertederos rectangulares, posteriormente se cambiaron por 2 vertederos triangulares de 90° (Fig. No. 17) que facilita mayor precisión en la medición de carga hidráulica

- En el efluente de la laguna S1; se instalaron una poza conec-  
tada a un medidor Palmer - Boult (Fig. No. 19) que a su vez  
funciona como estructura de interconexión con la laguna T1.  
El limnógrafo instalado sobre la poza registró las cargas hi-  
dráulicas cada media hora, obteniéndose así valores continuos  
de caudales.
- En el efluentes de la laguna T1, también, se cambió el verte-  
dero rectangular por vertedero triangular de 90°, pero tra-  
bajó en forma ahogada por ello que no pudo medirse la carga  
hidráulica.

La medición de cargas hidráulicas sobre los vertederos triangu-  
lares de 90° de las lagunas P1 y T1 se hicieron diarios.

- b) En los efluentes de las lagunas P1, S1 y T1 se construyeron  
casetas de concreto armado para la instalación de muestreo  
res automáticos y simples. Las muestras eran tomadas cada  
60 min. (una hora), sobre todo para la evaluación intensiva  
de las pruebas de trazadores, se tomó muestras hasta 90 ó  
100 horas consecutivas.
- c) El mantenimiento de una buena operación de las estructuras de  
salidas se llevó a cabo diario o interdiario, de esta forma  
evitar posibles obstrucciones que originaría valores equivo-  
cados sobre todo en la medición de caudales.

### 3.2.3.2. Selección de Estructuras Hidráulicas.

En el efluente de las lagunas se han tenido mucho  
cuidado en seleccionar las estructuras tanto para me-  
dir caudales como para estructuras que conducen aguas  
residuales relativamente limpias de la salida de las  
lagunas o estructuras de interconexión.

#### A.- SELECCION DE DISPOSITIVOS HIDRAULICOS PARA MEDIR CAUDALES

Como se ha indicado, que la selección de dis-  
positivos hidráulicos para medir caudales depende  
del rango de caudal a medirse y la pérdida de car-  
ga disponible.

Como en los efluentes de las lagunas discu-  
rren pequeños flujos de aguas residuales trata-  
das (relativamente limpias), se han adoptado por  
los VERTEDEROS que son utilizados, intensiva y  
satisfactoriamente<sup>17</sup> en la medición de caudales  
pequeños. Razón por la cual el estudio y selec-  
ción de los vertederos es de gran importancia.

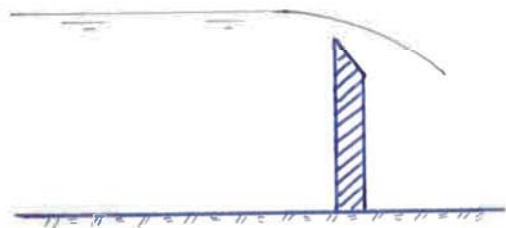
La selección de vertederos depende de la e-  
xactitud de medida que puede lograrse en la estima-  
ción de caudales de aguas residuales tratadas en  
el efluente de la laguna. Los vertederos por los  
cuales pueden decidirse, fundamentalmente son los  
vertederos rectangulares o vertederos triangula-  
res.

La Compañía FOXBORD<sup>14</sup> preparó gráficos que pueden ser usados en la selección del tamaño y tipo de vertederos o rectangulares o triangulares para medir caudales pequeños que fluyen en los efluentes de las lagunas. Este gráfico se muestra en la Fig. No. 16.

Además según referencia 18, sabemos que para aforar caudales menores de 30 lps. deben de preferirse los VERTEDEROS TRIANGULARES. El rango de variación de medición de caudal es de 13 lps a 25 lps.

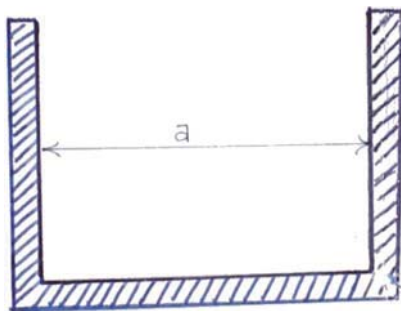
De acuerdo a los criterios indicados anteriormente y como el aforo de caudales en el campo fueron menores que 25 lps, se decidió instalar VERTEDEROS TRIANGULARES 90° en los efluentes (salida) de las lagunas P1 y Ti. Otras razones para esta decisión son:

10. Desde el inicio de la prueba en Noviembre de 1981, se instalaron vertederos Rectangulares en los efluentes de las lagunas. Estos vertederos fueron construídos de asbesto cemento, dándosele a los bordes un ovalado en cuchillo, tal como se muestra a continuación:



Este esquema pronto demostró no ser útil, dado que los bordes se deterioraron rápidamente. Se procedió colocar una lámina de aluminio en los bordes húmedos del vertedero.

Las características de estos vertederos rectangulares que operaron inicialmente fueron las siguientes:



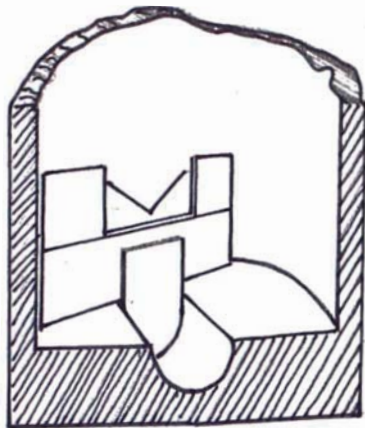
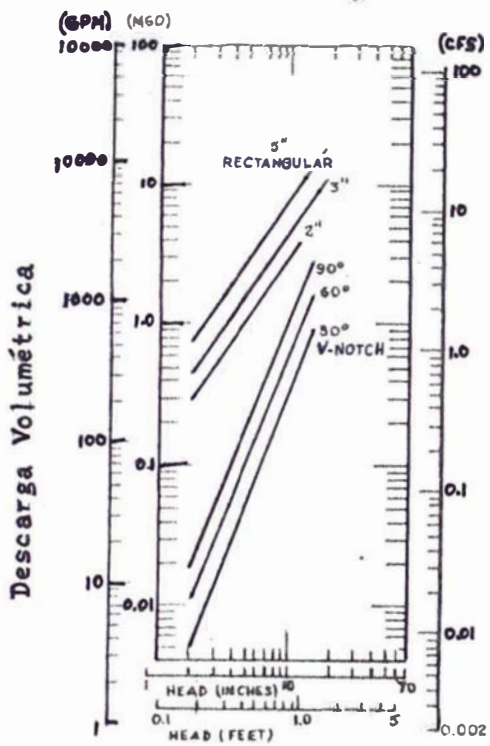


Fig. N°15 Vertedero Triangular 90° para medir flujo de buzones.



Carga  
Fig. N°16 Gráfica para obtener el tamaño y tipo de vertedero.

LAGUNA	ANCHO "a" cm.	FORMULA TEORICA	CALIBRADO
P1	2x30 cm	$1.103 H^{1.5}$	$0.897 H^{1.657}$
T1	40 cm	$0.735 H^{1.5}$	$1.140 H^{1.229}$

donde observamos que el factor de correlación "r" son de 89% para la laguna P1 y de 114%, para la laguna T1. Estos valores del parámetro (factor de correlación), nos están indicando que los datos de caudales no son consistentes; o sea los valores de caudales calculado se disparaban considerablemente de los valores reales.

2o. En los efluentes (salidas) de las lagunas, el flujo de aguas residuales son relativamente lentos, y para esto los vertederos son generalmente del tipo triangular 90°. Para flujos más rápidos, los vertederos rectangulares podrían ser más efectivos y precisos.

3o. Tal como se ha indicado anteriormente, en todos los casos, los caudales medidos eran menores que 30 lps., que es lo mínimo recomendable para vertederos rectangulares. Rango a partir del cual se entra en inexactitud.<sup>18</sup>

Por todas estas razones se decidió el cambio de vertederos rectangulares por vertederos triangulares 90° de f° g° y calibrados en sitio.

El cambio de vertedero Rectangular por vertedero Triangular 90° se produce entre el 20 y el 30 de Junio de 1981. Por tanto, los Vertederos Triangulares de 90° operaron hasta el final del estudio de evaluación de las lagunas de San Juan de Miraflores.

Se decidió instalar el medidor PALMER - BOWLUS para medir caudales continuos de salida en el efluente de la laguna S1, debido a problemas topográficos. Es decir las cotas topográficas, del fondo tanto de las lagunas S1 y T1 se diferencian solo en 1.04 m., de modo que se ha querido ganar carga hidráulica con mínima pérdida de carga. Como se ha estudiado anteriormente con el medidor Palmer - Bowlus se obtiene muy poca pérdida de carga.

## B.- ESTRUCTURAS HIDRAULICAS DE SALIDA O DE INTERCONEXION

Existen varios modelos de estructuras de salida, cada uno con determinadas ventajas y complicaciones constructivas. Sin embargo en líneas generales, las estructuras deben ser concebidas para permitir la variación periódica del nivel de aguas y por consiguiente el control de los insectos.

La estructura de salida tiene que estar ubicado lo más lejos posible de la estructura de ingreso, para evitar grandes cortocircuitos. De modo que para minimizar este efecto y promover un funcionamiento más adecuado, para el estudio de

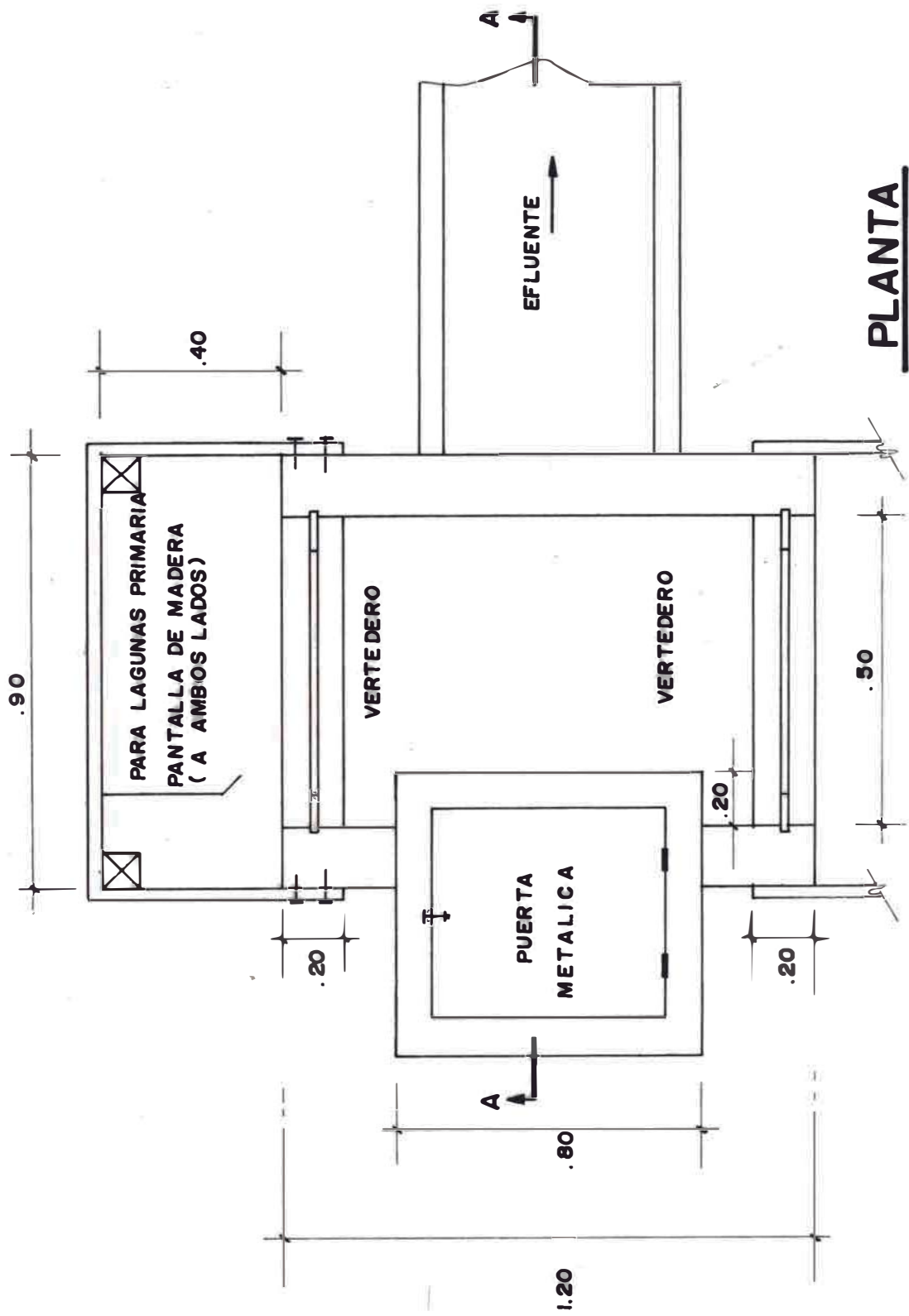
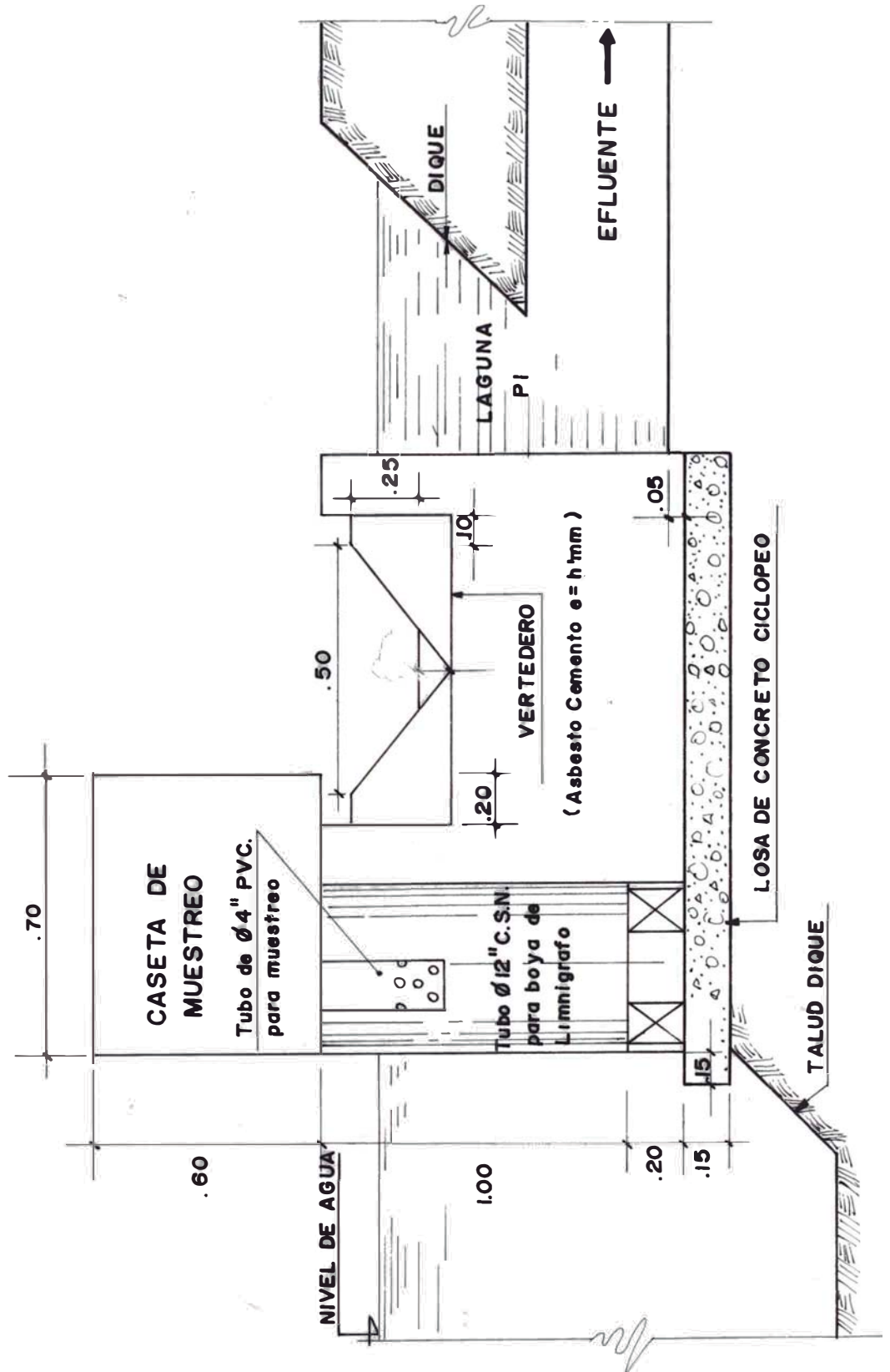


FIG. No.17 ESTRUCTURA SIMPLIFICADA DE SALIDA DE LAGUNA P I CON DOS VERTEDEROS TRIANGULARES

# SECCION A-A



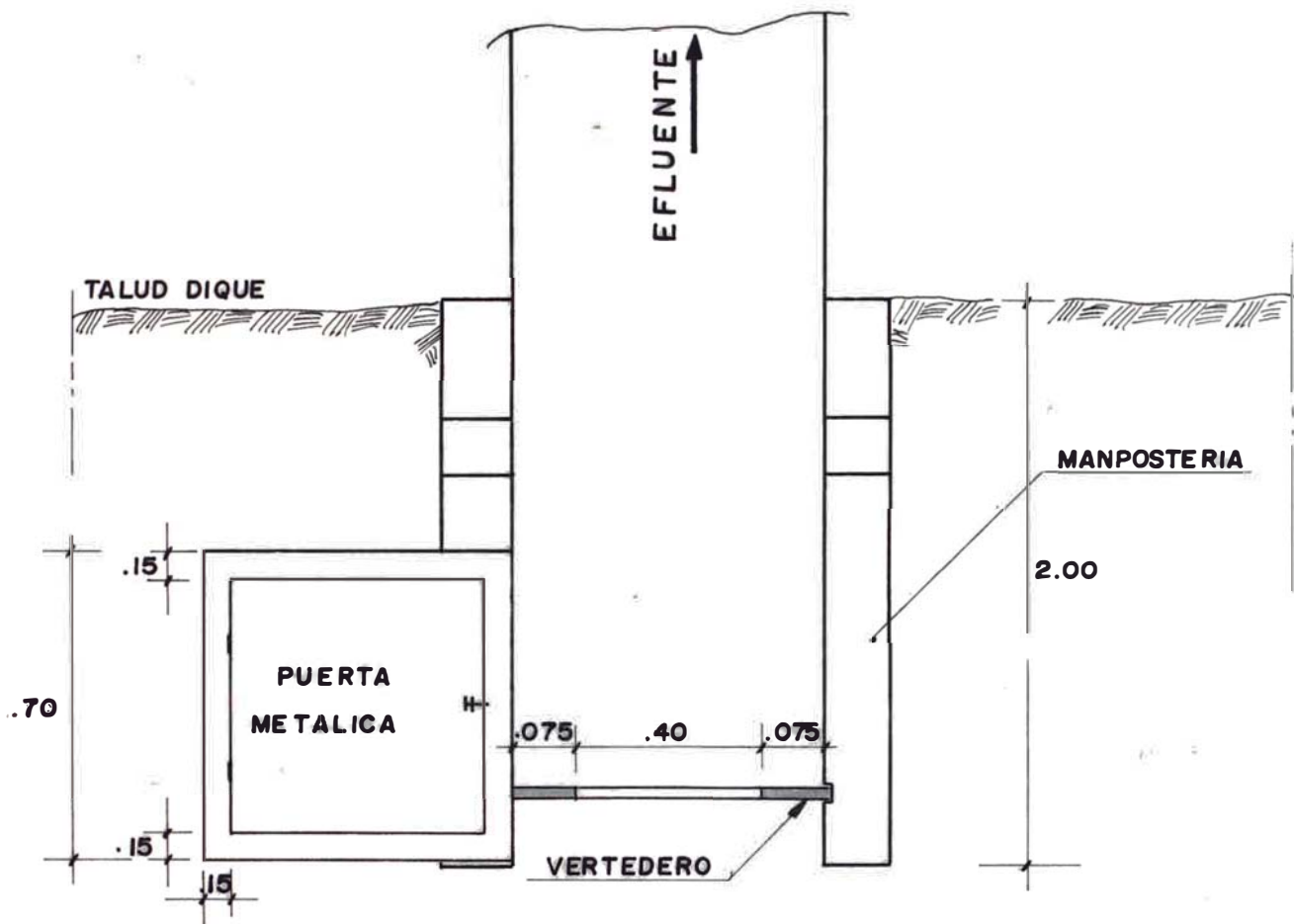
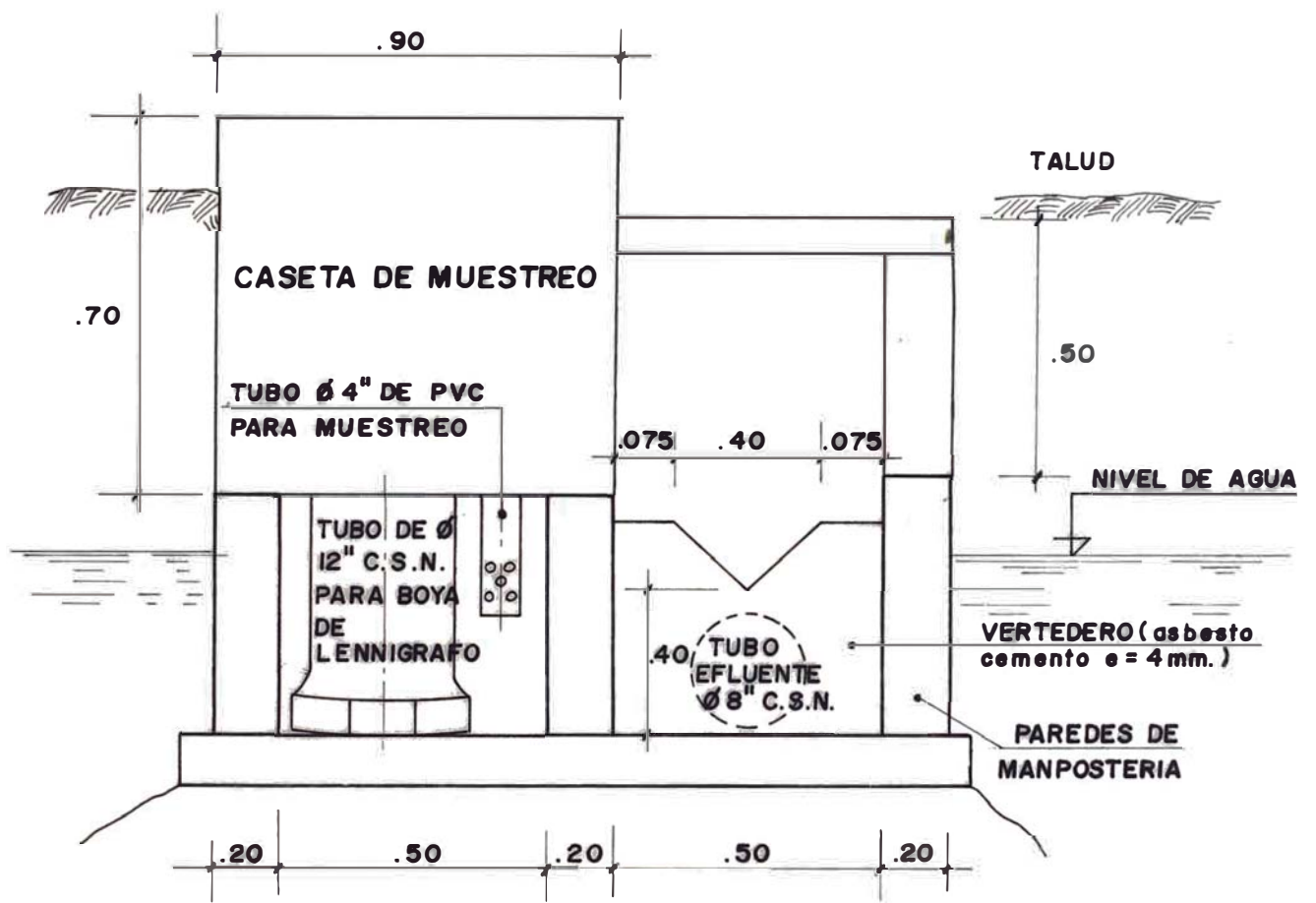


Figura No.18 ESTRUCTURA SIMPLIFICADA DE SALIDA DE LAGUNA TI CON UN VERTEDERO TRIANGULAR





**VISTA FRONTAL**

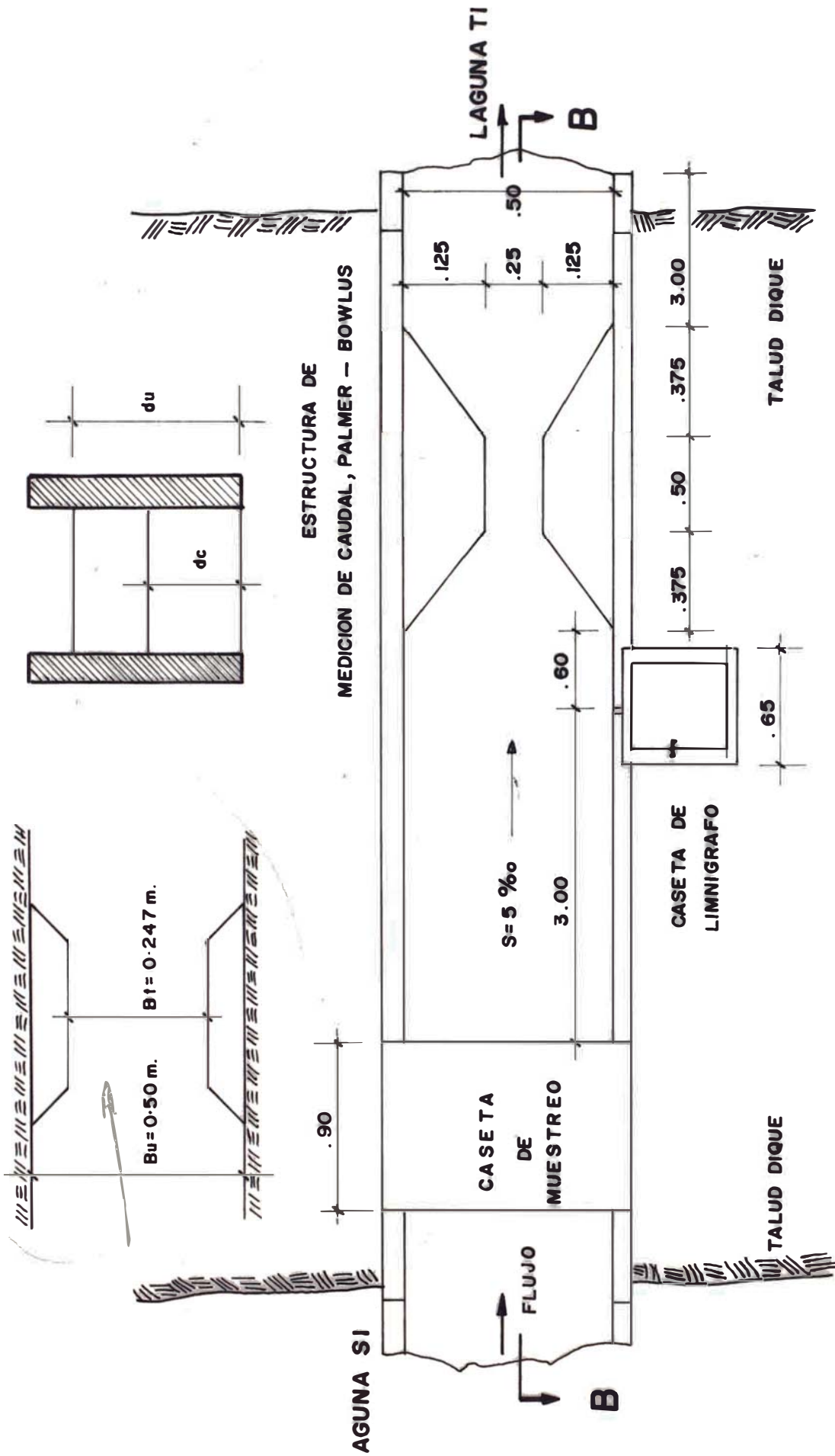
**ESTRUCTURAS HIDRAULICAS DE SALIDA DE LAS LAGUNAS P1 y T1.**

**Fig. No. 17'** Vertedero Triangular Doble  $90^{\circ}$  y Caseta para muestreo en el efluente de la laguna P1.



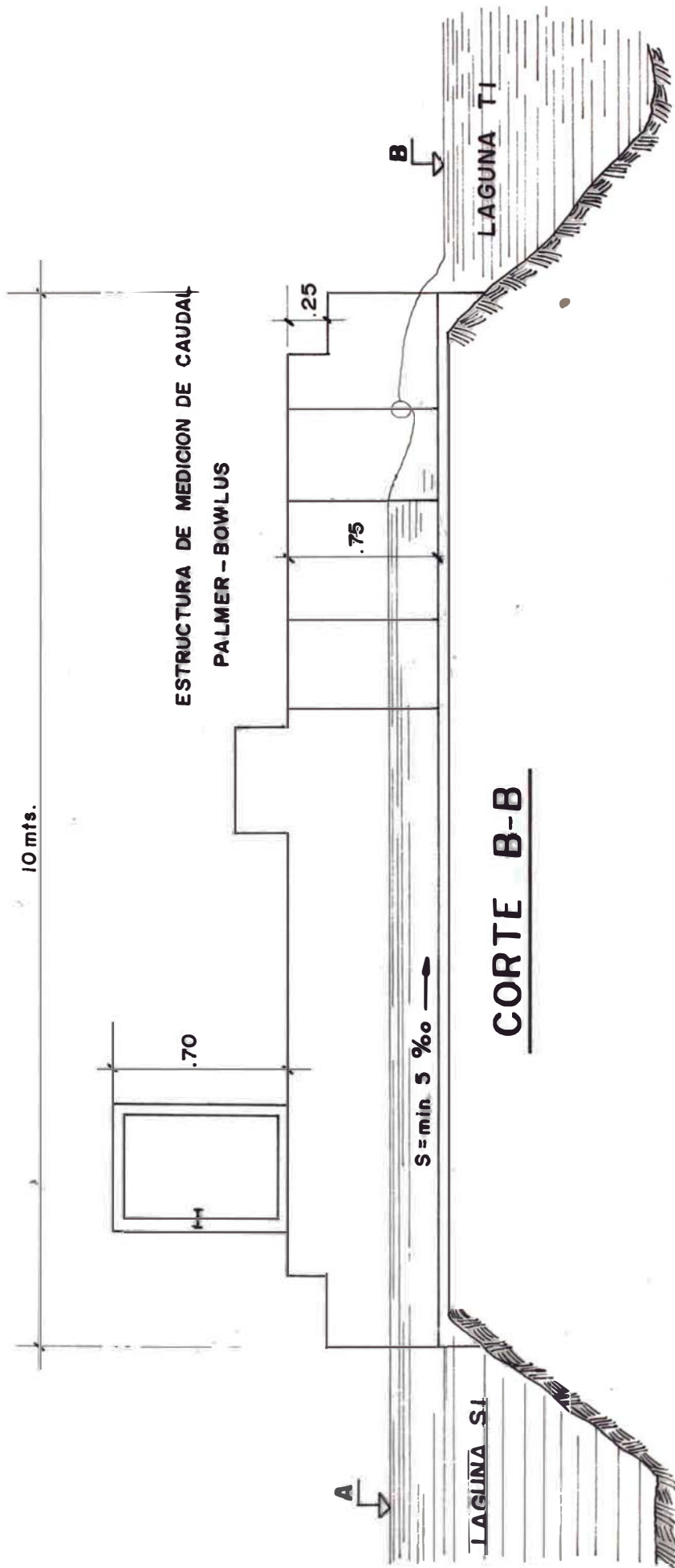
**Fig. No. 18'** Vertedero Triangular  $90^{\circ}$  y caseta para muestreo en el efluente de la laguna T1.

**NOTA.** Tal como se observa, el vertedero operó medio ahogado.



# PLANTA

FIG. No. 19 ESTRUCTURA DE INTERCONEXION Y MEDICION DE CAUDAL PARA MINIMA PERDIDA DE CARGA



## ESTRUCTURAS HIDRAULICAS DE SALIDA E INTERCONEXION DE LA LAGUNA SO

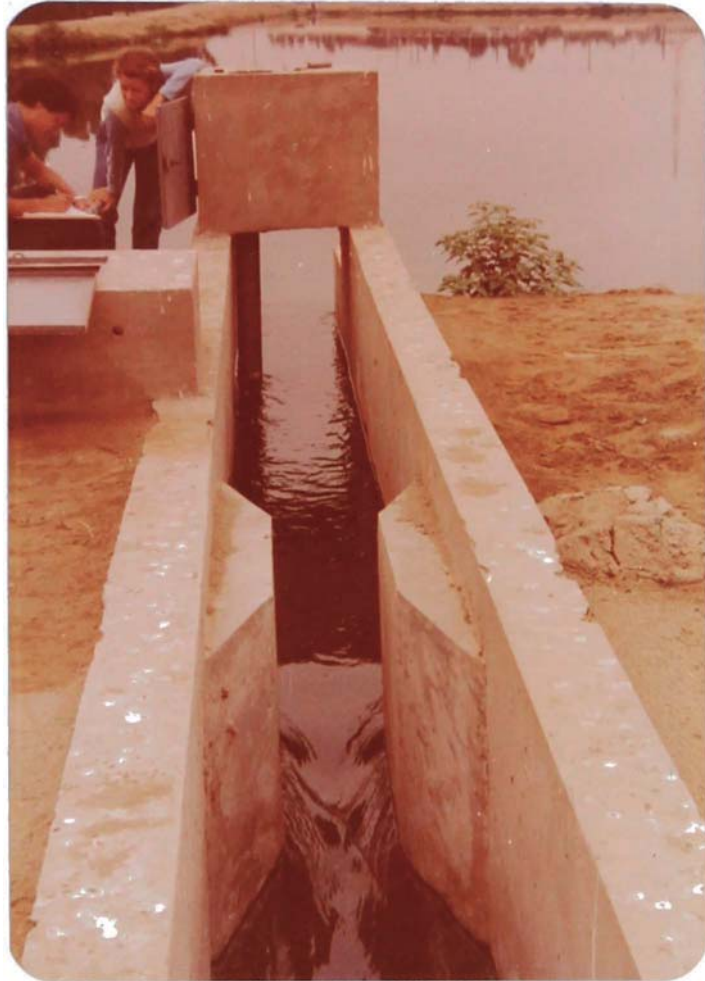


Fig. Nol 19'-a Medidor Palmer - Bowls con su caseta para Limnógrafo y caseta para el tere



Fig. No. 19' -b Canal del Medidor Palmer-Bowls que interconecta a la laguna T1.

San Juan se ha diseñado tres tipos de estructuras simpoes de salida. La Fig. No. 17, presenta una estructura de salida con 2 vertederos triangulares  $90^\circ$  instaladas en el efluente de la laguna P1. La Fig. No. 18 presenta una estructura de salida con un solo vertedero triangular  $90^\circ$  instalada en el efluente de la laguna T1. Mas adelante cuando me refiero de dispositivos hidráulicos haré mayores detalles, porque estos dispositivos cumplen 2 funciones: De estructuras de salida y de medición de caudal.

Las estructuras de salida generalmente están interconectados con un canal abierto que conducen aguas residuales a la laguna siguiente.

También como estructura de salida e interconexión de lagunas donde no se dispone de mucha altura, se ha diseñado una estructura compuesta de un canal con medidor PALMER - BOWLUS, lo cual permite interconexiones de lagunas con mínimas pérdidas de carga. Precisamente este tipo de estructura se ha instalado en el efluente de la laguna S1 del complejo de lagunas de San Juan, tal como se muestra en la Fig. No. 19

La estructura de salida de la laguna T1 está interconectada al canal que conduce las aguas residuales tratadas (limpias) para reuso final, tal como se muestra en la Fig. No. 20.

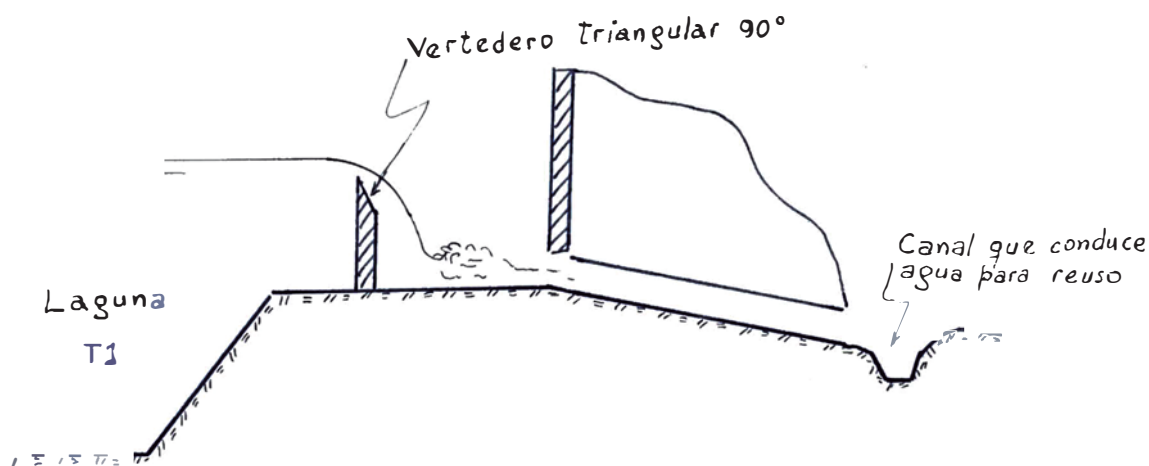


Fig. No. 20 ESTRUCTURA DE SALIDA CON VERTEDERO TRIANGULAR  $90^\circ$ -T1

Esta forma de salida facilita mucho la determinación directa del caudal en la misma salida de la laguna.

### 3.2.3.3. Dispositivos de Control Hidráulico

En este capítulo se va a estudiar el VERTEDERO TRIANGULAR 90°, que ha sido seleccionado en la sección 3.2.3.2. Este vertedero ha sido seleccionado para medir caudales de aguas residuales relativamente limpias que salen de las lagunas P1 y T1.

Así mismo se agregará algunas especificaciones acerca del medidor Palmer - Bowls que operó para medir caudales continuos en la salida de la laguna S1.

#### A.- VERTEDERO TRIANGULAR 90°

Este dispositivo de control hidráulico está diseñado para medir caudales de salida de la laguna en forma discreta que puede ser diario o interdiario. Como se ha indicado en el acápite 3.2.3.2., este dispositivo se ha seleccionado dependiendo del rango caudal a medirse.

Los vertederos triangulares son considerados a menudo como los dispositivos más baratos y simples de construir e instalar en un buzón, tal como se indica en Fig. No. 15, o en el efluente de una laguna<sup>14</sup>. Además este tipo de vertederos hace posible una mayor precisión en la medida de la carga correspondiente al flujo de caudales pequeños (menores de 30 lps)

##### a) Desventaja

- La mayor desventaja de los vertederos triangulares es que trapos, pelos y papeles tienden a ser retenidos en los bordes, especialmente durante flujos lentos con mayor frecuencia en el efluente de la laguna P1. Esta dificultad es minimizada si las crestas se hacen redondeadas.
- Sobre la abertura en V y corriente arriba acumula residuos, modificando progresivamente la velocidad de acercamiento.

Con las visitas e inspección diaria o interdiaria que se hizo a las lagunas se procuró dar un buen mantenimiento para un adecuado funcionamiento hidráulico de los vertederos.

##### b) Dimensiones e instalación

Como se ha indicado anteriormente, los vertederos triangulares son dispositivos más baratos y fáciles de construir e instalar. La construcción se hizo de una lámina de 1/8 pulg. de grosor del material de aluminio, que también se podría haber utilizado material de plástico delgado o de lámina de acero inoxidable.

Se tuvo mucho cuidado al determinar las dimensiones para evitar error de medición de caudales. Dentro de los rangos de trabajos normales de caudales entre 15 y 30 lps. y para cargas "H" de 8 cm., a 15 cm., con error inferior a 5 mm., un porcentaje de error en caudal es menos de 5% a 6%, tal como indica en la referencia 18.

Las dimensiones de la lámina de aluminio del vertedero Triangular  $90^\circ$  que fueron instalados en el efluente de P1 y se muestran en la Fig. No. 21.

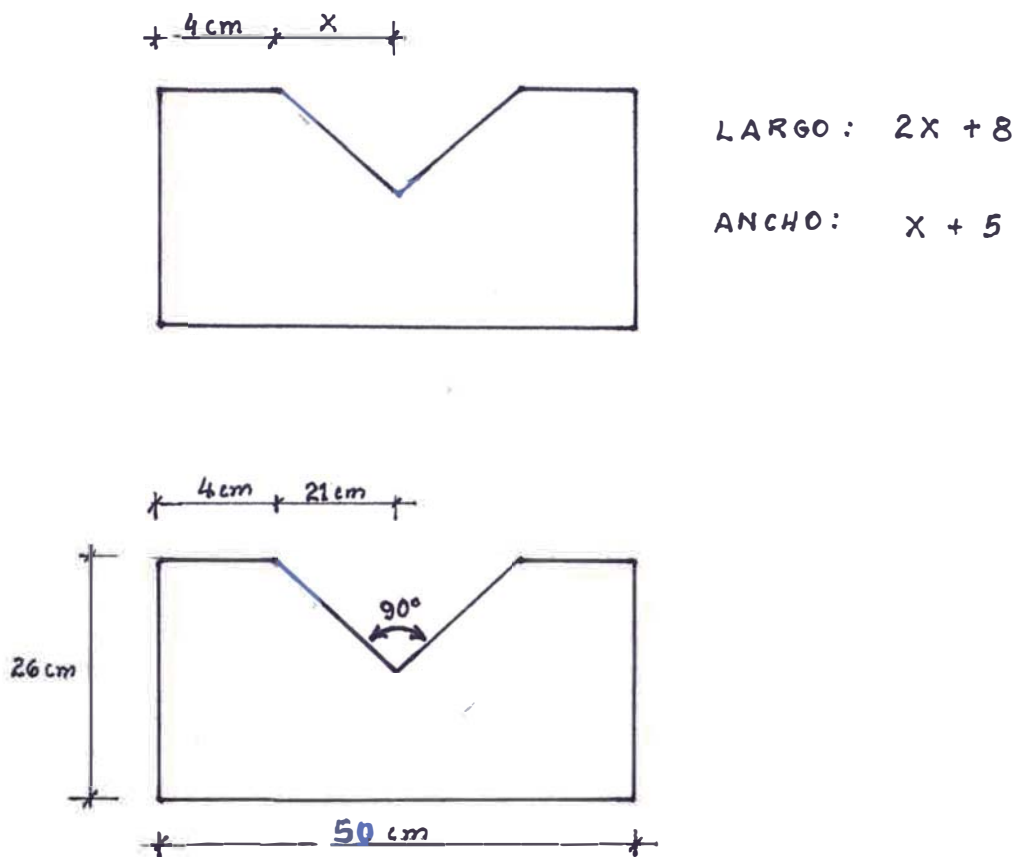


Fig. No. 21 Dimensiones de la lámina de aluminio para el Vertedero Triangular  $90^\circ$  instalada en el efluente de la laguna P1.

Las estructuras hidráulicas desalida de las lagunas P1 y T1 ambas tienen facilidades para muestreo y medición de carga hidráulica, tal como se indican en las Figs. 17, 17', 18 y 18'. Para las facilidades de muestreo que están sujetas a variaciones horarias, se instalaron muestreadores automáticos protegidos por una caseta de concreto. De los disponibles en el mercado, muestreadores accionado a cuerda, es la más práctica y barata.

Para las facilidades de medición de carga hidráulica, se utilizó una escuadra con regla graduada (Fig.No. 18'). Estas mediciones fueron diarias o interdiarias, obteniéndose así registros discretos del nivel (cargas) de las aguas residuales.



### c) Fórmula para Procesamiento de datos.

La ecuación aplicable para vertedero triangular 90° es la de THOMSON, y que ha sido utilizado en procesamiento de datos para calcular caudales de aguas residuales es la siguiente:

$$Q = 1.38 H^{5/2} \dots\dots\dots (12)$$

en donde:

Q: caudal de agua residual, m<sup>3</sup>/seg.

H: carga o tirante hidráulico, m.

### d) Observaciones

- En la salida de la laguna P1, se instaló doble vertedero triangular 90°. Mientras que en la salida de laguna T1, se instaló un solo vertedero triangular de 90° tal como se muestran en la Fig. No. 17 y Fig. No. 18 .
- Las mediciones de carga "H" para calcular los caudales de salida de las lagunas P1, se hicieron diarios o interdiarios.
- El vertedero de la laguna T1 trabajó ahogado, por ello que no pudo medirse la carga "H". La evaluación de la curva de calibración con datos del vertedero rectangular que o pero hasta antes de ser cambiado por vertedero triangular 90°.

## B.- MEDIDOR PALMER - BOWLUS EN S1

Las ventajas y el funcionamiento hidráulico del medidor Palmer - Bowlus instalado en la salida de la laguna S1 es muy similar al explicado en acápite 3.2.2.3.

Esta vez mostraremos las dimensiones y explicaremos la fórmula que se aplicó en procesamiento de datos para determinar caudales de salida en laguna S1.

### a) Dimensiones

El medidor Palmer - Bowlus de garganta una sección rectangular que ha operado en el efluente de laguna S1, tiene dimensiones que se muestra en la Fig. No. 19 .

### b) Fórmula para procesamiento de datos

Sabemos que la fórmula general para estimar caudal está dado por:

$$Q = C B_t (d_u - t)^{3/2} \dots\dots\dots (13)$$

en donde:

Q: Caudal de aguas residuales, m<sup>3</sup>/seg.

C: Coeficiente de flujo .

B<sub>t</sub>: Ancho de la garganta de sección rectangular, m .

d<sub>u</sub>: Tirante o carga hidráulica, m.

t: elevación del fondo de garganta (cuello), m .

Como t es casi despreciable con respecto a d<sub>u</sub>, tenemos que:

$$Q = C B_t (d_u)^{3/2} \dots\dots\dots (14)$$

De nomograma<sup>15</sup> de la Fig. No. 14 observamos que

$$C = f (R, t)$$

en donde  $R = \frac{B_u}{B_t} \dots\dots\dots (15)$

R: Ratio

B<sub>u</sub>: Ancho del canal conductor, m .

Según la Fig. No. 19 tendremos que:

$$B_u = 0.50 \text{ m .}$$

$$B_t = 0.247$$

Entonces  $R = \frac{0.50}{0.247} = 2.02$

De nomograma<sup>15</sup> de la Fig. No. 14 con R= 2.0 obtenemos que:

$$C = 1.813$$

Reemplazando valores en la fórmula (14) tendremos que:

$$Q = 1.810 \times 0.247 \times d_u^{3/2}$$

$$Q = 0.447 d_u^{1.5}$$

Haciendo  $d_u = H$

∴  $Q = 0.447 H^{1.5} \dots\dots\dots (16)$

Por tanto la ecuación (16) fue la fórmula teórica que ha sido utilizado para estimar caudales continuos, para el caudal el medidor Palmer-Bowlus operó con un LIMNIGRAFO (Fig. No.11-b) que proporcionó registro continuo de carga hidráulica.

### 3.3.- SUBMODELO HIDRAULICO DE LA LAGUNA COMO REACTOR

La evaluación intensiva de las lagunas de San Juan, debido a las condiciones físicas (dimensiones de lagunas, estructuras de ingreso y salida, etc.) y las condiciones hidráulicas de funcionamiento continuo (flujo continuo de aguas residuales), no puede efectuarse específicamente mediante submodelos hidráulicos de flujo tipo pistón o de mezcla completa, sino debe efectuarse con la ayuda de modelos más complicados. Existen una gran variedad de modelos que pueden ser utilizados. Entre estos, el MODELO DE DISPERSION es el que más a sido utilizado para la evaluación intensiva de las lagunas de San Juan.

#### 3.3.1. Consideraciones Generales.

El modelo de dispersión ofrece las mejores ventajas en la evaluación de una laguna de estabilización en condiciones de campo, puesto que permite conocer tanto información sobre la degradación de la materia orgánica (reducción de DBO soluble) y destrucción de organismos (destrucción de coliforme fecal), como las condiciones hidráulicas de la laguna. Las pruebas de campo consisten de 2 componentes:

Evaluaciones en el efluente y afluente de las lagunas en condiciones de equilibrio continuo. Esto requiere de mediciones de caudal y muestreo representativo en la entrada y salida, generalmente para DBO y coliforme fecal.

Paralelamente la conducción de pruebas de trazadores para conocer las condiciones hidráulicas de la laguna.

A continuación se definirá algunos conceptos generales del modelo de dispersión:

Modelo de dispersión denominado también como Modelo de FLUJO DE PISTON DISPERSO<sup>4</sup>. Este modelo considera el flujo de Pistón de un líquido, sobre el cual hay superposición de un nivel de mezcla, la magnitud de la cual es independiente de la posición del reactor. Esta condición implica que no existe áreas estancadas ni corto circuito del fluido a través del reactor.

La Fig. No. 23 muestra la visualización de esta condición. Note, que al variar las intensidades de turbulencia o mezcla, las predicciones de este modelo deberían de cubrir un rango, desde a un extremo flujo de pistón hasta flujo con mezcla al otro extremo. Como resultado, el volumen del reactor para este modelo se encontrará entre aquellas calculadas para flujo de pistón y flujo con mezcla. Ya que el proceso de mezcla

implica una redistribución de material o por deslice o por remolinos, y ya que esto se repite un número considerable de veces durante el flujo del fluido por el reactor. Podemos considerar estos disturbios de tipo estadístico, algo parecido a la difusión molecular. De una forma análoga, podemos considerar todas las contribuciones a la mezcla del fluido en movimiento en la dirección X, la ecuación diferencial que rige es aquella dado por la Ley de Fick<sup>4</sup>:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \dots\dots\dots (17)$$

donde el parámetro D llamado COEFICIENTE DE DISPERSION AXIAL o LONGITUDINAL (difusión molecular en el sentido del flujo del líquido), caracteriza unicamente el grado de remezcla durante el flujo<sup>4</sup>.

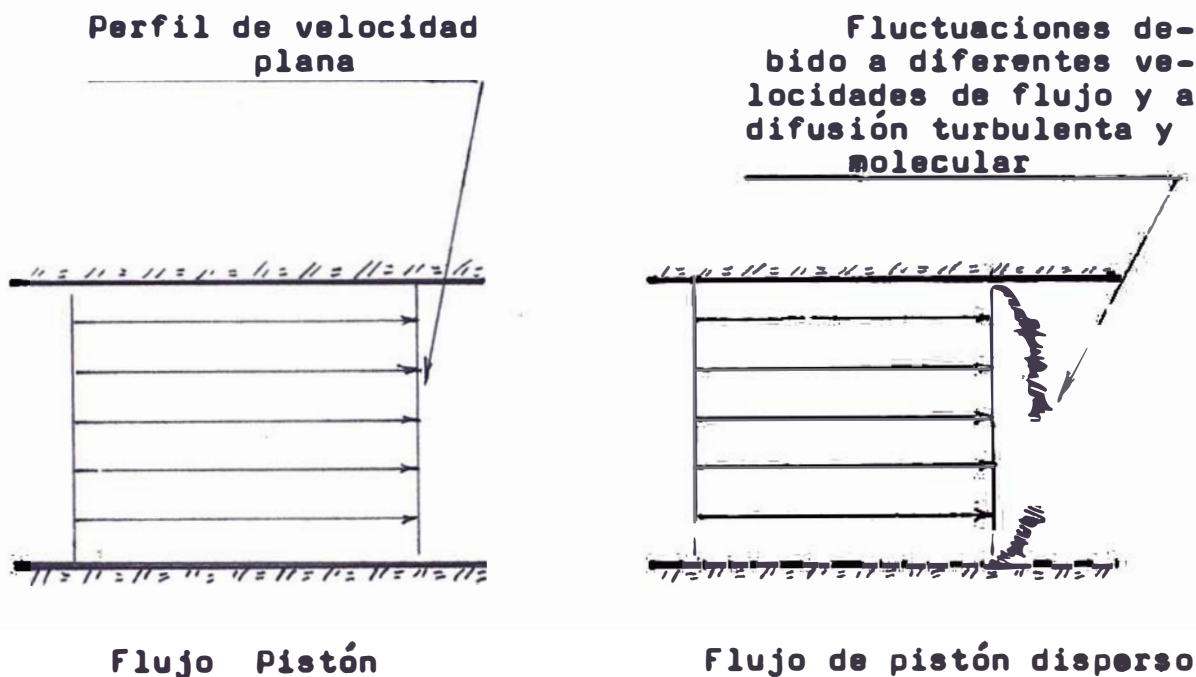


Fig. No. 23 REPRESENTACION DEL MODELO DE DISPERSION

Usamos los términos "Longitudinal" y "Axial", porque deseamos distinguir mezcla en la dirección lateral o radial. La mezcla en la dirección lateral no nos concierne en este momento, sólo, nos interesa la mezcla en la dirección de flujo (dispersión longitudinal y dispersión lateral) pueden ser magnitud bastante diferente

La ecuación básica diferencial representando el modelo de dispersión sin dimensión donde:

$$Z = \frac{X}{L} \quad \theta = \frac{t}{\tau} = \frac{t u}{L}$$

se torna en:

$$\frac{\partial c}{\partial \theta} = \left( \frac{D}{uL} \right) \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \frac{\partial c}{\partial z} \dots\dots\dots (18)$$

en donde

C = Concentración del contaminante, mg/l .

X = Coordenada en la dirección del flujo, m .

Z = Adimensional .

u = Velocidad longitudinal promedio del reactor, m/día .

D = Coeficiente de dispersión, m<sup>2</sup>/día .

$\frac{D}{uL}$  = Adimensional, llamado el Número de dispersión del reactor es el parámetro que mide el GRADO DE DISPERSION AXIAL.

t = Tiempo, días .

L = Longitud del reactor.

Por tanto:

Sí  $\left( \frac{D}{uL} \right) \rightarrow 0$  DISPERSION en un grado insignificante, por lo tanto se trata de FLUJO DE PISTON.

Sí  $\left( \frac{D}{uL} \right) \rightarrow \infty$  DISPERSION en un grado alto, por lo tanto se trata de FLUJO CON MEZCLA.

#### AJUSTANDO EL MODELO DE DISPERSION A PEQUEÑAS EXTENSIONES DE DISPERSION

Para pequeños grados de dispersión (sí D/uL es pequeña la curva del trazador en propagación no cambia significativamente de forma al pasar por el punto de medición (durante el tiempo en que este está siendo medido), tal como se indica en la Fig.No.24 Bajo estas condiciones la solución a la ecuación 18, no es difícil y da la curva simétrica C .

$$C_{\theta} = \frac{1}{2 \sqrt{\pi (D/uL)}} \exp \left[ - \frac{(1 - \theta)^2}{4 (D/uL)} \right] \dots\dots\dots (19)$$

lo cual representa una familia de CURVAS GAUSIANAS NORMALES O CURVAS DE ERROR PROMEDIO Y VARIANZA.

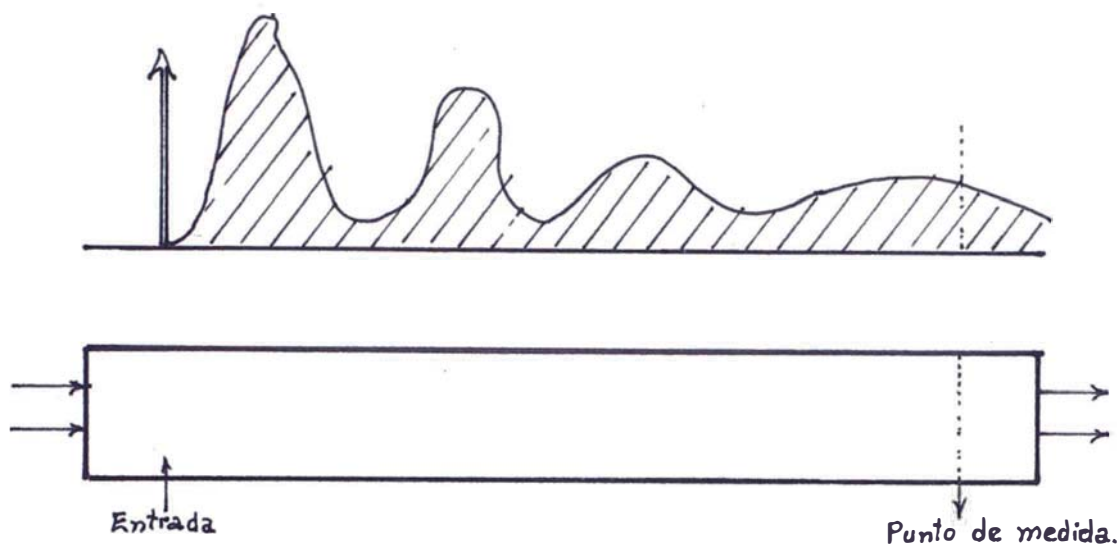


Fig. No. 24 EL MODELO DE DISPERSION PREDICE UNA DISTRIBUCION SIMETRICA DEL TRAZADOR EN CUALQUIER INSTANTE.

$$\bar{\theta}_c = \frac{t_c}{t} = 1 \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{t^2} = 2 \left( \frac{D}{uL} \right) \quad \text{ó} \quad \sigma^2 = 2 \left( \frac{DL}{u^3} \right) \quad \dots\dots\dots (21)$$

Note que  $D/uL$  es el parámetro de esta curva. La Fig. No. 26 muestra un número de métodos para evaluar este parámetro desde la curva experimental:

- 1) Por el cálculo de varianza .
- 2) Midiendo su altura Máxima o
- 3) Midiendo el ancho en el punto de inflexión o
- 4) Encontrando aquel ancho que incluye 68% del área.

Afortunadamente, para extensiones pequeñas de dispersión hay un gran número de simplificaciones y aproximaciones en el análisis de curvas de TRAZADORES. Primero, la forma de la curva C ó F es insensitivo a la condición límite impuesto en el reactor, sea este abierto o cerrado; las varianzas son también aditivas, la inyección instantánea puede ser simplemente analizada y el integral de enroscadura puede ser aplicado.

El beneficio del ajuste para este análisis tan simple puede ser evaluado solamente al comparar con las soluciones más exactas pero mucho más complicadas. De estas comparaciones encontramos que el error máximo en la evaluación de  $D/uL$  es dado por

error  $< 5\%$  cuando  $(D/uL) < 0.01$

error  $< 0.5\%$  cuando  $(D/uL) < 0.001$

## AJUSTANDO EL MODELO DE DISPERSION PARA GRANDES EXTENSIONES DE DISPERSION

Cuando el trazador de la Fig. No. 24 cambia de forma significativamente durante el tiempo en que pasa el punto de registro entonces la curva siendo medida es simétrica con una cola extendida. En esta situación las condiciones de flujo en los puntos de inyección y medición (llamados condiciones límites), influenciarán la forma de la curva  $C$  obtenida. Así podemos considerar dos de las tantas posibilidades de condiciones de límite, que han sido tratados: Reactor cerrado y el reactor abierto, dibujado en la Fig. No. 25.

Deberíamos de mencionar aquí que no ha sido posible obtener expresiones analíticas para las curvas "C" para ninguna de las condiciones de límites, excepto en un caso, el reactor abierto. Sin embargo, promedios y varianzas pueden ser determinados en to dos los casos. Muchos de estos valores han sido reportados por VAN DER LAAN (1958).

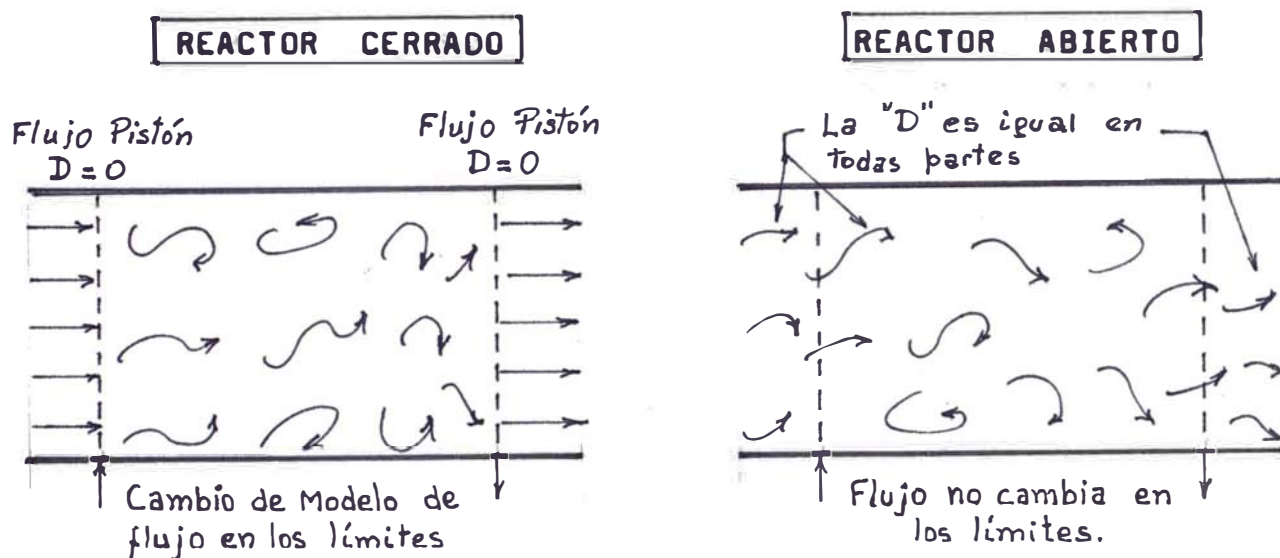


Fig. No. 25 DOS DE LAS MUCHAS POSIBLES CONDICIONES DE LIMITE PARA UN FLUJO .

**REACTOR CERRADO:** La Fig. No. 27 muestra la curva  $C$  para reactores cerrados tal como calculados por métodos numéricos. Npte que, mientras  $D/uL$  aumenta la curva se vuelve más sesgada. El promedio y la varianza de esta familia de curvas es:

$$\theta_c = \frac{\bar{t}_c}{t} = 1 \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2 \left( \frac{D}{uL} \right) - 2 \left( \frac{D}{uL} \right)^2 \left[ 1 - e^{-(uL/D)} \right] \dots\dots\dots (23)$$

Haciendo  $d = \left( \frac{D}{uL} \right)$  tendremos que:

$$= \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2d - 2d^2 (1 - e^{-1/d}) \dots\dots\dots (24)$$

donde

$\sigma_{\theta}^2$  = Varianza adimensional .

$\sigma^2$  = Varianza Dimensional .

$d$  = Parámetro adimensional, llamado Número de dispersión del reactor y es el parámetro que mide el GRADO DE DISPERSION AXIAL .

**REACTOR ABIERTO:** Esta es la única situación donde la curva "C" puede ser derivado analíticamente. Sin embargo, aquí nos encontramos con una complicación adicional. Esta complicación se refiere a la forma de la curva "C", porque según la forma en que nosotros midamos o registramos el trazador se determinará la forma de la curva "C". Hay 2 métodos de medida, llamados métodos de "entre las paredes" y "vazo de mezcla".

En el primer método nosotros simplemente registramos el trazador mientras fluye por el punto de medición; en el segundo método coleccionamos el trazador de reactores pequeños y calculamos cuanto hay en cada reactor. Se obtiene diferentes resultados para la curva C dependiendo del método.

Se puede observar que el método de "vazo de mezcla", representa estrictamente la condición límite de reactor cerrado, mientras que el método de "entre las paredes" está más de acuerdo con el reactor abierto donde el flujo no es alterado mientras que pasa por el punto de medición. En consecuencia considerando únicamente el método "entre las paredes", para mediciones de reactores abiertos, la ecuación para las curvas "C" están dadas por:



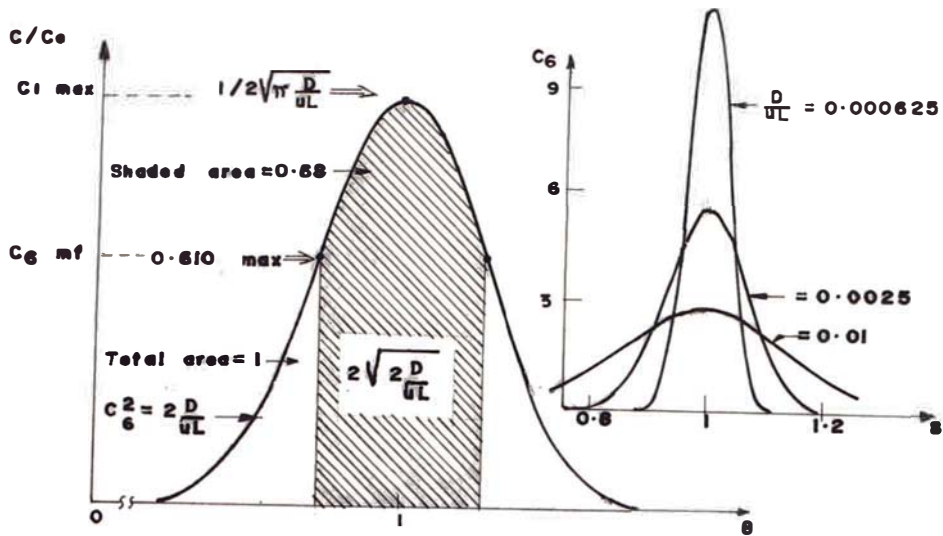


Fig N° 26 Relación entre  $D/uL$  y la curva  $C$  (Sin dimension) para extensiones pequeñas de dispersion

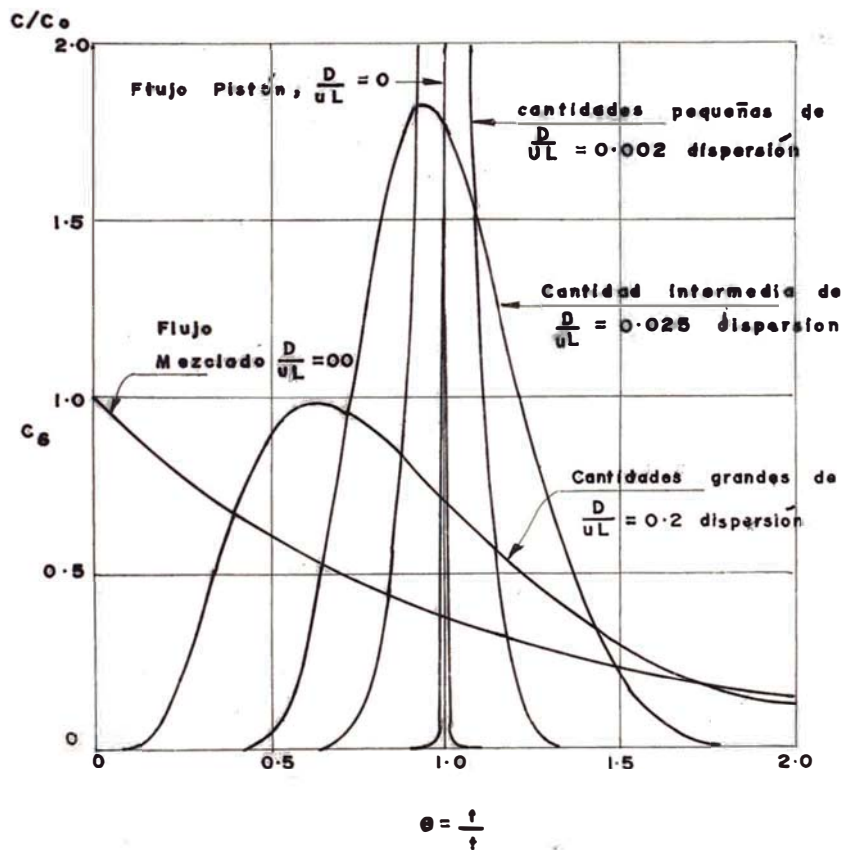


Fig N° 27 Curvas  $C$  en reactores cerrados para varios niveles de re-mezcla tal como predicho por el modelo de dispersion.

$$C_{\theta} = \frac{1}{2 \sqrt{\pi \theta (D/uL)}} \exp \left[ - \frac{(1 - \theta)^2}{4 \theta (D/uL)} \right] \dots\dots (25)$$

con promedio y Varianza.

$$\bar{\theta}_c = \frac{\bar{t}_c}{t} = 1 + 2 \left( \frac{D}{uL} \right) \dots\dots\dots (26)$$

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2 \left( \frac{D}{uL} \right) + \theta \left( \frac{D}{uL} \right) \dots\dots\dots (27)$$

La derivación de esta expresiones y formas de estas curvas son da das por LEVENSPIEL y SMITH (1957).

Para el caso de inyección instantánea (ver Fig. No. 28) ARIS (1959), ha demostrado que, podemos escribir sin error para esta condición límite:

$$\Delta \sigma_{\theta}^2 = \frac{\Delta \sigma^2}{\bar{t}^2} = \frac{\sigma^2_{\text{salida}} - \sigma^2_{\text{entrada}}}{\bar{t}^2} = 2 \left( \frac{D}{uL} \right) \dots\dots\dots (28)$$

Entrada

Curva C

Cualquier entrada

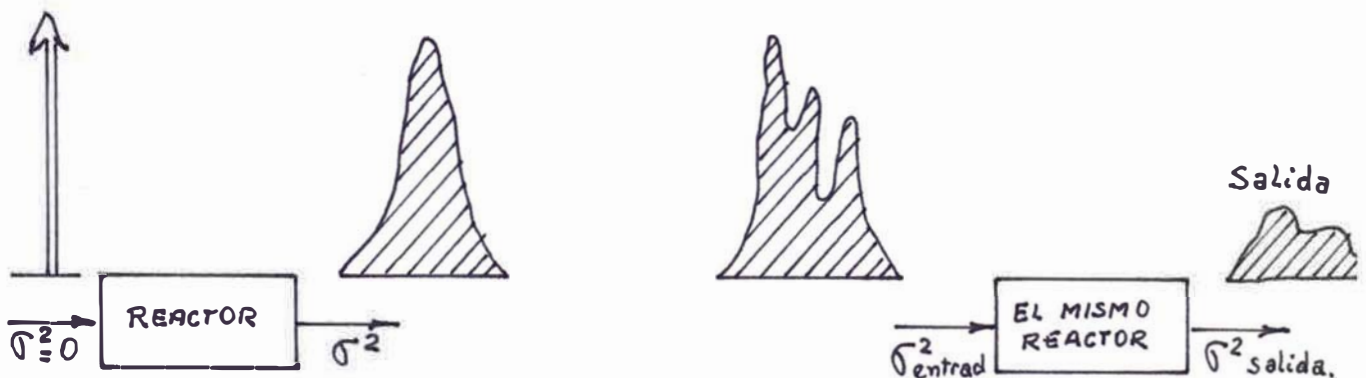


Fig. No. 28 EL AUMENTO DE VARIANZA ES EL MISMO EN AMBOS CASOS INYECCION INSTANTANEA.

$$\sigma^2 = \sigma^2_{\text{salida}} - \sigma^2_{\text{entrada}} = \Delta \sigma^2$$

En este modelo de DISPERSION, los mecanismos de transporte son la disposición Axial (difusión molecular en el sentido del flujo) y la convección<sup>3</sup>. La siguiente ecuación es el resultado de un balance de masa alrededor de un volumen  $dV$  para un reactor con flujo tipo pistón.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - U \frac{\partial c}{\partial x} - K C \dots\dots\dots (29)$$

donde el primer término de la derecha es la dispersión por difusión molecular, el segundo término es la dispersión convectiva y el tercero es la degradación del contaminante. Como se ha explicado anteriormente, la solución de la ecuación anterior es posible para una variedad de condiciones.

En cuanto a equilibrio, la solución para equilibrio continuo es útil, para diseño. Por otro lado la solución para equilibrio hidráulico continuo y alimentación de contaminante en equilibrio discontinuo es útil para caracterización del grado de dispersión del reactor.

En el presente trabajo y para evaluar la caracterización hidráulica y del grado de dispersión del reactor se utilizarán las ecuaciones simplificadas bajo las condiciones límite (bordes) llamadas: cerradas - cerradas, lo cual se indica en la Fig. No. 25 Estas condiciones límite (borde) son las únicas consistentes con los criterio de continuidad en la entrada y salida y permiten ubicar adecuadamente en sub-modelo hidráulico de un reactor, entre los límites de mezcla completa y flujo tipo pistón.

En Resumen: La literatura en este campo es profusa y muchas veces conflictiva, primariamente por suposiciones no establecidas y poco claros sobre qué es lo que está sucediendo en los límites del reactor. El tratamiento de condiciones finales está lleno de sutilezas matemáticas como puede haberse notado, la aditividad de las varianzas son cuestionables. Por otro lado debemos de ser cautelosos al usar el modelo de Dispersión donde hay altos niveles de remezcla especialmente donde el sistema es cerrado.

### 3.3.2. Tipos de Flujo Dentro del Reactor.

Es de especial importancia la INFLUENCIA DEL TIPO DE FLUJO EN LA CARACTERISTICA DEL EFLUENTE<sup>21</sup> Según la hidráulica, del flujo del reactor biológico empleado, existen 4 tipos diferentes de reactores llamados:

#### 1o. REACTOR TIPO BATCH:

Este tipo de reactor llamado también como reactor de carga única. Se caracteriza por el hecho de que en el no existe flujo de entrada ni de salida en forma continuo. Por tanto todas las partículas de masa líquida poseen las mismas características físicas, químicas y biológicas.<sup>21</sup>

El flujo de tipo discontinuo o intermitente, al menos habitual, consiste en llenar el reactor (laguna), dejar un tiempo, el líquido en ella mientras se produce el proceso biológico, químico y físico, que puede realizarse con o sin mezcla, vaciar el reactor y repetir el ciclo.<sup>8</sup>

Esto en la mayoría de los casos, no es práctico y generalmente los procesos son de flujo continuo, salvo que el proceso de tratamiento, o se trata de experiencias piloto o pruebas de laboratorio. Como ejemplo se puede citar el caso de la prueba de Jarras.

#### 2o. REACTOR DE FLUJO DE PISTON

En este tipo de reactor, cada partícula líquida pasa a través del reactor y es descargada en la misma secuencia que ingresó a él. Al igual que en el flujo de carga única, los períodos de residencia son los mismos para cada uno de ellos aproximadamente igual al período de residencia teórica. Como ejemplo se puede citar el desplazamiento de un pistón representa secciones de la masa líquida.<sup>21</sup> Las características hidráulicas son las siguientes<sup>20</sup>

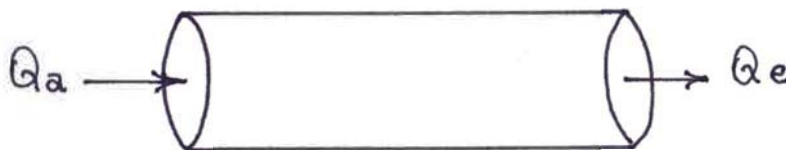


Fig. No. 29 REACTOR DE FLUJO DE PISTON

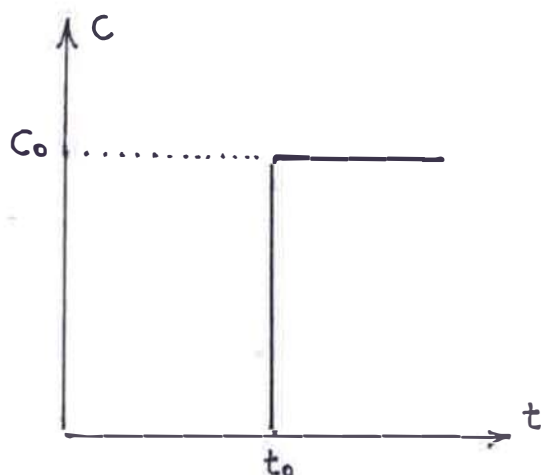


Fig. No. 30 Curva del trazador inyectado en forma continua .

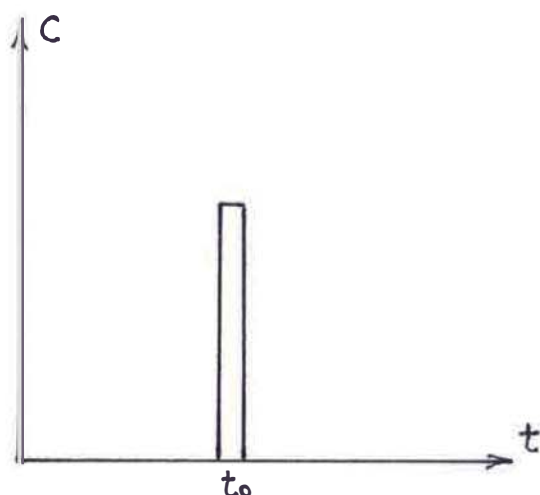


Fig. No. 31 Curva del trazador inyectado en forma instantánea.

Para un reactor de flujo a Pistón, si se inyecta un trazador en forma continua para producir una concentración  $C_0$ , la aparición del trazador en el efluente ocurrirá como en el gráfico de la Fig. No. 30; en donde:

$t$  = tiempo actual .

$C$  = Concentración del trazador en tiempo actual .

$t_0 = \frac{V}{Q}$  = Período de retención teórica .

$C_0$  = Concentración del trazador en el instante de inyección .

$t = t_0$  Idealmente .

### 30. REACTOR DE FLUJO CONTINUO Y MEZCLA COMPLETA

Aquí, las partículas que ingresan al reactor son dispersados rápidamente a través de toda la masa reactante. El efluente es una resultante de innumerables períodos de residencia y cuando no es recidado presentará las mismas características de la masa reactante.<sup>21</sup>

Si se inyecta un trazador de concentración  $C_0$ , la aparición del trazador en el efluente seguirá la curva<sup>20</sup> indicada en las Figs. Nos. 33 y 34 .

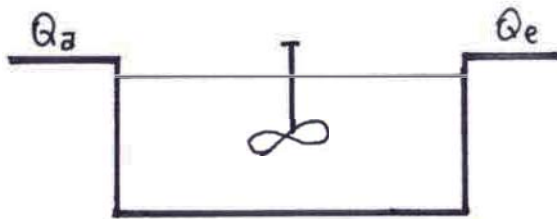


Fig. No. 32 Reactor de flujo con mezcla completa .

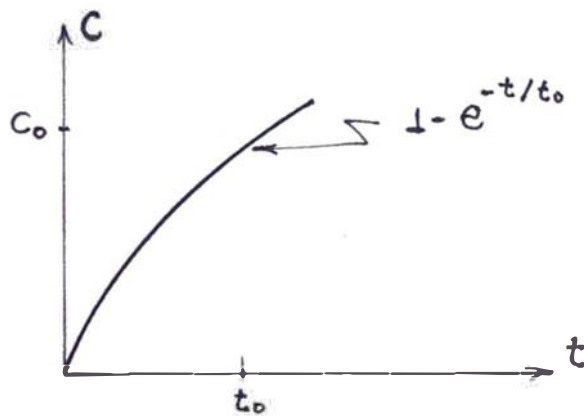


Fig. No. 33 Curva del trazador inyectado en forma continua .

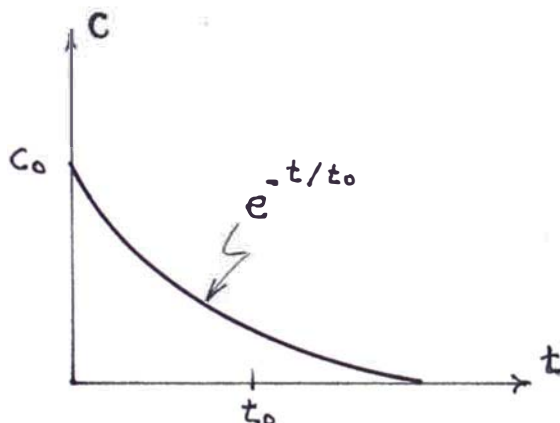


Fig. No. 34 Curva del trazador inyectado en forma instantánea.

#### 40. REACTOR DE FLUJO DE PISTON DISPERSO (Flujo Arbitrario) .

Este tipo de flujo se encuentra entre los reactores de tipo de Pistón y los de mezcla completa y flujo continuo. Constituyen un caso de flujo continuo pero de mezcla incompleta o variable. Por lo tanto, las características del efluente no son uniformes a través del tiempo. Lo cual hace muy difícil representar matemáticamente su comportamiento<sup>21</sup>

Este flujo arbitrario representa cualquier grado de mezcla entre el flujo a pistón y es el flujo de mezcla completa. Este tipo de flujo es observado frecuentemente en tanque de aereación y sedimentación reales. Es por esto, que es muy difícil de describirlo matemáticamente. Por lo tanto cuando se trata de describirlo en un modelo matemático para explicar los procesos químicos y biológicos, los modelos ideales de flujo Pistón y de flujo de mezcla completa son asumidos. Las características hidráulicas son las siguientes:

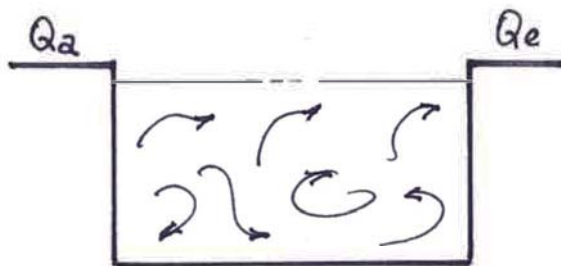


Fig. No.35 REACTOR DE FLUJO DISPERSO.

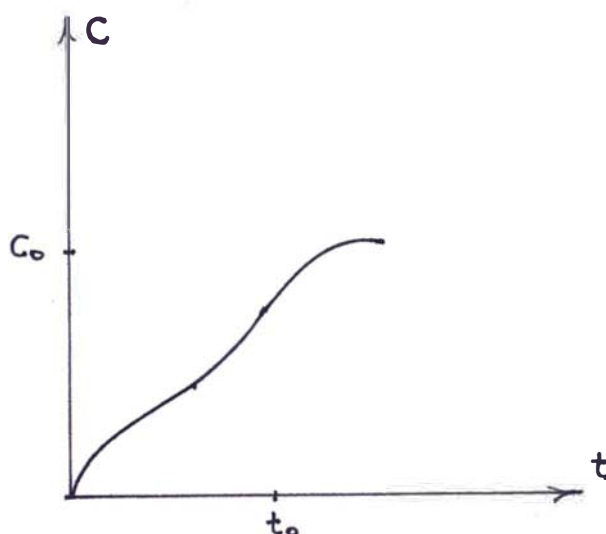


Fig. No. 36 Curva del trazador inyectado en forma continua .

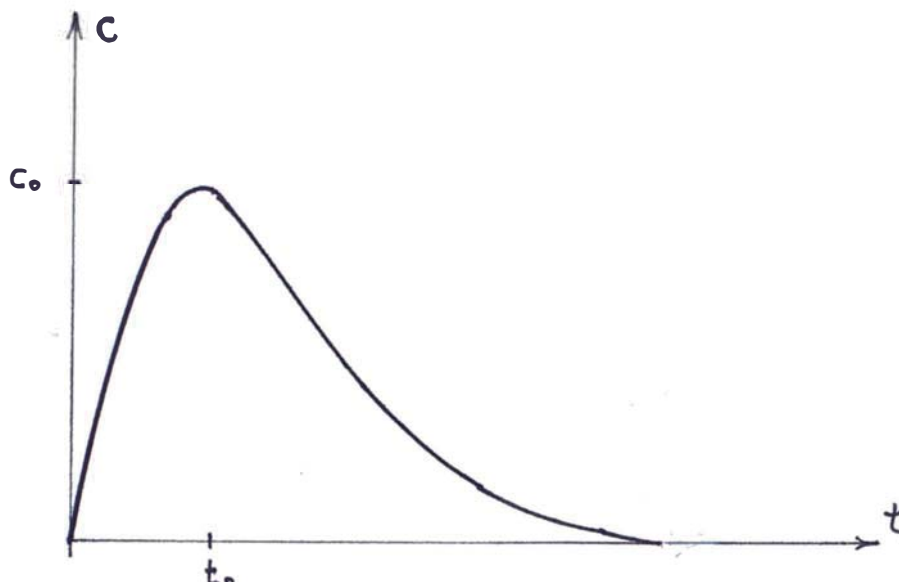


Fig. No. 37 Curva del trazador inyectado en forma instantánea o curva de dispersión (Fig. No. )

Los términos  $t$ ,  $t_0$ ,  $C$  y  $C_0$ , han sido definidos anteriormente .

Precisamente en la evaluación hidráulica de las Lagunas de San Juan de Miraflores, se ha seguido procedimientos del modelo de Flujo de Pistón disperso, para el cual se ha realizado olleva do a cabo una serie de pruebas de Trazadores en las lagunas (re- actor) con inyección instantánea del trazador en el afluente de la laguna, simultáneamente tomar muestras en el efluente para de- terminar la concentración del trazador. Mas adelante en el acá- pite 4.2.1., se indican mayores detalles del procedimiento se - guido al respecto.

### 3.3.3. Importancia de la Caracterización Hidráulica de un Reac- tor .

En la evaluación de lagunas de estabilización es de gran importancia la conducción de pruebas de Trazadores, tanto para calibración de estructuras de medición de cau- dal, como para caracterización hidráulica de las lagu- nas.

La importancia de la caracterización hidráulica de lagunas de estabilización fue puesta de relieve por THI- RIMURTHY en estudios con lagunas a escala de laboratorio

Los investigadores MANGELSON y WATTERS condujeron experimentos a escala de Campo en tres de las lagunas de Logan, Utah, EE.UU. Con estos datos se reportan período de retención experimentales promedio del orden de 51.1 - 65.2% del teórico para lagunas con relaciones de largo a ancho del orden de 2.0. Los datos se de Logan, indican que el pico de la curva concentración vs. tiempo se pro- duce alrededor del 10% del tiempo de residencia teórica. Los mismos autores condujeron experimento replicados, a



escala piloto, para investigar la influencia de la forma y localización de estructuras de ingreso y salida en la eficiencia hidráulica<sup>3</sup>.

En los estudios de San Juan, se ha reconocido la importancia de evaluar el aspecto hidráulico de las lagunas y se han programado pruebas de Trazadores con Rhodamina cada mes. Esta sustancia colorante (Rhodamina) es muy conveniente utilizar para visualizar el funcionamiento del reactor desde el punto de vista Hidráulico,<sup>8</sup> para el cual pudiese inyectarse en la entrada de la unidad (reactor) y simultáneamente se comenzará a registrar la concentración del trazador a la salida. Esquemáticamente puede esbozarse tal como muestra la Fig. No. 38 .

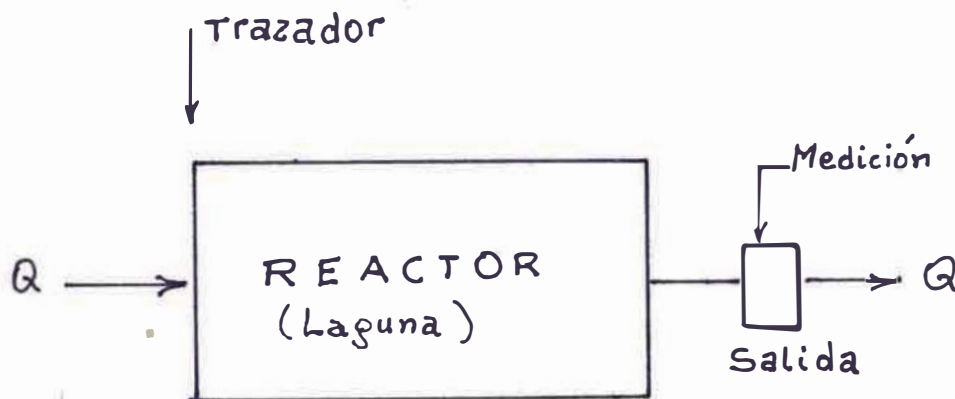


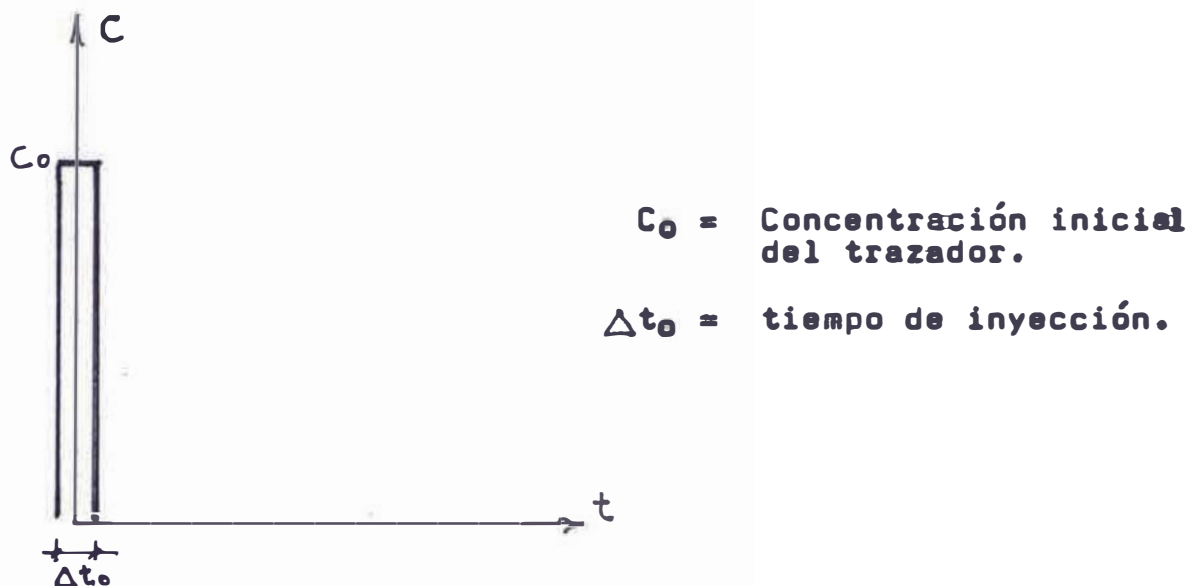
Fig. No. 38 ESQUEMA DE PRUEBA DE TRAZADORES .

La inyección del trazador puede hacerse en forma continua o en forma instantánea, en la práctica en un intervalo de tiempo  $t_0$  .

#### INYECCION INSTANTANEA .

Analizando la inyección instantánea, supondemos aquí que la concentración inicial,  $C_0$ , del trazador permanece constante durante el breve tiempo de inyección,  $t_0$  .

La representación de la concentración de trazador en función del tiempo a la entrada y durante la inyección de la sustancia  $t$  trazadora será entonces del tipo:



En el caso de reactor (laguna), bajo condiciones reales de funcionamiento (o sea con cierto grado de mezcla, cortocircuitos, regiones muertas, corrientes de inercia, etc.), al medir y graficar la concentración del trazador a la salida en función del tiempo, la experiencia demuestra que se obtiene una curva del tipo de la indicada en la Fig. No. 39 (curva de Gaus).

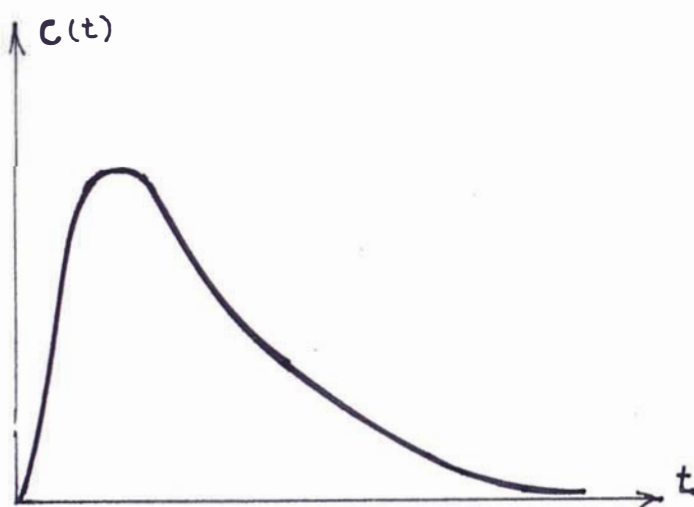


Fig. No. 39 CURVA DE DISPERSION DEL REACTOR (Curva de Gaus).

Dentro de la caracterización hidráulica y bajo condiciones reales de funcionamiento del reactor (laguna), son de especial importancia el cálculo de los parámetros:

- a) Período de Retención y
- b) Factor de dispersión .

#### a) PERIODO DE RETENCION

De especial importancia en todas las consideraciones ge

nerales es el factor tiempo, Puesto que las operaciones y procesos ocurren en general, lentamente, tal como se ha señalado y es necesario entonces un período de reacción largo o un período de contacto largo para lograr la transferencia y lograr que se produzcan los cambios o reacciones deseadas.

- Período de Retención Teórico ( $t_0$ ) .

Se entiende por tiempo medio de residencia o permanencia del fluido en una laguna (reactor), al cociente.

$$t_0 = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (30)$$

donde:

V = Volumen de la laguna (reactor) .

Q = Caudal .

La permanencia es un concepto abstracto. Puede pensarse como "tiempo promedio en que el fluido de caudal Q pasa a través del Volumen "V" Es así mismo, el tiempo que tardaría una partícula cualquiera del fluido en entrar y salir de la laguna (reactor), en el caso en que todas las partículas del fluido evolucionarán en la misma forma dentro de esa laguna.

Período de Retención Real ( $\bar{t}$ )

En la práctica, bajo condiciones hidráulicas reales del flujo (regiones muertas, corrientes de inercia, cortocircuitos, etc.), hacen imposibles condiciones de flujo estable.

Es necesario por tan estudiar la distribución del tiempo de detención en la laguna (reactor), para poder conocer la forma como ha quedado sometida la masa líquida a un determinado tratamiento. Para tal estudio se ha llevado a cabo la conducción de PRUEBA DE TRAZADORES con Rhodamina que ha consistido en la inyección en la entrada de la laguna y simultáneamente se ha medido la concentración del trazador a la salida. Más adelante ampliaré el tema cuando me refiero a funcionamiento Hidráulico de la laguna.

Por tanto el cálculo de Período de Retención promedio<sup>3</sup> bajo condiciones reales (Prueba de Trazadores), se efectúa con la fórmula siguiente:

$$\bar{t} = \frac{\sum t \cdot C}{\sum C} \dots\dots\dots (31)$$

en donde:

$\bar{t}$  = Período de retención promedio real, días .

$t$  = Tiempo de salida en el punto de medición días .

$C$  = Concentración del trazador en la salida, ugr/lit.

## ) FACTOR DE DISPERSION

Como se ha explicado anteriormente (3.3.1.), en el presente trabajo se está desarrollando el estudio de un submodelo hidráulico de la laguna (reactor) del tipo "Flujo de Pistón Disperso", o simplemente el "Modelo de Dispersión". Se ha indicado que este tipo de flujo se encuentra entre flujo de Pistón y flujo con mezcla compelta.

Ya que el modelo disperso implica una redistribución de material (trazador) o por transporte o por remolinos (transformación), y ya que esto se repite un número considerable de veces durante el flujo del fluido por la laguna (reactor), podemos considerar estos disturbios de TIPO ESTADISTICO, algo parecido a la difusión molecular. De una forma análoga, podemos considerar todas las contribuciones a la mezcla del fluido en movimiento.

Factor de dispersión "d", llamado también COEFICIENTE DE DISPERSION AXIAL O LONGITUDINAL<sup>4</sup>, caracteriza unicamente al grado de remezcla durante el flujo. Usamos los términos "LONGITUDINAL" y "AXIAL", porque deseamos distinguir mezcla en la dirección lateral o radial, lo cual no nos concierne en este momento <sup>4</sup>.

Hemos considerado que la redistribución del material (trazador) durante el flujo del fluido por el reactor, es del tipo estadístico, Por tanto, la VARIANZA de una distribución continua medido en un número finito, de puntos equidistantes es dado por la ecuación (32) como:

$$\sigma^2 = \frac{\sum t^2 \cdot c}{\sum c} - \left[ \frac{\sum t \cdot c}{\sum c} \right]^2 \quad \dots\dots\dots (32)$$

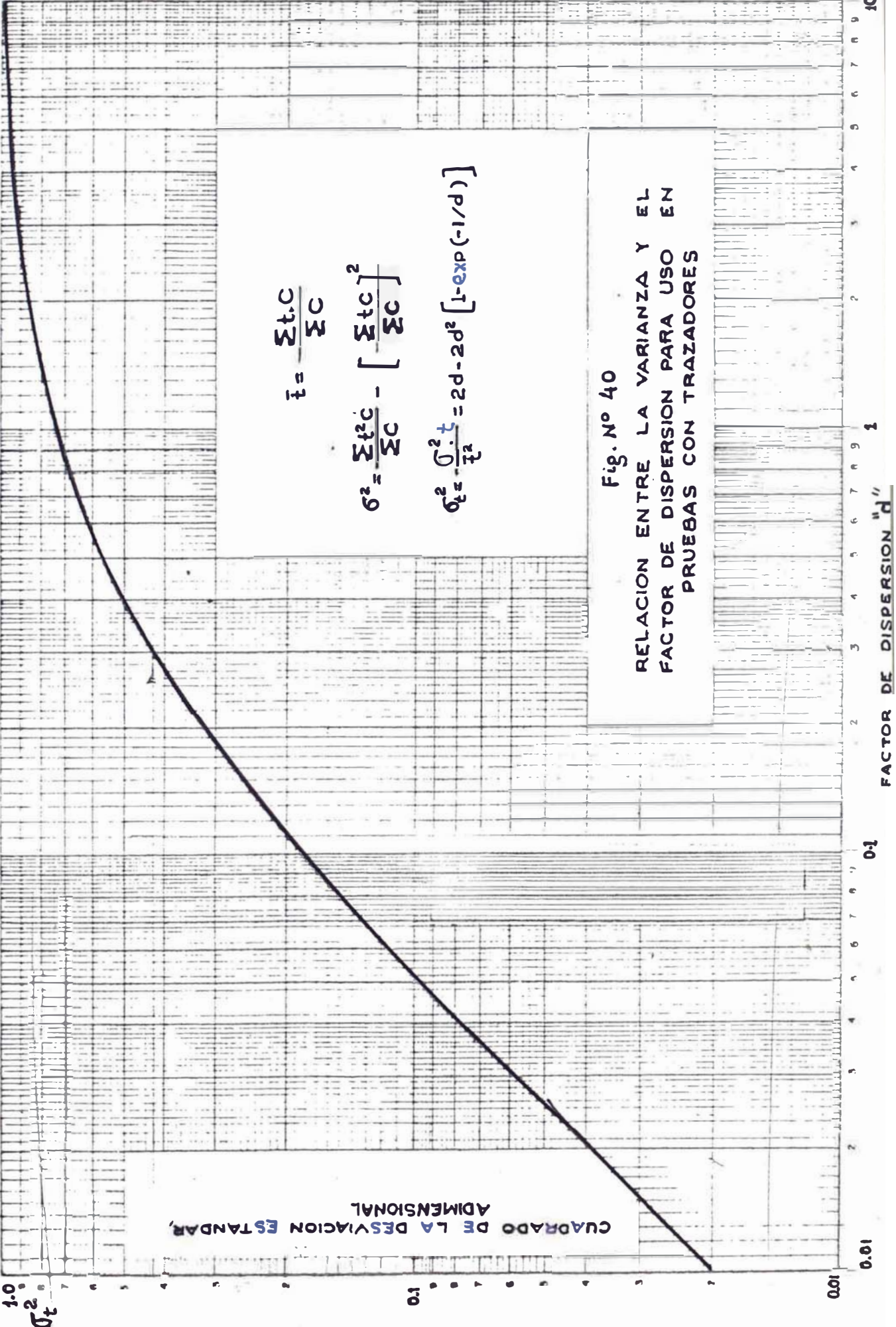
en donde:

$\sigma^2$  = Varianza Dimensional de la curva sesgada mostrada en la Fig. No. 39 .

$t, C$  = se ha definido al referirse a la ecuación (31).

La Varianza Adimensional se calcula con la ecuación (33) como:

$$\sigma_t^2 = \frac{\sigma^2 \cdot t}{\bar{t}^2} \quad \dots\dots\dots (33)$$



CUADRADO DE LA DESVIACION ESTANDAR, ADIMENSIONAL

$$\bar{x} = \frac{\sum t \cdot C}{\sum C}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum t^2 \cdot C}{\sum C} - \left[ \frac{\sum t \cdot C}{\sum C} \right]^2$$

$$\sigma^2 = \frac{\sigma^2 \cdot t}{t^2} = 2D - 2D^2 [1 - \exp(-1/D)]$$

Fig. No 40  
 RELACION ENTRE LA VARIANZA Y EL  
 FACTOR DE DISPERSION PARA USO EN  
 PRUEBAS CON TRAZADORES

FACTOR DE DISPERSION "D"

Y Finalmente el "FACTOR DE DISPERSION d" se calcula con la ecuación (34)

$$\sigma_t^2 = \frac{\sigma^2 t}{t^2} = 2d - 2d^2 \left[ 1 - \exp(-1/d) \right] \dots\dots (34)$$

Como observamos, las ecuaciones (31) y (32) permiten el cálculo de "d" por aproximaciones sucesivas en la ecuación . Los datos a procesarse corresponde a concentraciones de un trazador medidas en el efluente de la laguna.<sup>3</sup>

El cálculo de "Factor de dispersión d", también se puede lograr mediante la ayuda de la curva de la Fig. No. 40, la cual es la representación Gráfica de la ecuación (34).

Los cálculos indicados de "período de retención real  $\bar{t}$ " y "factor de dispersión d" pueden utilizarse para interpretación de mediciones de DBO o Coliforme Fecal en el afluente y efluente de una laguna de estabilización, en este caso se encontraría el valor de la constante cinética de primer orden.

#### 3.3.4. Infiltración y Evaporación.

Para mantener el sistema continuo del flujo de aguas residuales en las lagunas, la medición de infiltración y evaporación son muy importantes para la evaluación, sobre todo para mantener el equilibrio del balance de caudales en el sistema de laguna.

BALANCE HIDRAULICO EN LA LAGUNA (Reactor) .

En condiciones de equilibrio tendremos que:

$$Q_a = Q_e + Q_i + Q_{ev}. \dots\dots\dots (35)$$

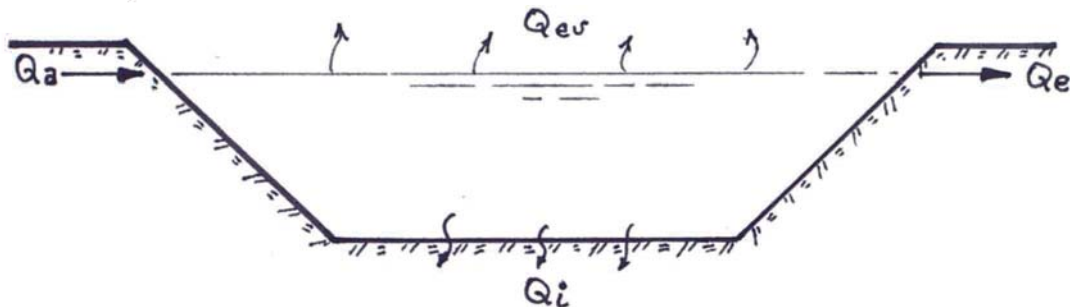
en donde:

$Q_a$  = Caudal del afluente de la laguna .

$Q_e$  = Caudal del efluente de la laguna .

$Q_{ev}$  = Caudal de evaporación de la laguna .

$Q_i$  = Caudal de infiltración .



LAGUNA COMO REACTOR

Según las pruebas que se han realizado, se determinó que  $Q_{ev} = 0.002$  l/seg., la cual se ha considerado despreciable comparada con los valores de  $Q_{ev}$  y  $Q_i$ .

Por tanto para mantener la continuidad de flujo y equilibrio del sistema debe cumplirse que :

$$Q_a = Q_e + Q_i \quad \dots\dots\dots (36)$$

#### CALCULO DE CAUDALES.

Los valores de los términos de la ecuación (36), se determina mediante el auxilio de la fig. No. , donde se indican el sentido del flujo de aguas residuales a través de lagunas (P1, S1 y T1) de la primera batería que es propósito del presente estudio.

- a) El caudal de ingreso (afluente) a la laguna P1, se determina de la siguiente manera:

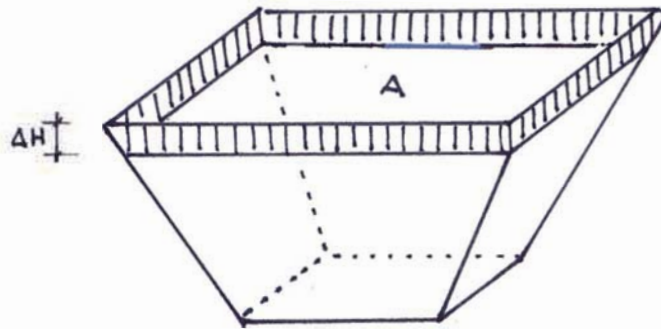
$$Q_a = Q_p - Q_{pBI} \quad \dots\dots\dots (37)$$

donde:

$Q_p$  = es medido a través del Medidor PARSHALL .

$Q_{pBI}$  = es medido a través del Medidor Palmer - Bowlus I .

- (b) El caudal de salida (efluente) de la laguna P1, es medido directamente a través del Medidor Triangular 90°, instalada en la salida de la laguna, o registro del Limnígrafo.
- (c) El caudal de infiltración se determina mediante las pruebas realizadas mensualmente y aplicando la ecuación (41).



Laguna P1

Sabemos que:

$$V = A \times h \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$t = \Delta t_i = t_f - t_i \quad \dots\dots\dots (39)$$

Por definición de caudal tendremos que:

$$Q_i = \frac{V}{t} \quad \dots\dots\dots (40)$$

Reemplazando valores

$$Q_i = \frac{A \times \Delta h}{\Delta t_i} \quad \dots\dots\dots (41)$$

en donde:

A = Area de la laguna, m<sup>2</sup>.

h = Cambio de nivel superficial de las aguas de la laguna, m.

t = Tiempo que dura la prueba de infiltración aproximadamente de 24 horas, días.

De la ecuación (41), podemos concluir que el cambio de nivel superficial de las aguas es función del caudal de infiltración

$$h = f(Q_i)$$



Previo al diseño de lagunas de estabilización, debe incluirse uno sobre permeabilidad del suelo especialmente cuando hay peligro de contaminación de la Napa Freática.

La percolación que inicialmente puede ser tan alta como el caso de las Lagunas de San Juan (ver curvas de las pruebas de infiltración), es probable que disminuye con el tiempo debido a la taponación del suelo (fondo de lagunas) por las bacterias y la materia orgánica, hasta que alcance su mínimo valor.

Cuando la percolación es excesiva se recomienda un tratamiento para el fondo y lados (talud) de las lagunas, haciéndolos impermeables.

Puede haber contaminación de la Napa Freática solo cuando ella no se halla muy profunda ya que, las bacterias no viven en grandes profundidades del suelo, Cuando la Napa Freática está cercana a la superficie del suelo, la infiltración puede hacerse directamente a ella, y las bacterias pueden viajar con ella varios cientos de metros.

Cuando el terreno es rocoso y presenta fisuras, la posibilidad de contaminación es mayor y más aún, si el agua subterránea pasa a través de fisuras en vez de penetrar por el suelo, pues así las bacterias no se detienen. Según investigaciones sobre COLIFORMES y VIRUS, demuestra que los VIRUS hacen un mayor recorrido y resiste más que las bacterias coliformes. La habilidad de mayor recorrido, puede explicarse fácilmente considerando sus relativos tamaños.

El monto anual de la descarga ocurrida en el efluente de una laguna es definido por la ecuación de Balance Hidráulico definido en la ecuación No. 35. Puede ocurrir variaciones en el nivel de agua, debido a la variación de cualquiera de las variables pero si el efluente llega a ser negativo y así se mantiene por mucho tiempo, el nivel de agua puede bajar considerablemente.

## EVAPORACION EN LAGUNAS

La evaporación puede influenciar en el comportamiento de la laguna, en los siguientes aspectos:

- a) **Reduce el caudal del Efluente:** Esta influencia es completamente positiva ya que el incremento del caudal del curso receptor de las aguas tratadas será menor que en el caso de no haber evaporación.
- b) **Aumenta el Período de retención:** Al disminuir el volumen de las aguas en la laguna, esta adquiere mayor poder de retención. Esto en muchos casos constituye una ventaja, ya que la laguna al recibir sobrecargas puede disminuir el período de retención, pero con la evaporación se logra un balance.
- c) **Aumenta la concentración:** Esto resulta favorable en lo que respecta a concentración de algas y producción de  $O_2$  por u-

nidad de volumen; pues sin llegar, la concentración de al - gas a ser excesiva y tal que dificulte la penetración de la luz, Para lo cual, el caso de la DBO, este al aumentar en su concentración, requeriría una mayor retención para ser satisfecha.

La Evaporación también se ve influenciada por los siguientes factores:

1o. Presión de Vapor de Agua .

Ya que ésta es muy sensible a la variación de temperatura . Por ejemplo:

0° C	4.48	mm. de Hg.
10° C	9.21	mm. de Hg.
20° C	17.5	mm. de Hg.

O sea cuando la Temperatura aumenta, la presión de vapor también aumenta.

2o. Temperatura

Como hemos visto en la parte anterior, la influencia de la temperatura es directamente a través de la presión de vapor de agua.

3o. Velocidad del Viento

La rapidez con que el aire arrastra el vapor de agua que se forma en la superficie de las lagunas.

4o. Presión Barométrica

Cuanto ésta disminuye la evaporación aumenta, ya que el vapor de agua encuentra una menor resistencia a su difusión dentro del aire.

5o. Calidad del agua

Con respecto al contenido de sales su aumento no es favorable a una gran evaporación, sin embargo su influencia es pequeña.

## FORMAS DE EVALUAR LA EVAPORACION

En el presente trabajo, podría considerarse 2 formas o procedimientos de evaluar la evaporación:

- 1o. Mediante la aplicación de la ecuación (42) de MEYER, que es la más conocida en los EE.UU., basada en las cifras obtenidas de casi todas las estaciones de observación de Weather Bureau.

$$E = 15 (V_w - V) \left( 1 + \frac{v}{10} \right) \dots\dots\dots (42)$$

en donde:

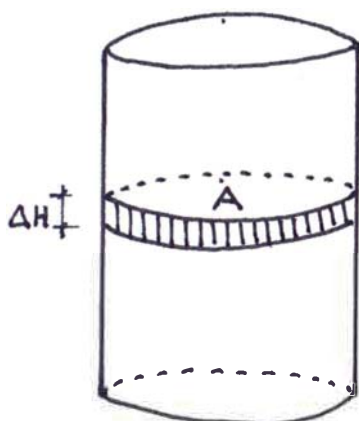
$E$  = Evaporación mensual en mm.

$V_w$  = Presión de vapor a la Temperatura del agua en mm. de Hg.

$V$  = Presión de vapor a la temperatura del aire, multiplicado por la humedad relativa en mm. Hg.

$v$  - Velocidad del viento en millas/hora.

- 2o. Mediante la evaluación de variación de la masa volumétrica, muy similar al procedimiento seguido para determinar el caudal de infiltración, con la diferencia de que esta vez se utilizará un volumen pequeño para realizar las pruebas de evaporación, de las lagunas. El volumen de un cilindro han sido utilizados con éxito en las evaluaciones de las lagunas de San Juan de Miraflores; y que consiste en:



Sabemos que:

$$V = A \times h \dots\dots\dots (43)$$

Además:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots (44)$$

Reemplazando (43) en (44), tendremos que:

$$Q = \frac{A \times \Delta h}{t} \dots\dots\dots (45)$$

En general tendremos que:

$$Q_e = \frac{A \times \Delta h_i}{\Delta t_i} \dots\dots\dots (46)$$

en donde:

$Q_e$  = Caudal de evaporación,  $m^3/día$  .

$A$  = Area de la base del cilindro,  $m^2$  .

$\Delta h_i$  = Cambio de nivel superficial del líquido,  $m$  .

$\Delta t_i$  = Tiempo que dura la prueba de evaporación, aproximadamente 1 día, días .

## C A P I T U L O I V

### METODOLOGIA PARA EVALUACION DE LOS DIVERSOS ASPECTOS HIDRAULICOS

#### 4.1. CALIBRACION DE ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

Se llama calibración a la operación de ajuste o aforo entre las señales o lecturas de un instrumento de medición y el valor real de la variable que se detecta en el instrumento.

La calibración nos permite verificar si la medida se realiza con la precisión especificada por la ecuación teórica de las estructuras de medición de caudal. Por tanto se trata de una labor de comprobación, entre las lecturas del instrumento y los valores expresados por la ecuación teórica cuya exactitud es de un orden superior.

La base de comparación es la precisión.

##### 4.1.1. Importancia de la Calibración de Estructuras Hidráulicas.

La conducción de prueba de trazadores es de gran importancia para la calibración de estructuras de medición de caudal.

El uso de correlaciones de caudal Vs. carga, o sea según la deducción teórica, el caudal es función de la carga hidráulica (tirante hidráulico), puede resultar en error en las mediciones de caudal de aguas residuales. Ya que dichas correlaciones teóricas han sido desarrolladas con aguas limpias, y las estructuras que funcionan con aguas residuales, forman una película incorrecta en la medición del tirante y que por tanto altera las condiciones hidráulicas del sistema.

Como vemos, la calibración de estructuras de medición de caudal es de suma importancia como repito

una mala lectura del tirante hidráulico nos conduce a obtener valores incorrectos en cuanto a caudales. Por tanto, una buena conducción de las pruebas de trazadores de inyección continúa nos permite construir una curva de caudales reales para diferentes lóres de tirantes medido en la estructura.

#### 4.1.2. Metodología Experimental .

Se ha empleado dosificación continúa para la calibración de mecanismos de medición de caudal como: Medidores PARSHALL, PALMER - BOWLUS y Vertederos de los efluentes de las lagunas.

Para la calibración de medidores de caudal, se han utilizado trazadores químicos y colorantes (solución stock de Rhodamina al 20%).

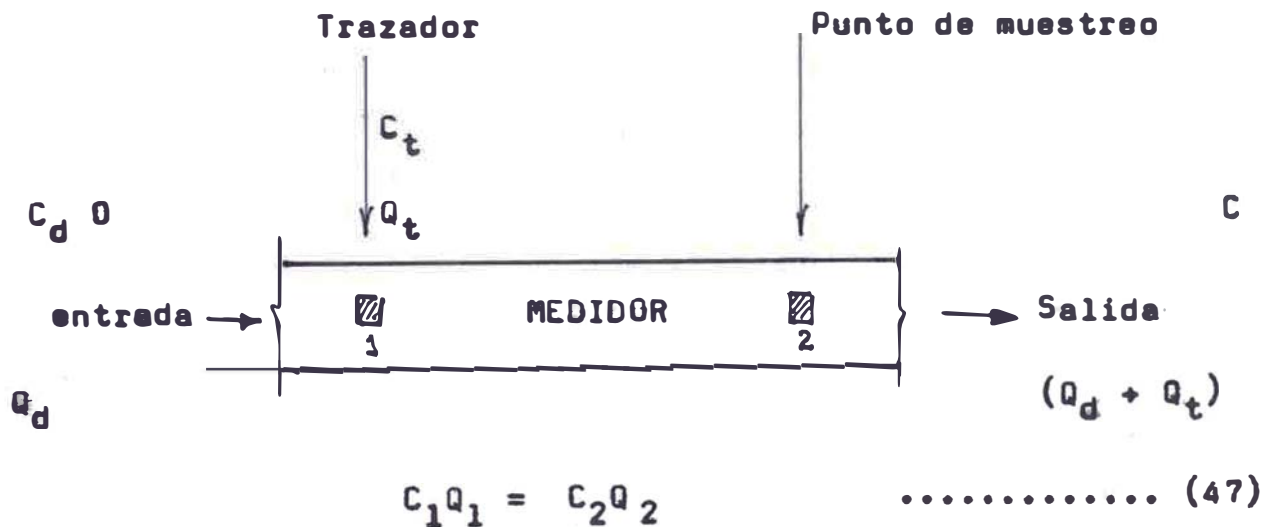
En cuanto a Metodología como se ha mencionado mas arriba se ha empleado la dosificación continúa tanto por la simplicidad del muestreo y análisis, como por la de procesamiento de datos.

#### PROCEDIMIENTO SEGUIDO PARA LA CALIBRACION DE LOS MEDIDORES Y VERTIDORES.

Para la calibración de las estructuras hidráulicas de medición de caudal, se han seguido los siguientes pasos:

- 1o. Calibración de la bomba PERITALICA, operando a alta velocidad a fin de conocer el caudal de bombeo (ml/mín.). Este procedimiento consiste en controlar el tiempo transcurrido en llenar cierto volumen en la probeta graduada, una solución completa diluída de Rhodamina. El procedimiento de este paso se muestra en la Fig. No. 41-a, en donde se indica la bomba Peristáltica y la probeta graduada que está siendo llenado de la solución diluída. Este paso se repite como 3 ó 4 veces, para luego sacar el caudal promedio de Bombeo (ml.min.), que será dosificado en la estructura que se desee calibrar.
- 2o. Dosificación continua de la Solución de Rhodamina al 20%. Previo a esta dosificación, se cambia la solución diluída que se usó en el primer paso por una solución Stock de Rhodamina al 20% que se preparó en el laboratorio.
- 3o. Lograr de alcanzar condiciones de equilibrio de mezcla completa, de la solución de Rhodamina que está siendo dosificado en la estructura. El tiempo necesario para alcanzar las condiciones de mezcla completa (Fig. No. 41-b), fue de 10 a 15 minutos.

40. Se toman muestras: Una vez que se ha logrado la estabilización del flujo (flujo uniforme) y condiciones de mezcla completa, se toman muestras en unos frascos cada 5 min., tal como se indica en la Fig. No. 41-c.
50. Se miden los tirantes hidráulicos (carga), de los medidores o Vertederos. Si se trata de la calibración del medidor Parshall o medidor Palmer - Bowls, la carga se mide en la poza de medición mediante una regla graduada (Fig. No. 41-d)
- Por cada graduación de caudal de las aguas residuales, los pasos 20, 30, 40 y 50, se repiten.
60. Análisis de las muestras por FLUOROMETRIA: Las muestras que se tomaron en cada prueba (por cada graduación de caudal), se analizaron por Fluorometría en el laboratorio, para determinar la concentración de Rhodamina, que posteriormente serán utilizados en el procesamiento de datos para la determinación de caudales.
70. Procesamiento de datos: El desarrollo de la ecuación para la determinación de caudal, con los datos de las pruebas de campo y resultados del análisis en el laboratorio, se basa en un sistema como:



$$C_1 = C_t, \text{ concentración conocida.}$$

$$Q_1 = Q_t, \text{ caudal conocida (dosificación).}$$

$$C_2 = C, \text{ concentración determinado en el laboratorio, por Fluorometría.}$$

$$Q_2 = (Q_d + Q_t), \quad Q_d \gg Q_t \dots \dots \dots (48)$$

$$Q_2 = Q_d$$

Reemplazando:

$$C_t Q_t = C Q_d \quad \dots\dots\dots (49)$$

uego:

$$Q_d = \frac{C_t Q_t}{C} \quad \dots\dots\dots (50)$$

En donde:

$Q_d$  = Caudal del desagüe, a calcularse .

$Q_t$  = Caudal del trazador (dosificación) .

$C_t$  = Concentración del trazador (Rhodamina en el punto de dosificación).

$C$  = Concentración d el trazador (Rhodamina), en el punto del muestreo.

a) Calibración del Medidor PARSHALL .

Para la calibración del Medidor Parshall, se han seguido los pasos siguientes:

1o. Se preparó una solución de Rhodamina de 400 mg/l. de concentración. Osea para propósitos de aplicación de la ecuación (50), tendremos que:

$$C_t = 400 \text{ mg/l.}$$

2o. En la estructura de cámara de reparto se graduó el caudal de las aguas residuales. La graduación del caudal se efectuó obstruyendo el orificio con una compuerta y tratando de asegurar flujo constante de aguas residuales. Esta obstrucción se inició con la compuerta bastante le vantada tratando que el flujo sea mayor posible.

3o. Calibración de la bomba PERISTALICA. Esta calibración para conocer el caudal de bombeo de la solución de Rhodamina preparado en el primer, se procede tal como se ha explicado anteriormente y que muestra en la Fig. No. 41-a, Se obtuvo un caudal de bombeo de 470 ml/min.

4o. Dosificación continua de 470 ml/min. de la solución de Rhodamina que se preparó en el primer paso. Osea para efectos de la aplicación de la ecuación (50), tendremos que:

$$Q_t = 470 \text{ ml/min.}$$

El punto de dosificación se ubicó en la cámara de reparto (Fig. No.1) de flujo, en el punto turbulento después del orificio de de rivación.





**Fig. No. 41-a Calibración de la bomba PERISTALICA .**

- 5e.** Se procura de alcanzar la mezcla completa de la solución de Rhodamina que está siendo dosificado en el paso 4o. Esta mezcla completa se logra en el punto de caída y turbulento después del orificio de derivación (Fig. No.4). Después de 10 min. aproximadamente, se logra las condiciones de equilibrio y de mezcla completa tal como se indica en la Fig. No. 41-b .



**Fig. No. 41-b Mezcla completa de la solución de Rhodamina**

60. Se toman muestras muy cerca a la caseta de LIMNIGRAFO. Estas muestras se toman luego de haber logrado la mezcla completa y asegurado el flujo constante, tal como se indica en la Fig. No. 41-c .



Fig. No. 41-c

Toma de muestras de aguas Residuales .

70. Se mide la carga hidráulica en la caseta de Limnígrafo sobre la poza de medición, tal como se muestra en la Fig. No. 41-d,



Fig. No. 41-d Medición de la carga hidráulica .

8o. Se inicia la 2da. prueba, para el cual se baja un poco la compuerta tratando de cerrar el orificio. De esta forma vamos reduciendo el caudal de las aguas residuales.

Luego los pasos 2o, 3o, 4o, 5o, 6o y 7o, se repiten más de 7 y menos de 10 veces, según el número de graduación del caudal que se realice.

9o. Las muestras de aguas residuales que han sido tomadas en todas las pruebas, son conducidas al laboratorio (Fig. No. 41-e) para ser analizadas por fluorometría y determinar la concentración de la Rhodamina.

10o. Recuento de datos:

Los resultados de los análisis de las muestras de aguas residuales, se aplican en la ecuación (50) para determinar el caudal de las aguas residuales.

11o. Los valores de caudales calculados en el paso 10o. y los datos de carga hidráulica medido en cada prueba son tabulados (Tablas No. 6 y 7). Posteriormente son piloteados en una curva tal como se indica en la Fig. No. 42. Cada punto experimental ploteada en la curva, corresponde a la carga hidráulica medido en el campo (Fig. No. 41-d), Vs. Caudal calculado en la ecuación (50).

b) Calibración de los Medidores PALMER - BOWLUS I y II

Los medidores Palmer - Bowlus I y II fueron calibrados a partir del Medidor Parshall (28.6.82), graduando los caudales en la cámara de repartición. De modo que los pasos seguidos para la calibración del medido Palmer - Bowlus son muy similares a los pasos seguidos para la calibración del medidor Parshall, con algunas diferencias que se menciona a continuación:

- 1o. La dosificación de la solución diluída de Rhodamina de 400 mg/l., se realizó en el punto donde se produce el salto hidráulico del medidor Parshall, con la finalidad de asegurar la mezcla completa de la solución de Rhodamina.
- 2o. Previo a la dosificación de la solución de Rhodamina, se cerraron los ingresos a las lagunas primarias de las bacterias 1 y 2. (Fig. No. ). De esta manera permitir que el caudal de aguas residuales que pasan por el medidor Parshall sean las mismas que pasan por el medidor Palmer - Bowlus.
- 3o. Las cargas hidráulicas de las aguas residuales se midieron mediante una regla graduada en la poza de medición de los medidores Palmer - Bowlus I y II.

Para efectos de la aplicación de la ecuación (50), como datos se tiene que:

$$C_t = 400 \text{ mg/l.}$$

$$Q_t = 470 \text{ ml/min.}$$

$C_t$  = Concentración de la solución diluída de Rhodamina.

$Q_t$  = Caudal de la solución de Rhodamina que está siendo dosificada.

Los resultados de las pruebas de Calibración de los Medidores Palmer - Bowlus I y II, se encuentran tabuladas en las Tablas No 8 y 9 y que fueron ploteados en curvas tal como se indica en las Figs. No. 43 y 44.



Fig. No. 41-e Colección de muestras que serán conducidas al Laboratorio.

c) Calibración de Vertederos en los Efluentes de las lagunas.

La metodología seguida para la calibración de los Vertederos ya han sido especificadas anteriormente. A continuación se hace algunas aclaraciones que forman parte de los pasos seguidos para la calibración.

- 1o. Se preparó una solución diluída de Rhodamina de 100 mg/l de concentración. De modo que para efectos de la aplicación de la ecuación (50) tendremos que:

$$C_t = 100 \text{ mg/l .}$$

- 2o. El caudal de dosificación de la bomba PERISTALICA fue de 200 ml/min. Osea como dato para la ecuación (50), tendremos que:

$$Q_t = 200 \text{ ml/min.}$$

- 3o. El punto de dosificación de la solución de Rhodamina, se ubicó en la zona turbulenta del canal de salida de la laguna; osea en el punto donde las aguas residuales

caen después de pasar la ranura en "V" del vertedero triangular de 90°. Esta zona turbulenta del caudal de salida se eligió con el objeto de lograr la mezcla completa de la solución de Rhodamina que está siendo dosificada.

Los resultados de las pruebas de calibración de los Vertederos, se encuentran en las Tablas No 10, 11 y 12 y que fueron ploteados como puntos experimentales de las curvas, tal como se indican en las Figs. No. 45, 46 y 47.



Fig. No. 41-f Bomba PERISTALICA usado en las Lagunas de San Juan para la dosificación continua de la diluida de Rhodamina.

TABLA No 06

DATOS PARA CALIBRACION DEL MEDIDOR PARSHALL

1ra Prueba

Prueba No	Altura de Agua Registrada cm	Concentración del trazador $\mu\text{g/l}$	C A U D A L . . l / s e g	
			Con datos de la Prueba	Con la ecuación Teórica
1	32.05	12.7	103.1	122.0
2	28.65	17.4	75.2	102.9
3	25.45	21.3	61.8	85.9
4	21.35	27.6	47.8	65.8
5	19.00	34.1	38.5	55.1
6	13.50	56.6	23.2	32.8

Q : Flujo, lps

H : Altura del agua sobre el medidor, cm

$$Q = 0.289 H^{1.670}$$

$$r = 0.995$$

Fecha de Calibración : 28.6. 82

D A T O S PARA CALIBRACION DEL MEDIDOR PARSHALL

2da Prueba.

Prueba No	Altura de Agua registrada cm	Concentración del tazador $\mu\text{g/l}$	C A U D A L /seg	
			Con datos de la Prueba	Con la ecuación teórica
1	32.65	14.4	102.5	125.6
2	30.75	16.6	87.8	114.6
3	26.03	23.4	61.9	88.9
4	21.85	32.0	45.3	68.2
5	18.20	44.0	33.3	51.6
6	14.35	67.4	21.9	35.9

Q : Flujo , lps

H : Altura del agua sobre el medidor, cm

$$Q = 0.1536 H^{1.853}$$

$$r = 0.998$$

Fecha de Calibración : 24.8.82

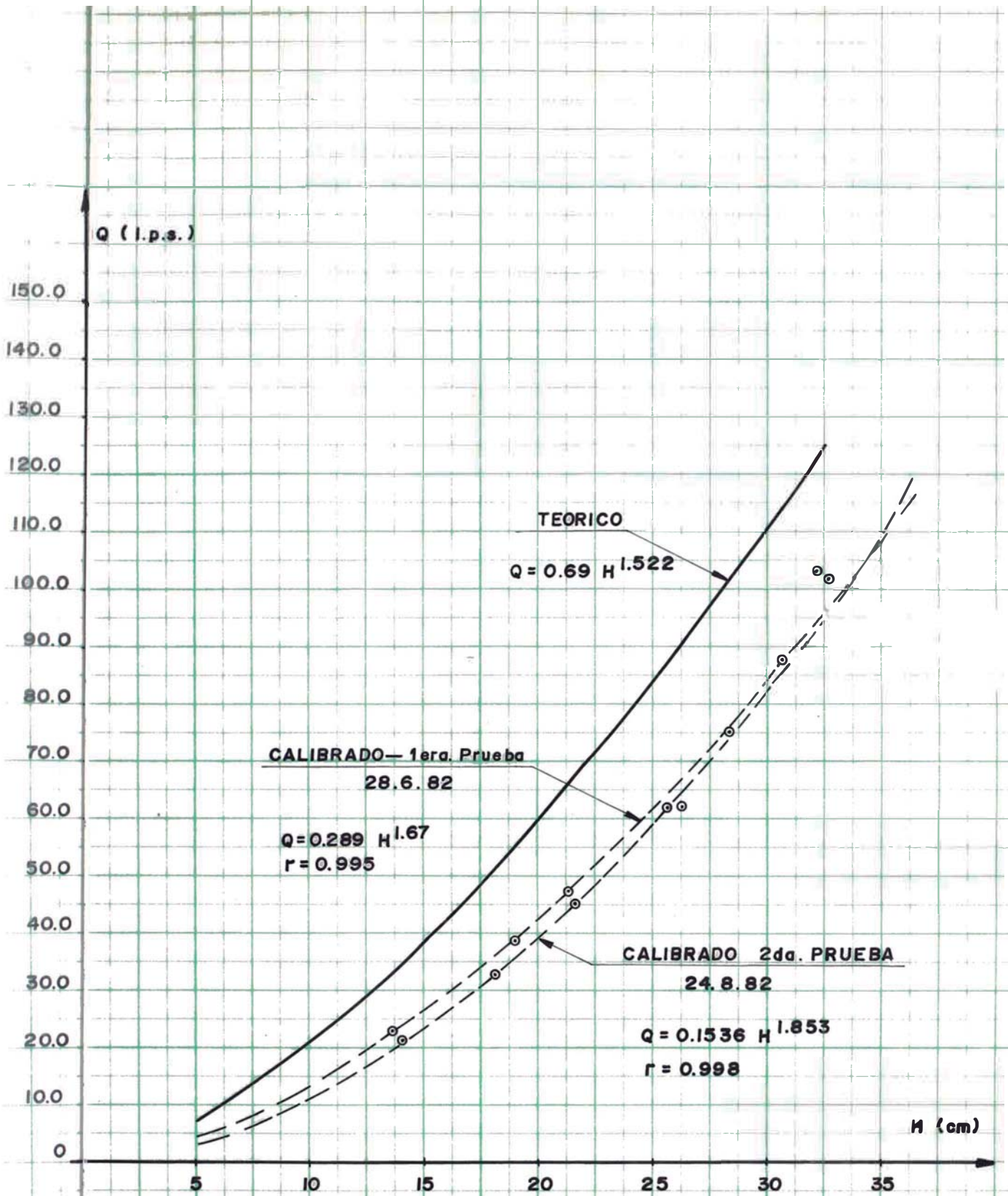


FIG. No.42 CURVA DE CALIBRACION DEL MEDIDOR PARSHALL



TABLA No 08

DATOS PARA CALIBRACION DE MEDIDOR PALMER-BOWLUS I

Prueba No	Altura de agua registrada cm	Concentración del trazador $\mu\text{g/l}$	CAUDAL L/seg	
			Con datos de la Prueba	Con la ecuación teórica.
1	31.7	15.9	92.3	121.4
2	28.05	19.4	75.4	101.0
3	27.7	19.7	74.1	99.1
4	24.0	22.3	59.1	79.9
5	-	27.1	48.5	
6	21.0	27.6	47.7	65.4
7	20.7	30.3	43.5	64.0
8	18.0	39.8	36.4	51.9
9	12.6	63.7	20.6	30.4

$$Q = 0.3244 H^{1.634}$$

$$r = 0.998$$

En donde:

Q = Caudal del derecho, l/seg

H = Altura del desecho sobre el medidor, cm

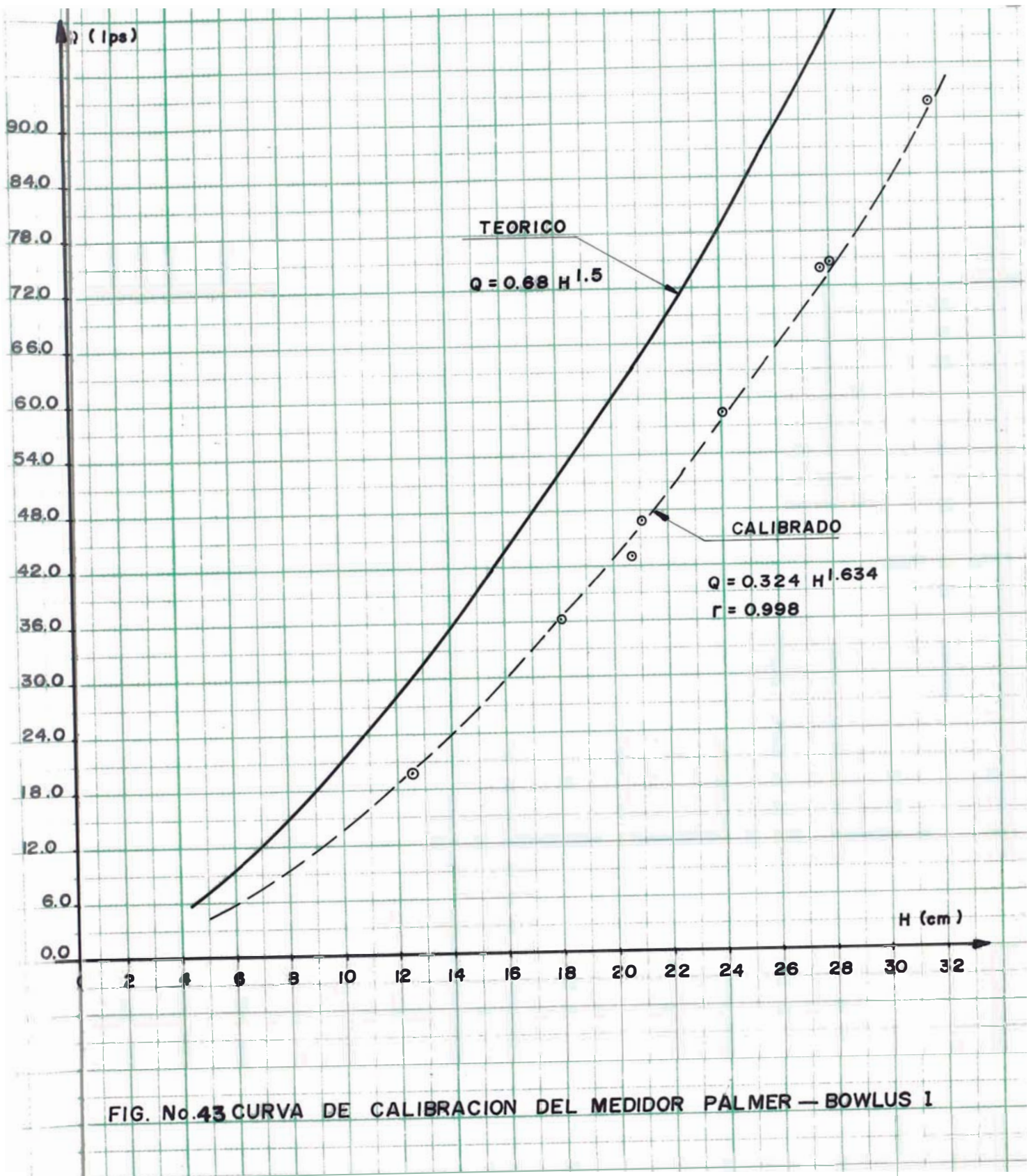


TABLA No 09

DATOS PARA CALIBRACION DEL MEDIDOR PALMER-BOWLUS II

Prueba No	Altura de agua registrada cm	Concentración del trazador ug/l	C A U D A L	
			Con datos de la Prueba	Con la ecuación teórica
1	23.65	22.3	59.1	73.0
2	20.85	27.1	48.5	60.5
3		27.6	47.7	
4	20.3	30.3	43.5	58.1
5	17.45	39.8	36.4	46.3
6	11.85	63.7	20.6	26.0

$$Q = 0.501 H^{1.50}$$

$$r = 0.997$$

En donde:

Q = Caudal del desecho, l/seg

H = Altura del desecho sobre el medidor, cm

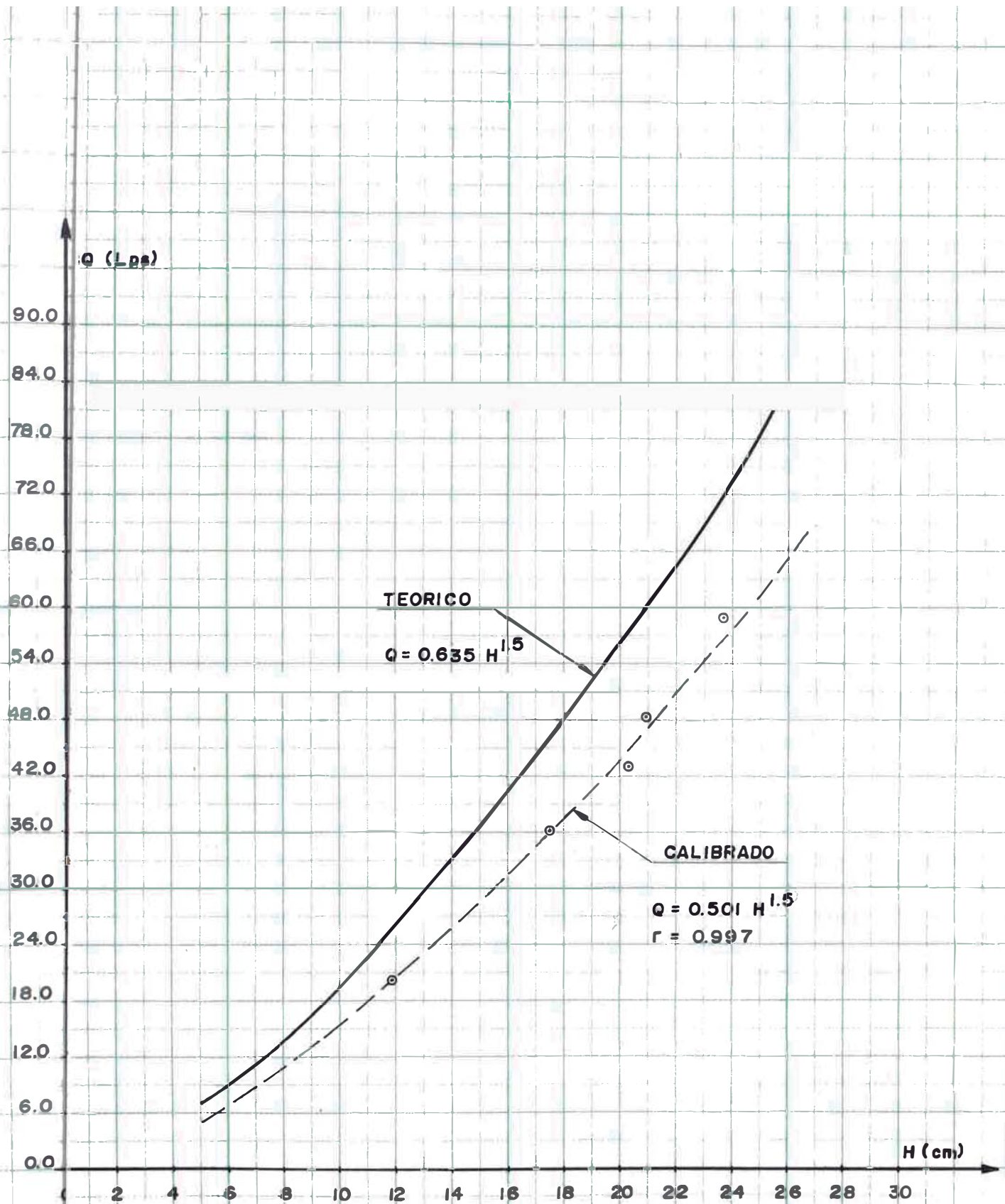


FIG. No. 44 CURVA DE CALIBRACION DEL MEDIDOR PALMER—BOWLUS II

TABLA No 10

DATOS PARA LA CALIBRACION DEL VERTEDERO TRIANGULAR 90° EFLENTE DE

LA LAGUNA P 1

Prueba No	Altura de agua registrada ( cm)	Concentración del trazador ug/l	C A U D A L	
			Con datos de la prueba	Con la acuación teórica
1	18.6	11.6	33.2	41.2
2	17.5	13.2	27.6	35.4
3	17.3	14.6	26.3	34.4
4	16.3	16.8	23.5	29.6
5	14.1	21.0	17.1	20.6
6	11.6	31.0	12.0	12.6
7	11.05	40.0	9.5	11.2

Q = Flujo , l/seg

H = Carga sobre el Vertedero , cm

$$Q = 0.04803 H^{2.223}$$

$$r = 0.996$$

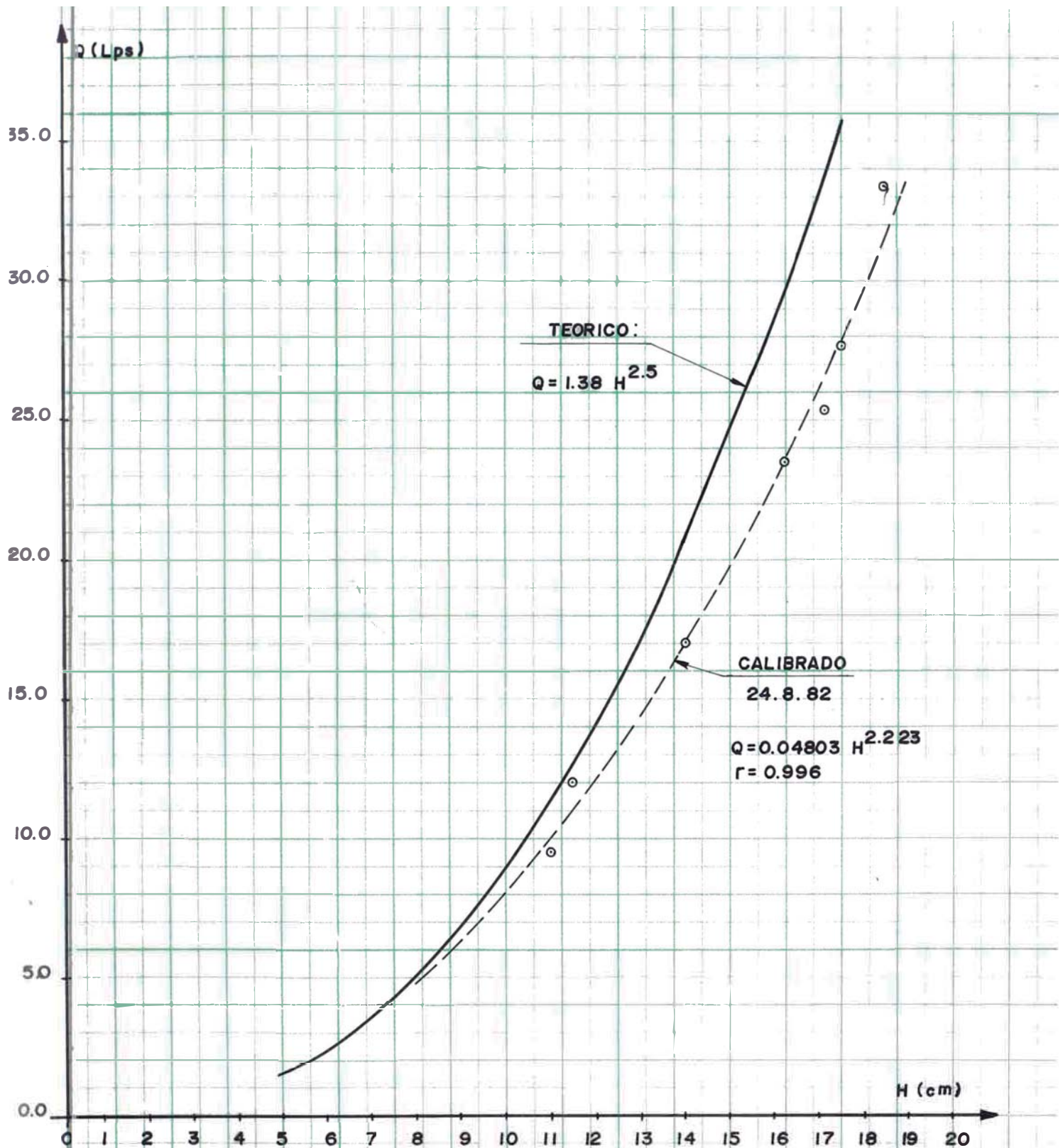


FIG. No. 45 CURVA DE CALIBRACION DEL VERTEDERO TRIANGULAR 90°  
V-NOTCH DOBLE EFLUENTE DE LAGUNA PI

TABLA No 11

DATOS PARA CALIBRACION DEL MEDIDOR PALMER- BOWLUS EFLENTE DE LA

LAGUNA S1

Prueba No	Altura de agua registrada cm	Concentración del trazador µg/l	C A U D A L l/seg	
			Con datos de la prueba	Con la ecuación teórica
1	18.65	11.4	29.1	36.0
2	16.45	16.1	21.1	29.9
3	12.70	22.2	14.7	20.2
4	12.45	22.6	16.5	19.6
5	12.20	32.0	13.7	19.0
6	11.05	36.4	12.2	16.4
7	10.65	30.8	10.8	15.5
8	10.25	30.8	11.3	14.6
9	9.55	44.0	10.1	13.1
10	8.40	60.2	7.4	10.8
11	7.05	80.0	5.6	8.3
12	5.95	80.0	4.6	6.45

Q = Flujo, lps

H = Altura sobre el vertedero, cm/

$$Q = 0.254 H^{1.608}$$

$$r = 0.994$$

CALIBRACION : 3 a 22.6.82  
Y 17.8.82

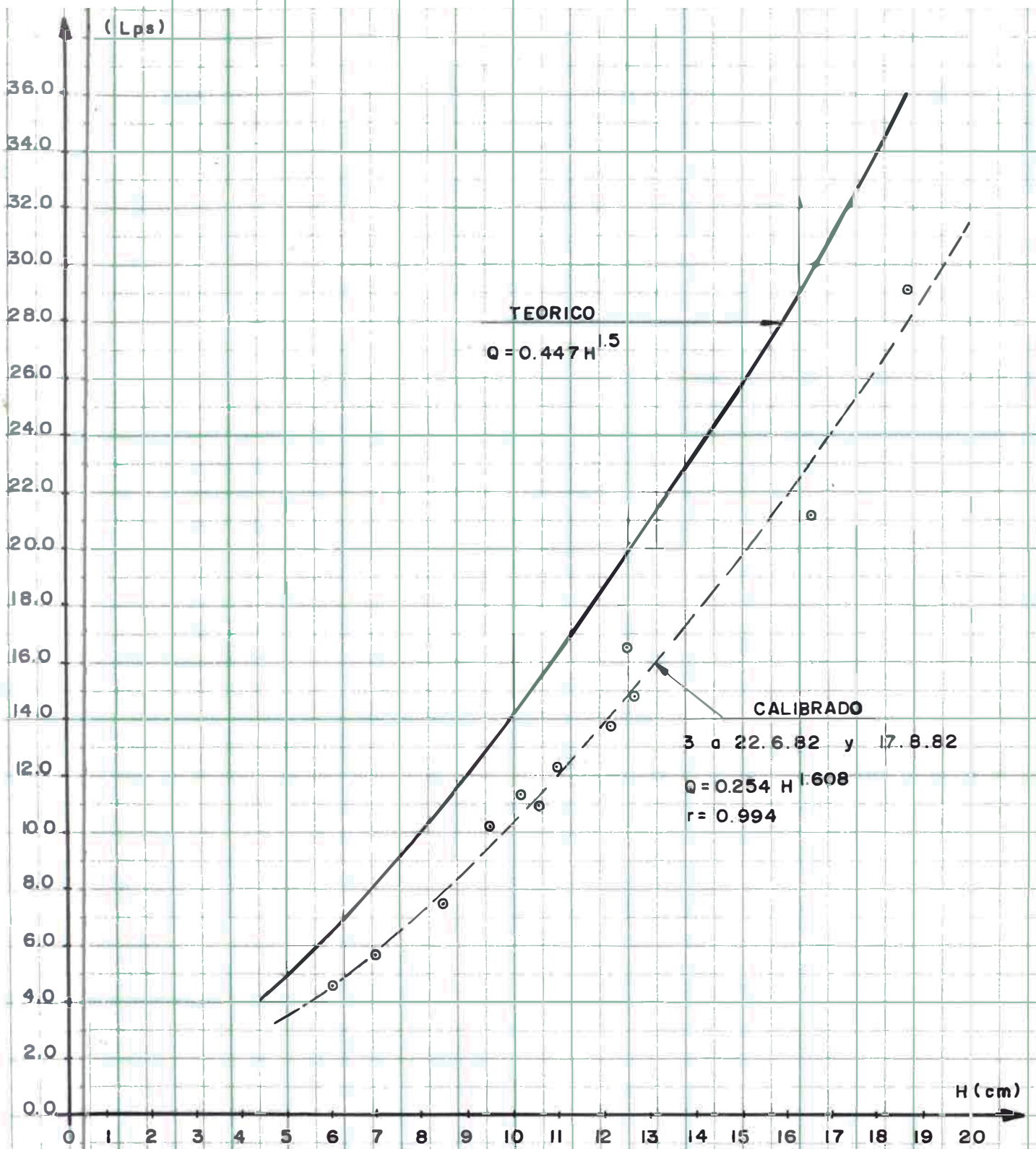


FIG. No.48 CURVA DE CALIBRACION DEL MEDIDOR PALMER - BOWLUS  
 EFLUENTE DE LAGUNA SI.



TABLA No 12

DATOS PARA CALIBRACION DEL VERTEDERO RECTANGULAR EFLUENTE DE LA LAGUNA TI

Prueba No	Altura de agua registrada cm	Concentración del trazador $\mu\text{g/l}$	C A U D A L l/seg	
			Con datos de la Prueba	Con la ecuación teórica
1	7.0	34.2	11.5	13.6
2	6.6	36.8	11.5	12.4
3	5.6	28.5	11.0	9.7
4	5.4	40.0	9.6	9.2
5	4.4	55.0	6.4	6.7

Q = Flujo . lps

H = Altura sobre el vertedero, cm

Q = 1.140 H 1.229

r = 0.910

Fecha de Calibración: Realizado en 2 ocasiones  
3 y 18.6.82

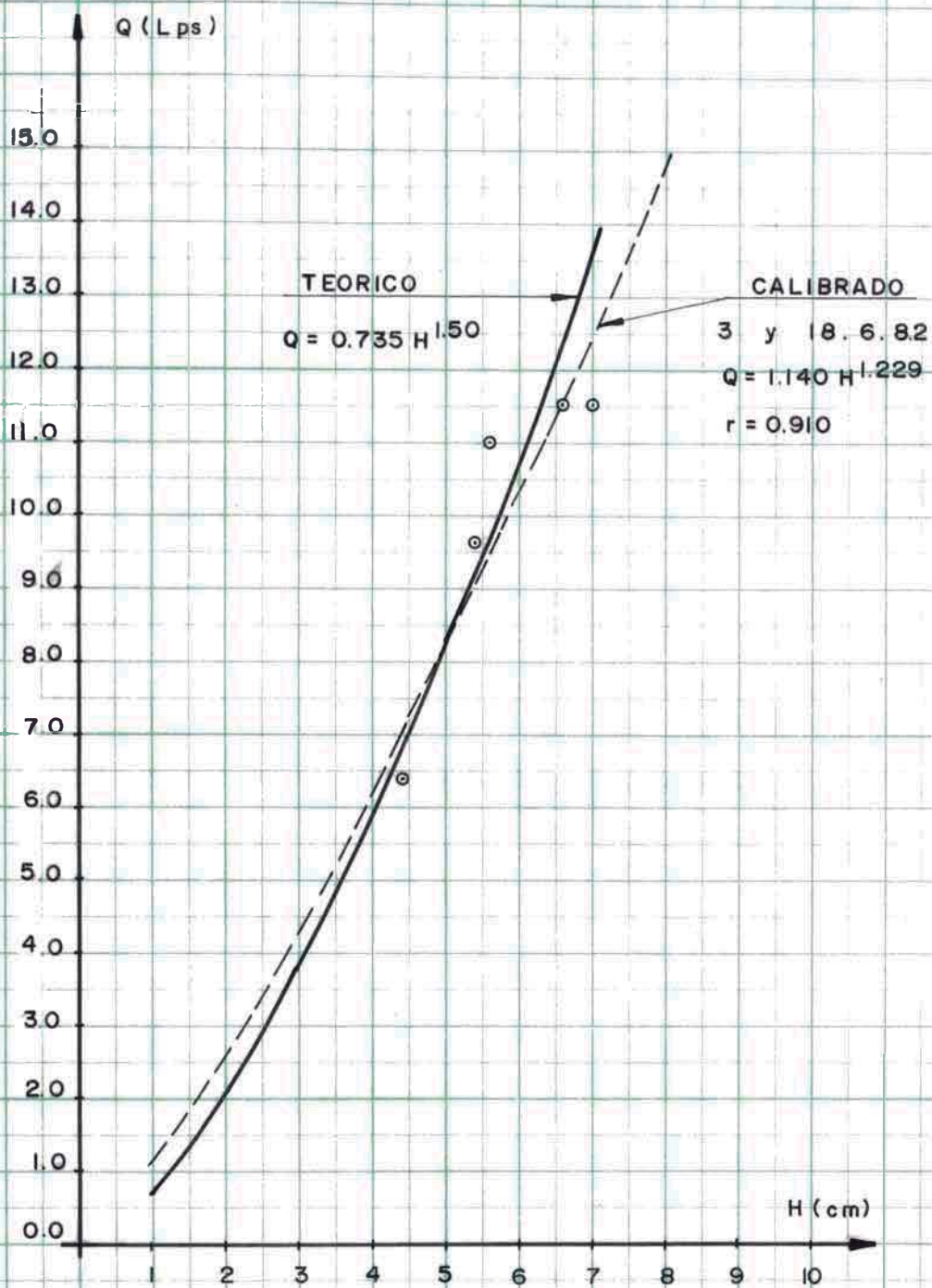


FIG. No.47 CURVA DE CALIBRACION DEL VERTEDERO RECTANGULAR  
 EFLENTE DE LAGUNA TI.

## DESARROLLO DE LA ECUACION DE LA CURVA DE CALIBRACION AJUSTADO CON UN COEFICIENTE DE CORRELACION "r".

Los numerosos experimentos y observaciones hechos con medidores de caudal llevaron a resultados que corresponden a expresiones del tipo:

$$Q = K H^n \quad \dots\dots\dots (51)$$

en donde:

Q = caudal de aguas residuales, m<sup>3</sup>/seg.

H = altura de aguas residuales registrados, m .

Generalizando la ecuación (51), podemos expresar como:

$$Y = a x^b \quad ; \quad a > 0 \quad \dots\dots\dots (52)$$

Como observamos, la ecuación (52) describe el ajuste de una curva de potenciación y que expresa la curva de calibración en general.

A continuación se desarrolla la ecuación que definirá la CURVA DE CALIBRACION de los medidores de caudal. Para el cual haremos uso del método "Regresión Lineal" del análisis Estadístico.

Para el desarrollo de la ecuación (52) partimos de un conjunto de datos conocidos tales como:

$$(K_i, Y_i) \quad , \quad i = 1, 2, 3, \dots\dots\dots n$$

en donde:

X<sub>i</sub> = H<sub>i</sub> = Altura de aguas residuales, cm .

Y<sub>i</sub> = Q<sub>i</sub> = Caudal calculado con datos de la prueba, l/seg .

N es un entero positivo y n = 1

$$X_i = H_i > 0$$

$$Y_i = Q_i > 0$$

Escribiendo la ecuación (52) como:

$$\ln Y = b \ln X + \ln a \quad \dots\dots\dots (53)$$

El problema se ha resuelto como problema de regresión lineal.

Par determinar los valores de los coeficiente "a", "b" y coeficiente de correlación se preparó un programa para las salidas estadísticas que son:

1o. Coeficientes de regresión

$$b = \frac{n \sum (\ln X_i) (\ln Y_i) - (\sum \ln X_i) (\sum \ln Y_i)}{n \sum (\ln X_i)^2 - (\sum \ln X_i)^2} \quad \dots\dots\dots (54)$$

$$a = \exp \left[ \frac{\sum \ln Y_i}{n} - b \frac{\sum \ln X_i}{n} \right] \dots\dots\dots (55)$$

## 2o. Coeficiente correlación o determinación

$$r = \sqrt{\frac{\left[ n \sum (\ln X_i) (\ln Y_i) - (\sum \ln X_i) (\sum \ln Y_i) \right]^2}{\left[ n \sum (\ln X_i)^2 - (\sum \ln X_i)^2 \right] \left[ n \sum (\ln Y_i)^2 - (\sum \ln Y_i)^2 \right]}} \dots\dots\dots (56)$$

## 3o. Valores estimados de Y que dieron para X

$$Y = a X^b \dots\dots\dots (57)$$

La ecuación (57) es equivalente a:

$$Q = a H^b \dots\dots\dots (58)$$

## En Conclusión:

La ecuación (58) define los valores de los valores de los caudales de la CURVA DE CALIBRACION de las estructuras hidráulicas (medidores de caudal), ajustados con un COEFICIENTE DE CORRELACION "r" que indica el grado de probabilidad de exactitud del conjunto de datos  $(X_i, Y_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$

### 4.1.3. Posibilidades.

La calibración de estructuras hidráulicas, sobre todo los dispositivos de control hidráulico (medidores de caudal), nos permite posibilidades de:

- Controlar el caudal real que pasan por el canal de conducción en los afluentes, y el caudal de ingreso a las lagunas primarias.
- Controlar el caudal real de salida de las lagunas (efluentes).
- Construir curvas de Calibración de los medidores de caudales reales: Q Vs. H., tal como se muestran en las Figs. No. (42), (43), (44), (45), (46) y (47).

La lectura de la carga hidráulica (altura del nivel del líquido) en el campo, es suficiente para conocer directamente y a cada instante el caudal de aguas residuales mediante el uso de las curvas de calibración construídas; porque la carga hidráulica "H" es directamente proporcional al caudal "Q".

- Conocer el rango aproximado de trabajo en el presente estudio.

Controlar el sistema de equilibrio hidráulico continuo de los reactores.

#### 4.2. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE LA LAGUNA

La información bibliográfica existente sobre uso de trazadores en sistema de agua<sup>10</sup> es muy extensa. De la información recogida, se desprende que hay dos posibilidades con respecto de uso de trazadores para laguna de oxidación. La primera es el uso de colorantes y la segunda, el uso de trazadores radioactivos.

De los colorantes, la Rhodamina WT está siendo utilizada con preferencia, por sus características no biodegradables y no absorbida en sólidos.

Las pruebas con trazadores han sido utilizadas por varios años como medio para determinar el flujo a canales, ríos o lagunas.

En laguna de estabilización es muy útil para determinar la distribución del flujo y evaluar la eficiencia hidráulica y configuración de estructuras de entrada y salida de aguas residuales en reactores. En el presente estudio de lagunas de San Juan, las pruebas con Rhodamina han sido utilizadas principalmente para definir los tiempos reales de retención y sus principales características hidráulicas del modelo de dispersión.

##### 4.2.1. Metodología de Prueba de Trazadores.

Como se ha afirmado anteriormente, las pruebas de trazadores son muy importantes en la caracterización hidráulica y estudio de la dispersión durante el proceso de funcionamiento hidráulico de la laguna. Debido a que se ha reconocido, la importancia de evaluar el aspecto hidráulico de las lagunas, se han programado pruebas con Rhodamina cada mes.

La metodología seguida para la evaluación hidráulica de las Lagunas de San Juan, ha consistido, en agregar (inyección instantánea) Rhodamina de concentración conocida en el afluente de la laguna o reactor que se quiere analizar, y determinar en el efluente de la laguna la forma como dicha concentración se distribuye a través del tiempo. A continuación ampliaré los detalles de la metodología o procedimiento seguido

10. Se procede a planear el experimento calculando primero la cantidad de Rhodamina (trazador) que será arrojado a la laguna.

El cálculo de la máxima cantidad de Rhodamina WT necesaria para una dosificación puntual en afluente de la laguna (reactor), puede aproximarse

partiendo de un nivel mínimo de detección al final de la prueba y una relación entre  $C_{mín}$  y  $C_o$ .

$$W = C_{mín} K V \dots\dots\dots (59)$$

$$10^3 p$$

20. Mediante el vertedero de carga constante sobre orificios (Fig. No. 4), se asegura un flujo estable a la entrada de la laguna y por un período de alrededor de dos veces el período de retención teórica.

en donde:

$W$  = Peso de la solución de Rhodamina (al 20%) en gr.

$C_{mín}$  = Nivel mínimo de detección de la Rhodamina al final de la prueba = 2 ug/l.

$C_o$  = Concentración idealizada de Rhodamina al ug/l .

$K = C_o$  para Rhodamina WT en lagunas.

$C_{mín}$

$V$  = Volumen de la laguna en  $m^3$

$P$  = Porcentaje de Rhodamina en la solución líquida 0.2

30. Se arroja la solución de Rhodamina en forma puntual e instantánea en el afluente de la laguna, tal como se indica en la Fig. No.(48). La cantidad de Rhodamina arrojada puede ser menor o igual al calculado por la ecuación (59)



Fig. No. 48 INYECCION PUNTUAL E INSTANTANEA DE LA SOLUCION DE RHODAMINA.

En la Fig. No. (49) podemos visualizar la evidencia de las características hidráulicas del FLUJO DE PISTON DISPERSO, con fluctuaciones debido a diferentes velocidades de flujo y a difusión turbulenta y molecular tal como se había representado en la Fig.No 23.



Fig. No. 49 VISTA EN PLANTA DE DISTRIBUCION DE VELOCIDADES DE FLUJO Y DIFUSION TURBULENTO (Flujo de Pistón disperso) .

40. Se comienza a tomar muestras horarias en el efluente de la laguna (punto de salida de la laguna) 2 ó 3 días consecutivos, hasta después de haber registrado el pico de la curva (C Vs. t). Posteriormente fue suficiente un muestreo puntual diario a la misma hora. La determinación de la hora adecuada para el muestreo instantáneo fue hecha mediante un programa intensivo de muestreo (horario) y análisis.

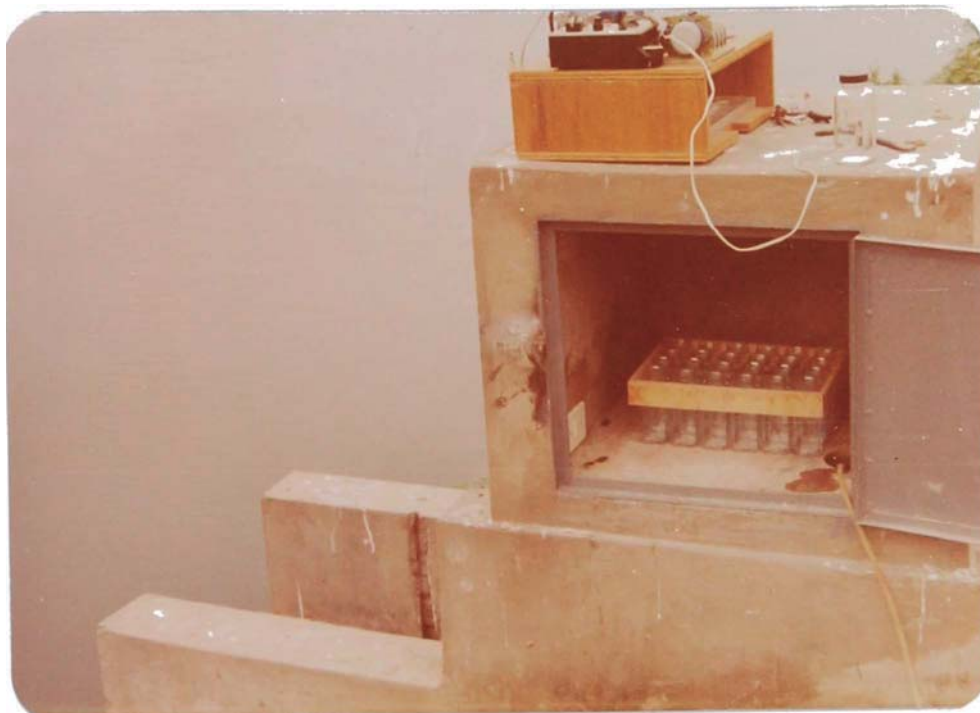
Se ha seguido el programa de muestreo horario, porque gran número de investigadores reporta el muestreo instantáneo a una hora del día en la cual las condiciones sean similares al promedio. Para el caso de laguna, han sido empleadas las horas de la mañana cercanas al medio día<sup>3</sup> y en otros casos, entre las 8:00 y 9:00 horas.

La literatura reporta gran variación en las características de programas de muestreo. La evaluación de funcionamiento de laguna puede llevarse a cabo con muestreo continuos horarios o diarios o semanales o bisemanales. El tipo de muestreo se seleccionó en base a la necesidad de componer la muestra para adecuarse a las posibles variaciones. Como repito para la evaluación de las lagunas de San Juan, como hay parámetros de gran variabilidad o donde no es factible

la preservación como es el caso de: pH, alcalinidad, oxígeno disuelto y temperatura, se utilizará el muestreo instantánea e intensivo horario durante 24 horas.

El muestreo horario se llevó a cabo mediante MUESTRADORES AUTOMATICOS, que operó mediante fuente de energía eléctrica. El muestreador automático utilizado se instaló correctamente dentro de la Caseta de muestreo tal como se indica en la Fig. No.50

Los muestreadores automáticos están adecuados para cada una hora colectando un volumen constante de muestra virtiéndolo a frascos o recipientes para su preservación



Muestreador mostrando la bomba y la caja de colección y preservación



b) Muestreador correctamente instalado en la caseta de muestreo.

Fig. No. 50 MUESTRADOR AUTOMATICO USADO EN LOS EFLUENTES DE LAS LAGUNAS DE SAN JUAN.



El muestreador automático está diseñado para recorrer un ciclo de bombeo cada hora. La operación está controlada mediante un interruptor eléctrico cíclico de cuatro contactos. El primer interruptor pone en marcha la bomba de desplazamiento positivo que colecta un volumen deseado de muestra. Un segundo interruptor vacía la tubería de succión. El tercer interruptor activa un selenoide para mover un brazo de distribución y el cuarto interruptor opera conjuntamente con el segundo para invertir la polaridad del motor.

Las partes principales del Muestreador Automático utilizado para el estudio de las Lagunas de San Juan, se indica en la Fig. No. 51.

50. Las 24 muestras coleccionadas en frascos, son recogidas y llevadas al laboratorio de CEPIs cada 24 horas. En el laboratorio las muestras son analizadas por FLUOROMETRIA para determinar las concentraciones del trazador (Rhodamina). Previo al análisis es recomendable la separación de algas por filtración en papel de Microfibra de vidrio.

Como se ha indicado, el análisis de la muestra fue efectuado por FLUOROMETROs usando ESPECTROFLUOROMETROS con escala expandida con nivel mínimo de detección baja a 0.2 0.3 ug/l.

60. Obtenida los resultados del análisis de las muestras se procede al procesamiento de datos para determinar el PERIODO DE RETENCION EXPERIMENTAL y EL FACTOR DE DISPERSION aplicando las ecuaciones No. 31 y No.34 respectivamente.

Los resultados de las pruebas de Trazadores se muestran en Tablas No. 13, 14, 15, 16 y 17. y que han sido graficados tal como se indican las Figs. No. 52, 53, 54, 55 y 56.

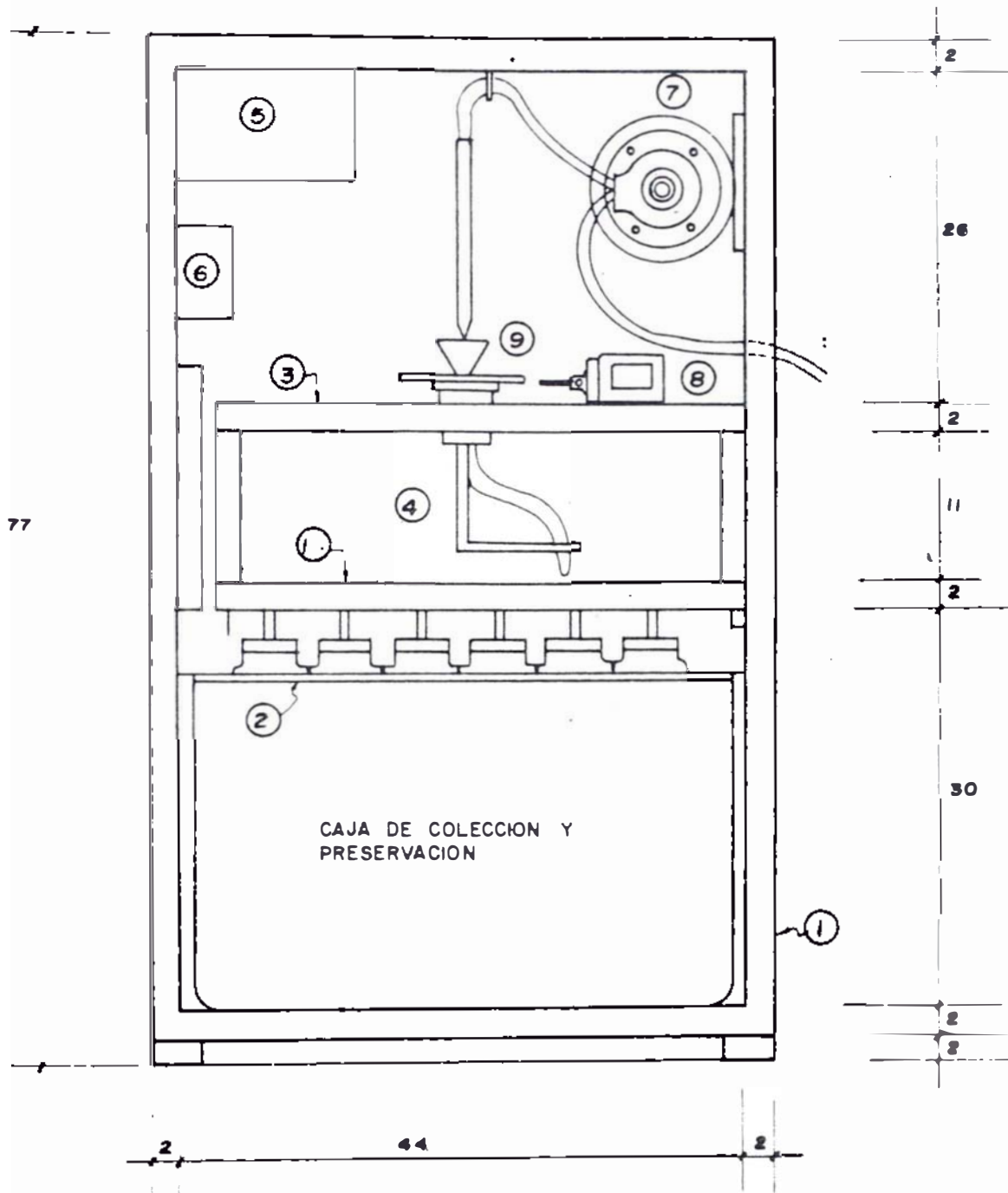


Fig. N° 51. VISTA FRONTAL DEL MUESTREADOR AUTOMATICO USADO EN LAGUNA SAN JUAN

## LISTA DE PARTES DEL MUESTREADOR AUTOMATICO

1. Caja
2. Caja de Tecknopor para colección y preservación de muestras.
3. Tabla de soporte del mecanismo de distribución .
4. Brazo de distribución .
5. Controlador de Flujo .
6. Interruptro cíclico .
7. Bomba .
8. Selenoide .
9. Mecanismos de rotación .
10. Base de hierro.

## T A B L A No 13

## PRUEBA DE TRAZADORES: LAGUNA P1-1ra PRUEBA

FECHA DE LA PRUEBA INICIO :25/08/82 CANTIDAD DE TRAZADOR :150 gr  
 TERMINO :10/09/82 TIPO DE TRAZADOR : Rhodamina WT

## \*DATOS EXPERIMENTALES\*\*

TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION (Ug/l)	TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION (Ug/l)	TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION (Ug/l)
0.0	0.60	37.0	14.30	378.3	0.00
1.0	0.00	38.0	14.00		
2.0	0.00	39.0	11.20		
3.0	1.10	40.0	13.00		
4.0	3.00	41.0	13.00		
5.0	17.50	42.0	13.00		
6.0	21.50	46.0	11.50		
7.0	15.50	47.0	12.00		
8.0	15.00	48.0	11.50		
9.0	18.10	49.0	11.50		
10.0	15.00	50.0	13.00		
11.0	12.80	51.0	12.80		
12.0	12.90	52.0	12.00		
13.0	13.80	53.0	12.00		
14.0	14.90	54.0	11.50		
15.0	14.40	55.0	11.80		
16.0	18.50	56.0	12.30		
17.0	12.90	57.0	11.50		
18.0	13.00	58.0	11.00		
19.0	14.50	59.0	12.00		
20.0	14.50	60.0	11.50		
21.0	14.50	61.0	10.90		
22.0	14.50	62.0	11.10		
23.0	14.00	63.0	11.10		
24.0	14.20	64.0	10.80		
25.0	13.10	65.0	10.50		
26.0	14.80	66.0	10.00		
27.0	14.90	94.2	8.90		
28.0	14.90	118.2	7.00		
29.0	14.30	140.4	7.00		
30.0	14.90	165.4	4.00		
31.0	14.90	187.4	4.50		
32.0	13.90	211.4	2.90		
33.0	13.00	237.4	2.00		
34.0	14.20	282.3	2.00		
35.0	13.50	331.2	2.90		
36.0	14.80	354.2	2.00		

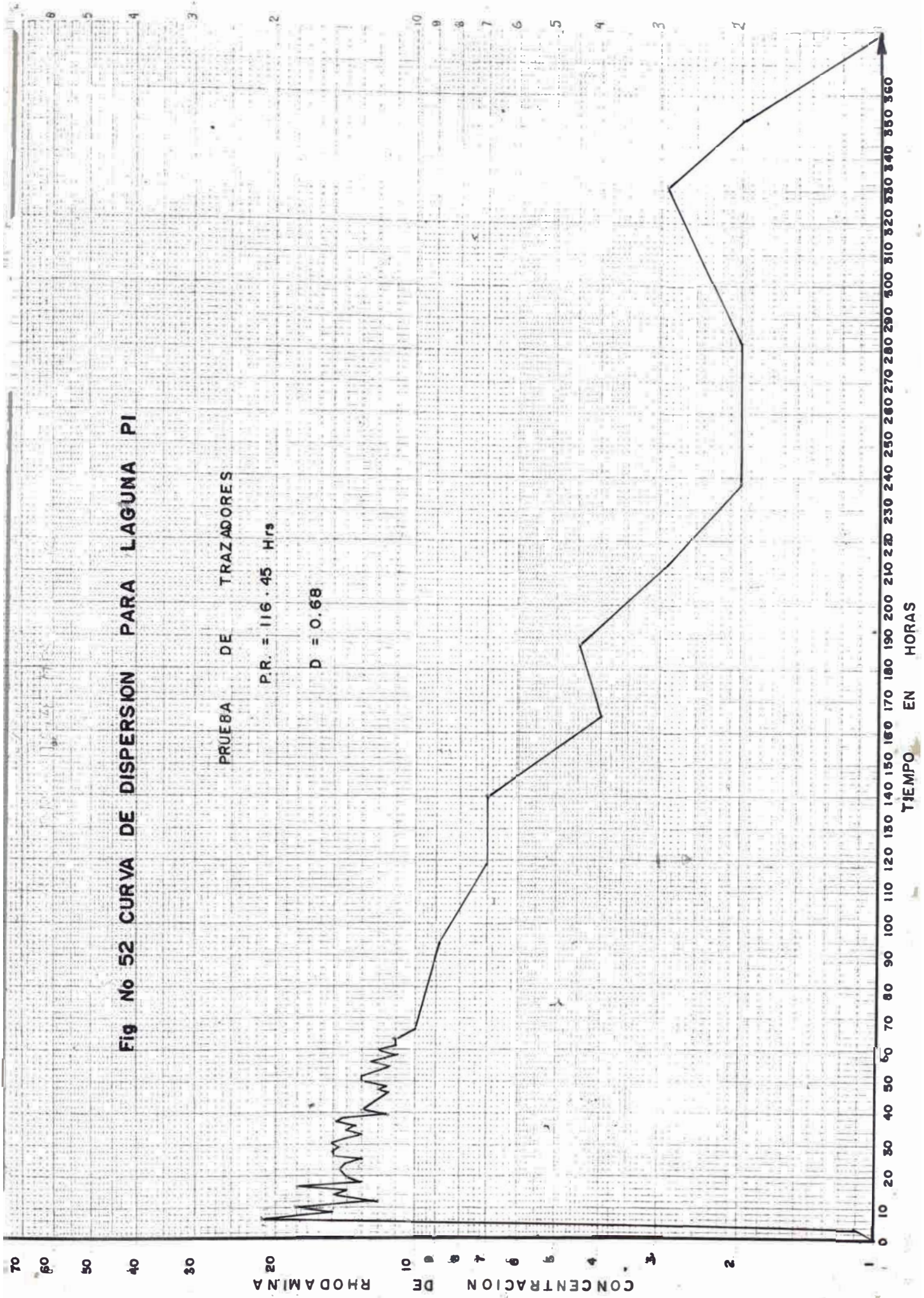
AREA DE LA LAGUNA (Ha) = 1.20  
 PROF. DE LA LAGUNA (Mts) = 1.30  
 PERIODO DE RETENCION (Hrs) = 116.45  
 VARIANZA = 8,915.54  
 VARIANZA ADIMENSIONAL = 0.65  
 FACTOR DE DISPERSION (D) = 0.68  
 P. R. TEORICO (Hrs) = 247.60

Fig No 52 CURVA DE DISPERSION PARA LAGUNA PI

PRUEBA DE TRAZADORES

P.R. = 116.45 H/rs

D = 0.68



TIEMPO EN HORAS

CONCENTRACION DE RHODAMINA

## T A B L A No 14

PRUEBA DE TRAZADORES: LAGUNA S1-5 ta. PRUEBA

FECHA DE LA PRUEBA INICIO :19/07/82 CANTIDAD DE TRAZADOR :150 gr  
 TERMINO :02/08/82 TIPO DE TRAZADOR: Rhodamina WT

## \*DAOS EXPERIMENTALES\*\*

TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION ( Ug/1 )	TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION ( Ug/1 )
00	0.00	58.0	4.50
10	0.00	60.0	4.00
20	4.00	62.0	4.00
30	19.00	64.0	4.00
40	11.50	66.0	4.50
50	5.00	90.4	3.50
60	6.00	117.1	1.00
70	7.00	145.2	1.00
80	8.00	165.1	1.00
90	5.50	186.4	1.50
100	6.00	212.9	0.50
110	6.50	237.1	0.50
120	7.00	258.8	0.00
130	5.50		
140	6.00		
150	6.50		
160	5.50		
170	5.50		
180	5.00		
200	5.00		
210	6.00		
220	6.00		
230	5.50		
250	5.50		
270	5.50		
290	5.50		
320	5.50		
340	5.00		
360	5.00		
380	5.00		
400	5.00		
420	5.00		
440	5.50		
460	5.00		
500	5.00		
540	5.00		
560	5.00		

AREA DE LA LAGUNA (Ha) = 1.44  
 PROF. DE LA LAGUNA (Mts) = 1.60  
 PERIODO DE RETENCION (Hrs) = 71.98  
 VARIANZA = 3,504.90  
 VARIANZA ADIMENSIONAL = 0.67  
 FACTOR DE DISPERSION (D) = 0.73  
 P.R TEORICO (Hrs) = 452.20

C (ug/L)

### Fig. No 53 CURVA DE DISPERSION PARA LAGUNA SI - 5ta Prueba

PRUEBA DE TRAZADORES

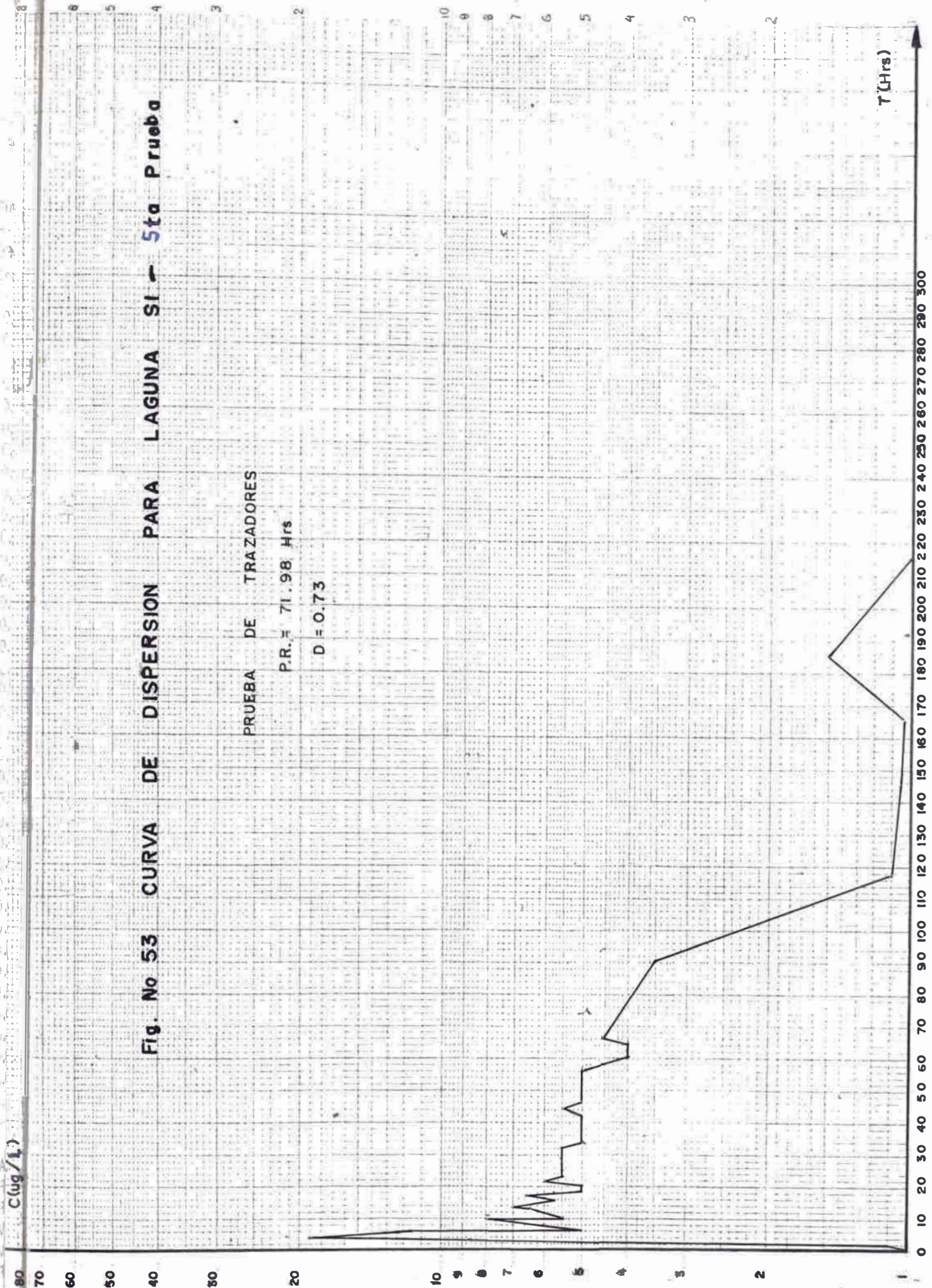
P.R. = 71.98 Hrs

D = 0.73

CONCENTRACION DE RHODAMINA

TIEMPO EN HORAS

T (Hrs)



## T A B L A - No 15

PRUEBA DE TRAZADORES: LAGUNA S1-6 ta. PRUEBA

ECH. DE LA PRUEBA INICIO :29/10/82  
 TERMINO :15/11/82 CANTIDAD DE TRAZADOR :199.1 gr

DATOS EXPERIMENTALES\*\*

TIPO DE TRAZADOR: Rhodamina WT

TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION ( Ug/l )	TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION ( Ug/l )
0.)	0.00	81.0	4.60
1.)	0.00	82.0	5.40
2.)	0.60	83.0	4.50
3.)	6.80	120.5	3.40
4.)	14.80	143.9	5.50
5.)	13.80	243.3	2.30
6.)	11.40	288.0	1.10
7.)	7.70	408.3	1.30
8.)	8.20		
9.)	9.60		
10.)	7.70		
11.)	8.00		
12.)	5.40		
13.)	7.30		
14.)	7.10		
15.)	6.80		
16.)	6.60		
17.)	6.50		
48.B	4.80		
49.B	6.50		
50.B	5.60		
51.B	6.40		
52.B	6.10		
53.B	5.80		
54.B	5.60		
55.B	8.10		
56.B	6.60		
57.B	5.80		
58.B	9.10		
73.D	3.40		
74.D	3.50		
75.D	4.10		
76.D	4.40		
77.D	4.10		
78.D	4.40		
79.D	5.30		
80.D	5.40		

AREA DE LA LAGUNA (Ha) = 1.44  
 PROF. DE LA LAGUNA (Mts) = 1.60  
 PERIODO DE RETENCION (Hrs) = 140.54  
 VARIANZA = 10,666.03  
 VARIANZA ADIMENSIONAL = 0.53  
 FACTOR DE DISPERSION (D) = 0.43  
 T.R. TEORICO (Hrs) = 315.10



70  
50  
40  
30  
20  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

Fig No 5 4 CURVA DE DISPERSION PARA LAGUNA SI - 6da Prueba

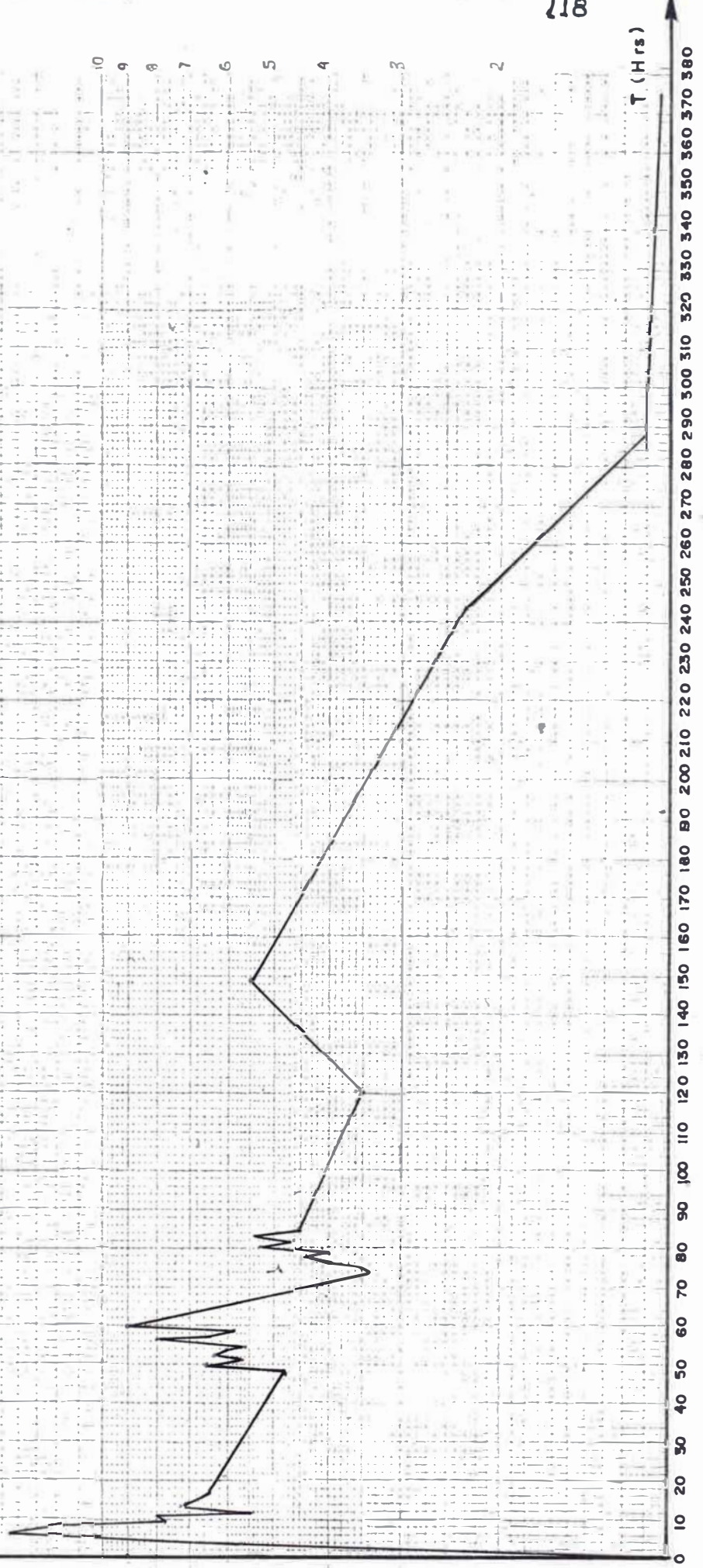
PRUEBA DE TRAZADORES

P. R. = 140.54 Hrs

D = 0.43

CONCENTRACION DE RHODAMINA

T (Hrs)



## T A B L A No 16

## PRUEBA DE TRAZADORES: LAGUNA T1-1 ra PRUEBA

FECHA DE LA PRUEBA INICIO :01/07/82 CANTIDAD DE TRAZADOR :150 gr  
 TERMINO :13/07/82 TIPO DE TRAZADOR: Rhodamina WT

\*DATOS EXPERIMENTALES\*\*

TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION (Ug/l)	TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION (Ug/l)	TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION (Ug/l)
0.0	1.00	38.0	9.00	288.0	2.00
1.0	1.00	39.0	9.00		
1.5	1.00	40.0	9.00		
3.0	25.50	41.0	8.50		
4.0	10.00	42.0	9.00		
5.0	7.00	43.0	9.00		
6.0	10.00	44.0	8.50		
7.0	9.00	45.0	8.50		
8.0	11.00	46.0	8.50		
9.0	10.00	47.0	8.50		
10.0	11.00	48.0	8.00		
11.0	11.00	49.0	5.00		
12.0	8.50	50.0	5.50		
13.0	9.00	51.0	6.00		
14.0	9.00	52.0	6.50		
15.0	9.50	53.0	6.00		
16.0	9.00	54.0	6.50		
17.0	8.50	55.0	7.00		
18.0	9.00	56.0	6.00		
19.0	8.00	57.0	7.00		
20.0	8.50	58.0	7.00		
21.0	8.00	59.0	6.50		
22.0	8.50	60.0	6.00		
23.0	8.50	61.0	6.00		
25.0	9.00	62.0	6.00		
26.0	7.50	63.0	6.00		
27.0	10.00	64.0	6.50		
28.0	10.00	65.0	6.00		
29.0	9.00	66.0	6.00		
30.0	9.00	67.0	6.00		
31.0	9.00	68.0	6.50		
32.0	9.00	69.0	6.00		
33.0	9.00	99.8	6.00		
34.0	8.50	118.5	5.50		
35.0	8.50	143.1	4.50		
36.0	9.00	195.4	3.50		
37.0	9.00	215.1	3.00		

AREA DE LA LAGUNA (Ha) = 1.49  
 PROF. DE LA LAGUNA (Mts) = 1.30  
 PERIODO DE RETENCION (Hrs) = 107.49 ~ 245.7  
 VARIANZA = 6,183.50  
 VARIANZA ADIMENSIONAL = 0.53  
 FACTOR DE DISPERSION (D) = 0.42  
 P.R. TEORICO (Hrs) = 245.70

Fig No 55 CURVA DE DISPERSION PARA LAGUNA TI - lora Pruebo

PRUEBA DE TRAZADORES

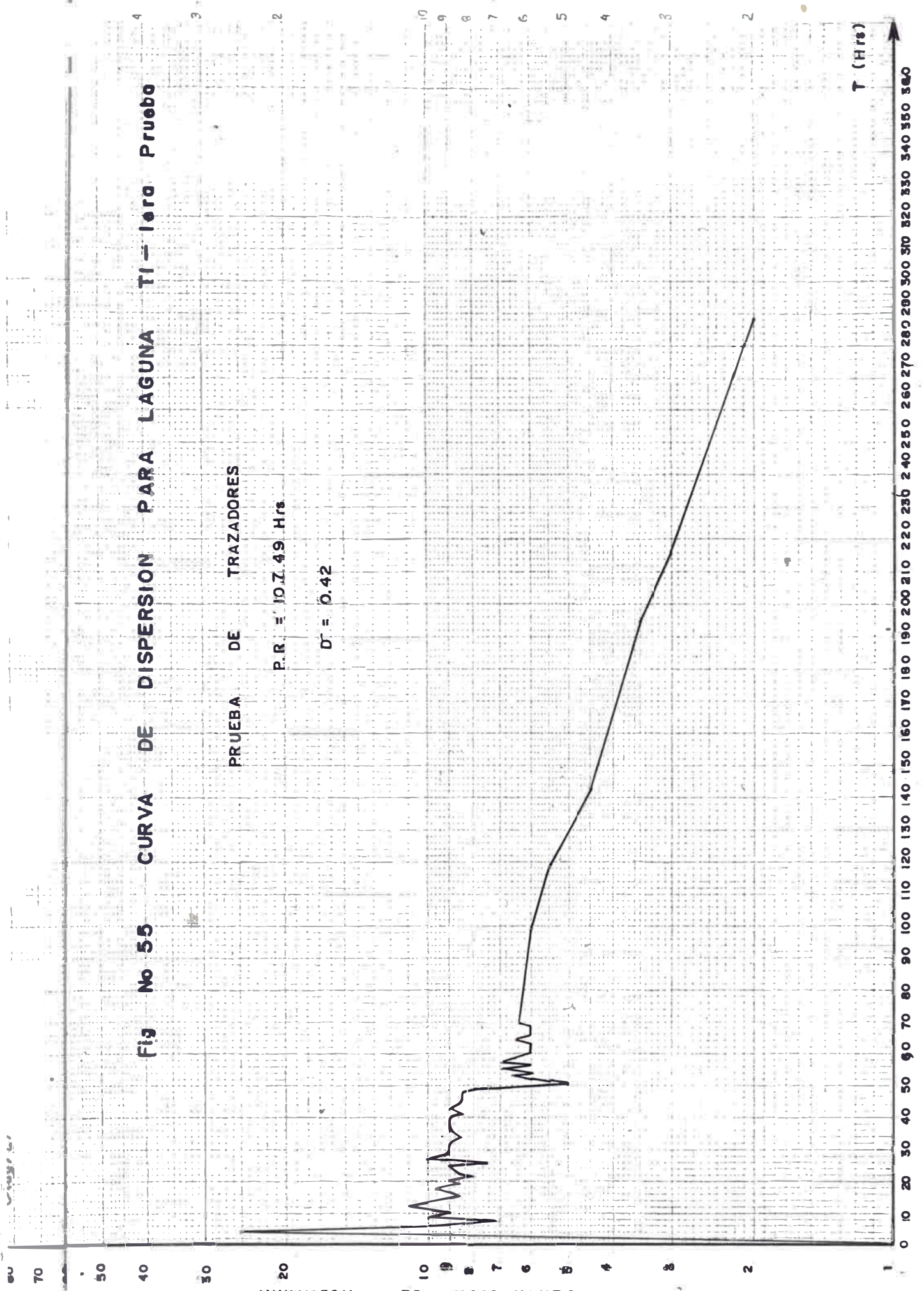
P.R. = 10.7.49 Hrs.

$D^2 = 0.42$

CONCENTRACION DE RHODAMINA

T (Hrs)

TIEMPO EN HORAS



## T A B L A No 17

PRUEBA DE TRAZADORES: LAGUNA T1-2 da PRUEBA

FECHA DE LA PRUEBA INICIO : 30/09/82 CANTIDAD DE TRAZADOR : 224.4 gr  
 TERMINO : 14/10/82

\*DATOS EXPERIMENTALES\*\*

TIPO DE TRAZADOR: Rhodamina WT

TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION ( Ug/1 )	TIEMPO (Horas)	CONCENTRACION ( Ug/1 )
0.0	0.50	56.0	7.20
1.0	109.00	57.0	7.20
2.0	33.40	58.0	7.00
3.0	14.20	59.0	6.10
4.0	15.20	60.0	7.20
5.0	17.00	61.0	7.10
6.0	12.20	62.0	6.60
8.0	12.50	63.0	7.50
9.0	13.00	64.0	7.80
10.0	10.20	65.0	7.30
11.0	10.20	66.0	7.20
24.0	9.30	67.0	7.10
27.2	9.00	68.0	6.60
28.2	8.00	69.0	7.10
29.2	8.20	71.2	6.80
30.2	8.00	96.7	9.20
31.2	8.50	143.0	7.30
32.2	11.80	167.3	9.50
33.2	9.60	287.2	3.30
34.2	7.80	310.8	2.50
35.2	9.00	334.8	0.80
36.2	10.10		
37.2	9.00		
38.2	9.00		
39.2	8.40		
40.2	8.20		
41.2	7.70		
42.2	8.00		
43.2	8.10		
44.2	8.70		
45.2	10.00		
46.2	8.50		
47.2	8.50		
52.2	8.00		
53.2	7.50		
54.0	8.00		
55.0	7.40		

AREA DE LA LAGUNA (Ha) = 1.49  
 PROF. DE LA LAGUNA (Mts) = 1.30  
 PERIODO DE RETENCION (Hrs) = 129.55  
 VARIANZA = V 7,887.45  
 VARIANZA ADIMENSIONAL = F 0.46  
 FACTOR DE DISPERSION (D) = 0.33  
 P.F. TEORICO (Hrs) 344.90

344.9

C. (µg/L)

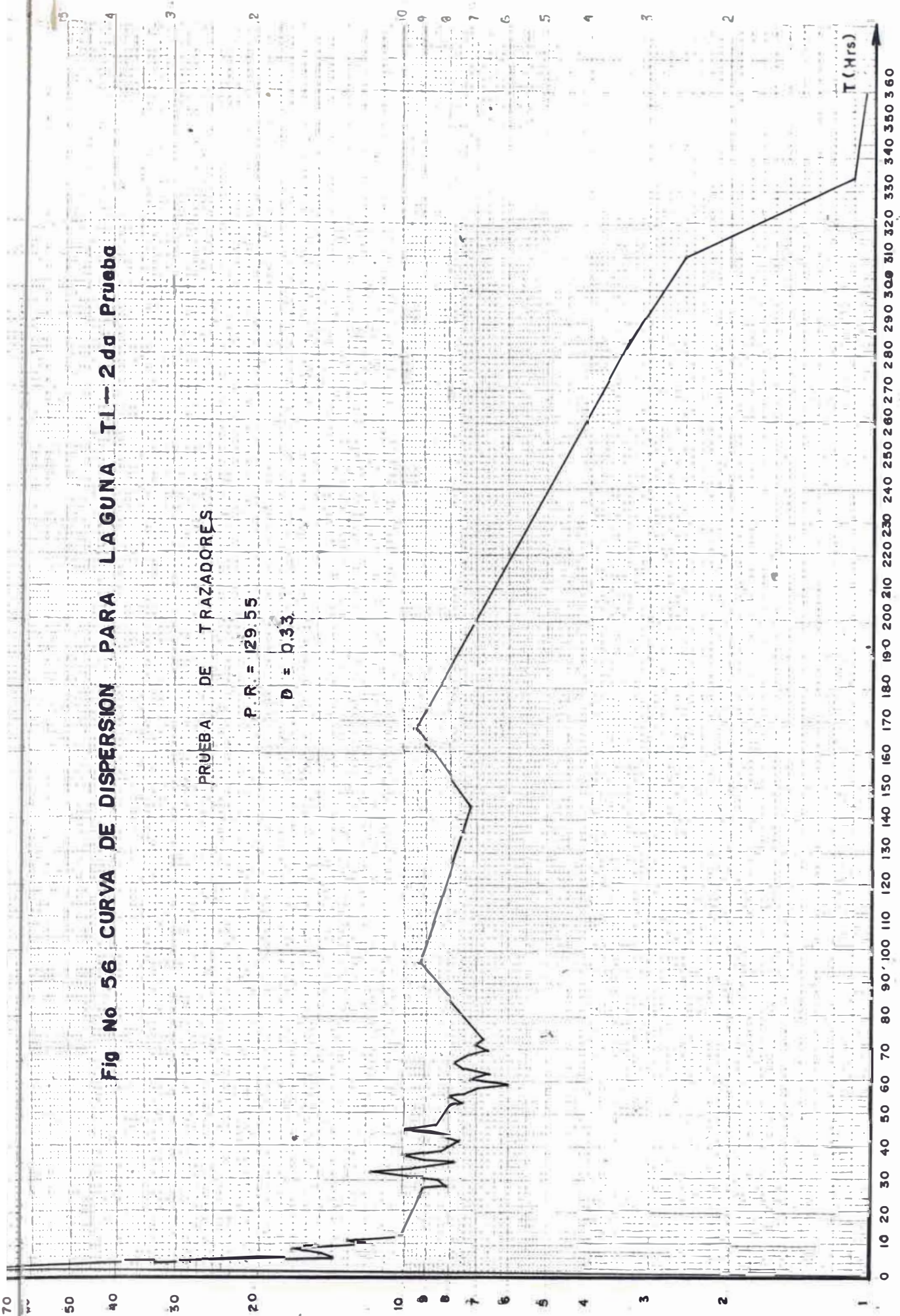
Fig No 56 CURVA DE DISPERSION PARA LAGUNA TL-- 2da Prueba

PRUEBA DE TRAZADORES

P. R. = 129.55

D = 0.33

CONCENTRACION DE RHODAMINA



TIEMPO EN HORAS

T (Hrs)

#### 4.2.2. Problemas de las Pruebas con Trazadores.

Las pruebas de trazadores son muy útiles para conocer cómo se desplazan las diferentes masas de agua dentro del reactor. Pero los datos obtenidos se refieren solamente al momento en que se hace la prueba, y que no representa necesariamente el comportamiento en todas las condiciones.

Tampoco dicen nada sobre la eficiencia de los reactores, pues estos procesos dependen no sólo de las características hidráulicas de los reactores, sino también de las químicas.

Puede por eso presentarse el caso de que la laguna con un mal comportamiento hidráulico (flujo de pistón menor de 60%) produzca una remoción mayor de partículas, que otro con un buen funcionamiento hidráulico pero con partículas, que tienen velocidades de sedimentación menores.

Es importante recalcar el análisis de la prueba de trazadores no determina tampoco las trayectorias de las partículas o del flujo o cómo éste se distribuye en el reactor, indicando su tiempo de permanencia pero no su trayectoria.

Iones como el cloro son malos trazadores, porque reacciona con los compuestos que existen en aguas residuales y que por tanto la concentración total que se determine a la salida sea menor a la que se aplique a la entrada de la laguna. Por esta razón la Rhodamina ha sido utilizado con preferencia, por sus características no biodegradable y no adsorbtiva en sólidos.

Casi en todas las pruebas se pierde algo de trazador (Rhodamina), por tanto en el efluente de la laguna no podemos esperar el 100% de recuperación a pesar de sus características, de ser un buen trazador.

El uso de altas concentraciones de trazador podría producir corrientes cinéticas por variación de densidad dando resultados erróneas, por eso es preferible el uso de métodos de dosificación continua, o con bajas dosificaciones.

La variación de la temperatura del medio ambiente o del agua ocasiona variaciones en los resultados al producir corrientes térmicas. Así mismo el efecto de los vientos acelera o retarda la velocidad del flujo de aguas residuales, dando resultados erróneos.

#### 4.2.3. Consideraciones de Infiltración y Evaporación.

Las pruebas de infiltración son de suma importancia para mantener la continuidad del flujo en el efluente de las lagunas terciarias o en los efluentes de lagunas cuaternarias, de modo que satisfaga las necesidades del uso. O sea mantener un caudal apropiado en las salidas

de las lagunas terciarias que serán utilizadas en la agricultura y Piscicultura.

Para lograr un buen funcionamiento hidráulico de las lagunas, se deben de procurar que se cumpla el equilibrio del balance hidráulico de la laguna; o sea:

$$Q - (Q_e + Q_i + Q_{ev}) = 0 \quad \dots\dots\dots(60)$$

Otras consideraciones importantes que se deben de tener muy presente:

- a) Si  $Q_a - (Q_i + Q_{ev}) \leq 0$  ;  $\dots\dots\dots(61)$   
se produce la DESCARGA TERMINAL.

Osea la laguna en la cual la sumatoria de caudales de infiltración y evaporación son mayores que el caudal de ingreso a la laguna, implica que no tendremos caudal de salida de la laguna y por tanto no tendremos agua para la agricultura ni para la Piscicultura. En estos casos posiblemente el caudal de infiltración sean demasiado considerable, esto se podrá evitar formando una capa para bajar la permeabilidad del fondo de la laguna.

- b) Si  $Q_a - (Q_i + Q_{ev}) > 0$  ,  $\dots\dots\dots(62)$   
se produce DESCARGA PERMANENTE.

Osea en las salidas de las lagunas tendremos un caudal permanente que serán utilizadas tanto en la agricultura como en la Piscicultura y así estaríamos logrando uno de nuestros objetivos del estudio.

## METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE INFILTRACION

La medición de infiltración y evaporación combinadas han sido fácilmente efectuadas y evaluadas.

La Fig. No. 57 ayuda la explicación del procedimiento aguido para las pruebas de infiltración y evaporación de las 3 lagunas que funcionan en serie.

Las pruebas de infiltración y evaporación se han realizado simultáneamente en las tres lagunas para el cual se han seguido el procedimiento siguiente.

- a) Se cierran simultaneamente el ingreso y las salidas de las 1 lagunas mediante una compuerta de asbesto. En la Fig. No.57 se cierran en el punto 1 (punto de ingreso) y los puntos 2, 3 y 4 (puntos de salida). Como repito el cierre en todos los puntos mencionados se efectúa simultaneamente.
- b) Se fijan puntos de referencia en las lagunas para medir las alturas de agua; o sea para medir el nivel superficial de las lagunas se instala un registrador de altura líquida.
- c) Fijado el punto de referencia, se hace la lectura inicial del nivel de agua. Luego del tiempo adecuado de 24 horas (1 día) aproximadamente, se hace la lectura final del nivel de agua

d) El cambio del nivel de Agua:

$$\Delta H = H_i - H_f$$

de la laguna después del tiempo adecuado se observa en el registrado de la altura líquida, que se halla instalado en una caseta (Limnógrafo).

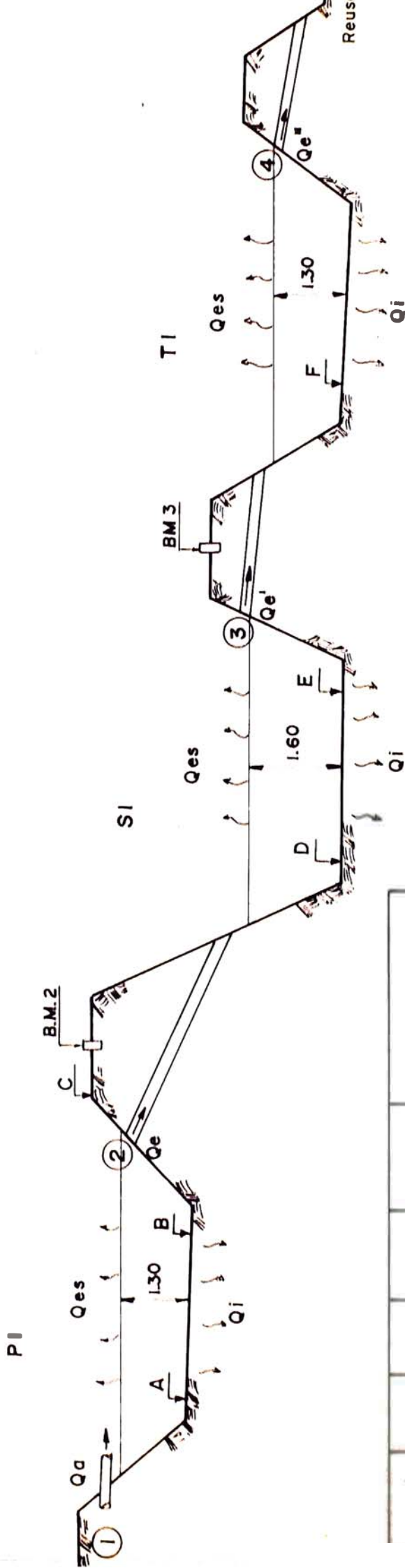
e) Los datos de cambio de nivel de agua ( h), y el tiempo adecuado son utilizados para el procesamiento de datos aplicando la ecuación (41).

$$\Delta H = f (Q_i)$$

Los resultados de las pruebas de Infiltración de las lagunas se indican en las Tablas No. 18, 19 y 20 y que han sido graficadas tal como se indican en las Figs. No. 58, 59 y 60.



FIG. No.57 NIVELES HIDRAULICOS DE LAGUNAS INSTALADAS EN SERIE



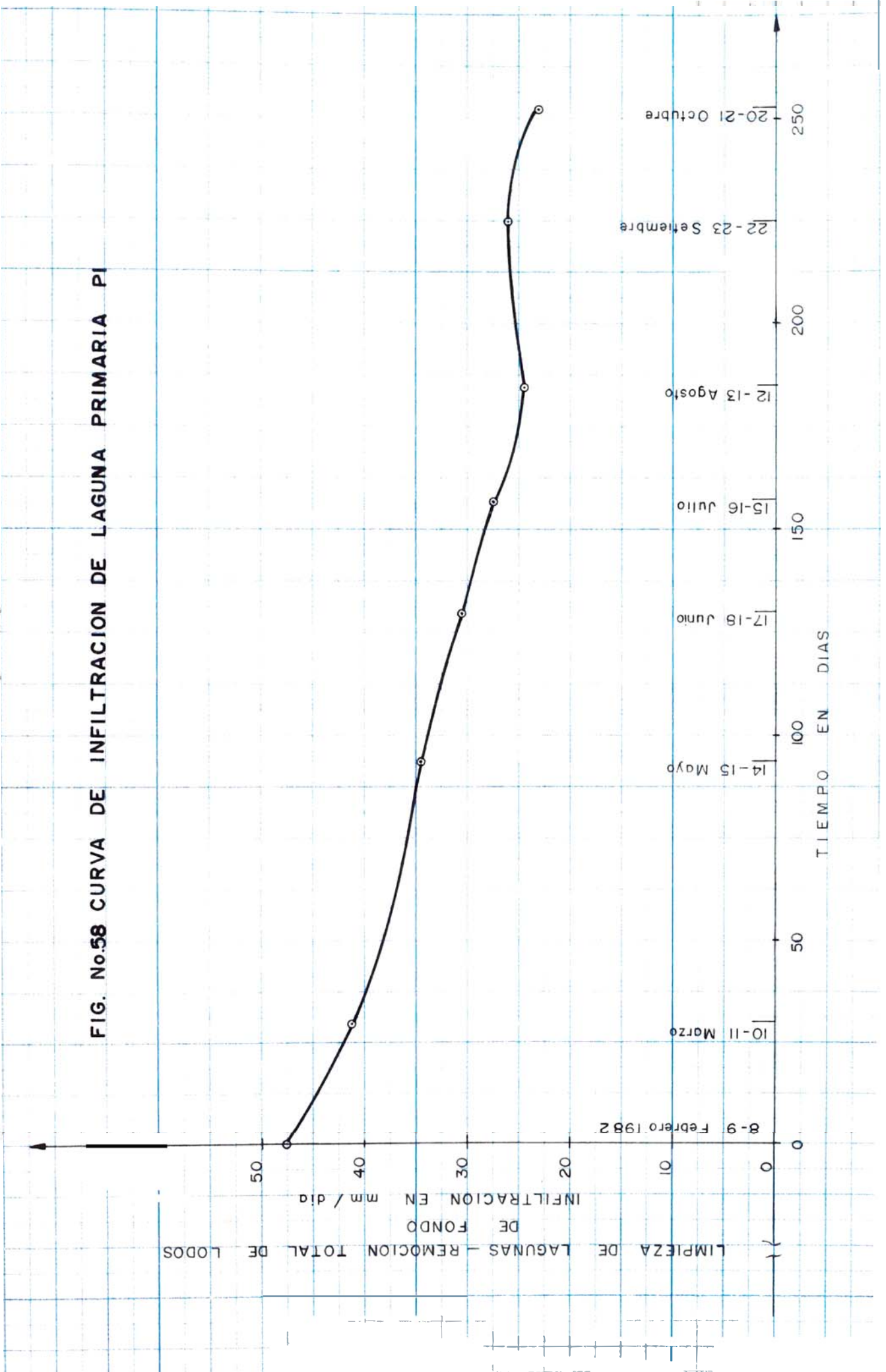
PTO.	V. AT	$\bar{x}$	V. AD	COTA	OBSERVACIONES
B.M.1	1.30	96.41	—	95.11	
A			3.45	92.96	FONDO DE PI
B			3.80	92.61	II
②			2.43	93.98	VERTEDERO DE PI
C			1.45	94.96	DIQUE
B.M.2			1.46	94.95	
P.C	0.40	92.81	4.00	92.41	
D			2.62	90.19	FONDO DE SI
E			3.54	89.27	II
③			2.58	90.23	VERTEDERO DE SI
B.M.3			1.28	81.53	
F			2.50	90.31	FONDO DE TI
④			2.23	90.58	VERTEDERO TI
4'			2.08	90.73	NIVEL DE AGUA
DIQUE			1.50	91.31	

DATOS DE INFILTRACION DE LA LAGUNA PRIMARIA P1

FECHA	DIAS	HORAS	ALTURA cm	HORAS Hrs	I N F I L T R A C I O N					
					ALTURA cm	VOLUMEN cm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /h	l/seg	mm/dfa	
9 Febrero -82								23.9	6.6	47.8
11 Marzo -82								20.6	5.7	41.2
14 Mayo -82								17.0	4.7	34.0
10 Junio -82								15.2	4.2	30.4
15 Julio -82	15	11:35	19.05	21.7	2.45	294.0		13.6	3.8	27.2
	16	9:15	21.5							
11 Agosto-82	12	10:50	19.05	25.25	2.55	306.0		12.1	3.36	24.2
	13	12:05	21.6							
21 Setiembre-82	22	9:45	18:45	23.25	2.55	306.0		13.16	3.65	26.32
	23	10:30	21.0							
20 Octubre-82	20	12:00	22.5	27.5	2.7	324.0		11.78	3.3	23.56
	21	15:30	25.2							

PARA EL PERIODO DE ESTUDIO :  $\bar{Q}_{iP1} = 4.42 \text{ lps}$

FIG. No.58 CURVA DE INFILTRACION DE LAGUNA PRIMARIA PI

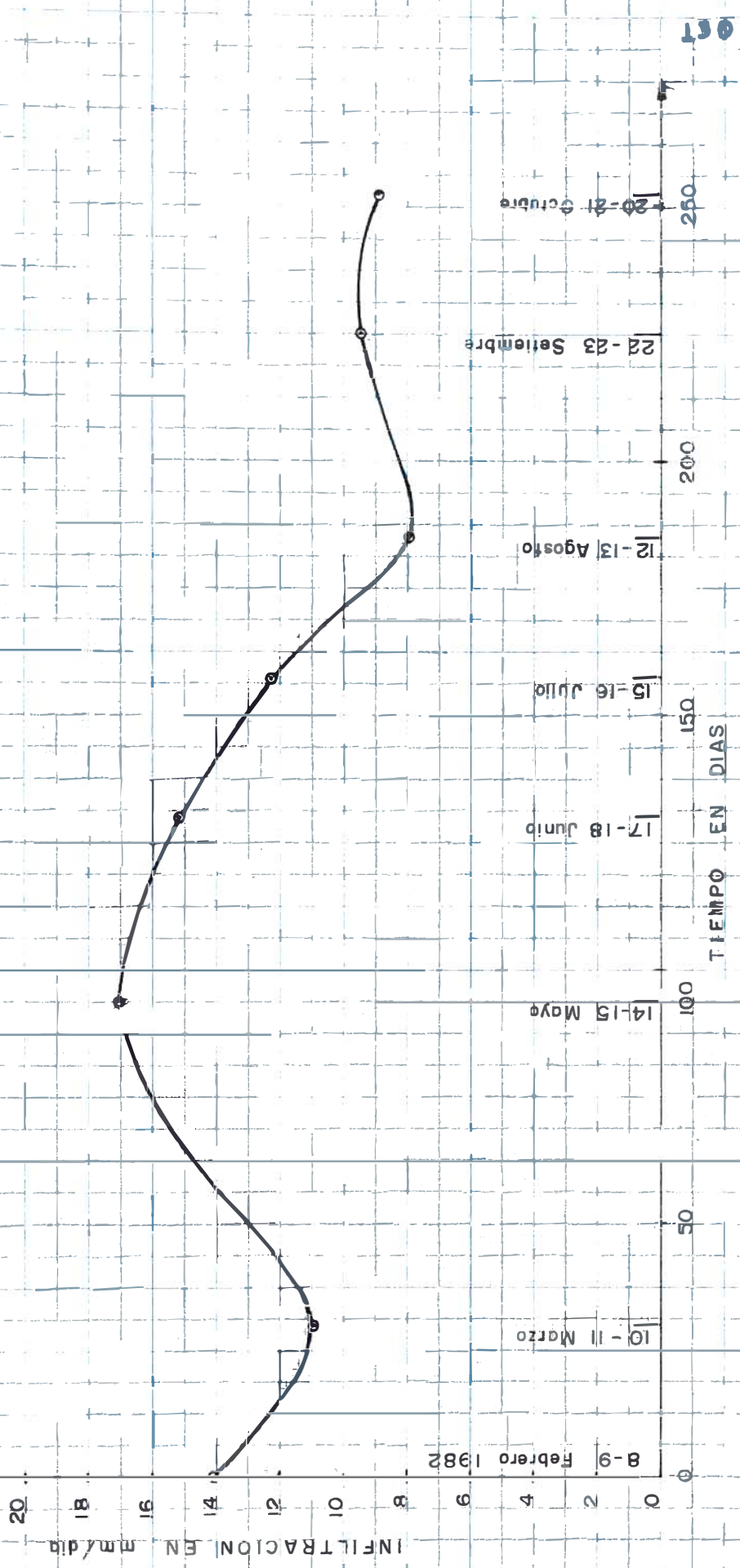


DATOS DE INFILTRACION DE LAGUNA SECUNDARIA S1

FECHA	DIAS	HORA	ALTURA	HORA	I N F I L T R A C I O N				
					ALTURA	VOLUMEN	m <sup>3</sup> /h	l/seg	mm/día
9 Febrero-82							8.5	2.4	14.2
11 marzo -82							6.6	1.8	11.0
14 Mayo - 82							10.2	2.8	17.0
10 Junio- 82							9.1	2.5	15.2
15 Julio- 82	15	12:45		21.4	1.1	158.4	7.4	2.1	12.3
	16	9:10							
11 Agosto-82	12	11:15	15.45	24.7	0.8	115.2	4.7	1.29	7.8
	13	11:55	14.65						
21 Setiembre-82	22	10:00	86.5	24.0	0.95	136.8	5.7	1.6	9.5
	23	10:00	87:45						
20 Octubre-82	20	12:40	90.1	26.9	1.0	144.0	5.35	1.5	8.9
	21	15:35	91.1						

PARA EL PERIODO DE ESTUDIO :  $\bar{Q}_{iS1} = 2.00$  lps

FIG. N.º.59 CURVA DE INFILTRACION DE LAGUNA SECUNDARIA SI

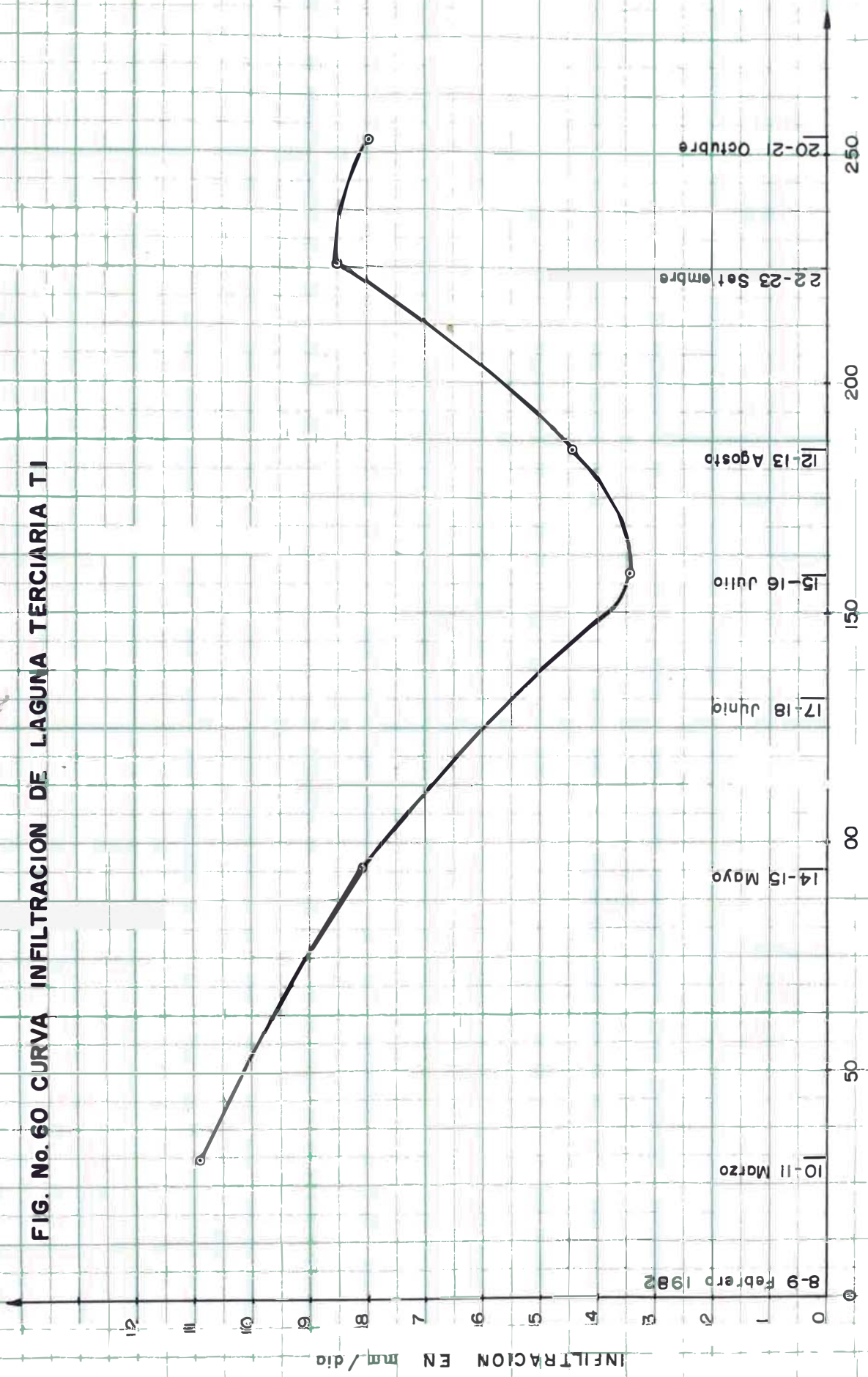


DATOS DE INFILTRACION DE LAGUNA TERCIARIA T I

FECHA	DIAS	HORAS	ALTURA	HORAS	ALTURA	I N F I L T R A C I O N				
						ALTIMA	VOLUMEN	m <sup>3</sup> /h	l/seg	mm/dfa
11 Marzo -82								6.8	1.9	10.9
14 Mayo -82								5.0	1.4	8.1
15 Julio- 82	15	12:00	41.0	21.0	0.30	44.7		2.1	0.6	3.4
,	16	9:00	41.3							
11 Agosto-82	12	11:25	43:75	24.4	0.45	67.05		2.74	0.76	4.4
	13	11:50	44.2							
21 setiem.82	22	10:05	42.3	23.9	0.85	126.7		5.3	1.5	8.5
	23	10:00	43:15							
20 Octubre-82	20	12:35								
	21	15:45.								

PARA EL PERIODO DE ESTUDIO :  $\bar{Q}_{i(T)} = 1.23 \text{ lps}$

FIG. No. 60 CURVA INFILTRACION DE LAGUNA TERCIARIA T1



## C A P I T U L O V

### RESULTADOS OBTENIDOS

Se destina esta sección a la presentación de los resultados experimentales, obtenidos durante el período de experimentación, provenientes de aplicar las consideraciones teóricas correspondientes y la manipulación algebraica de los análisis Físico Químico obtenidos en el laboratorio y cálculos hidráulicos.

Los resultados se presentan en forma Tabulada y Gráfica de los valores promedios encontrados y se ordenaron de la siguiente forma:

#### 5.1. TABLAS

En esta parte se presentan los datos de los resultados obtenidos tanto en el campo como en el laboratorio. Se ordena en forma siguiente:

##### 1o. CARGAS

Tabla No. 1

Datos de Caudales, Cargas Orgánicas y % Remoción de P1

Tabla No. 2

Datos de Caudales, Cargas Orgánicas y % Remoción de S1

Tabla No. 3

Datos de Caudales, Cargas Orgánicas y % Remoción de T1



**20. CALIBRACIONES HIDRAULICAS**

Tabla No. 6 y 7

Datos para Calibración del Medidor Parshall de la 1ra. Prueba y 2 da. Prueba respectivamente.

Tabla No. 8 y 9

Datos para Calibración del Medidor PALMER - BOWLUS I y II respectivamente.

Tabla No. 10

Datos para Calibración del Vertedero Triangular 90° en P1 .

Tabla No. 11

Datos para Calibración del Medidor Palmer - Bowlus en S1 .

Tabla No. 12

Datos para Calibración del Vertedero Rectangular .

**30. PRUEBA DE TRAZADORES**

Tabla No. 13

Datos de la Prueba de Trazadores: Laguna P1 - 1ra. Prueba .

Tabla No. 14 y 15

Datos de la Prueba de Trazadores: Laguna S1 - 5ta. y 6ta. Prueba respectivamente.

Tabla No. 16 y 17

Datos de la Prueba de Trazadores: Laguna T1 - 1ra. y 2da. Prueba respectivamente.

**40. INFILTRACIONES**

Tabla No. 18

Datos de Infiltración de Laguna Primaria P1.

Tabla No. 19

Datos de Infiltración de Laguna Secundaria S1 .

Tabla No. 20

Datos de Infiltración de Laguna Terciaria T1 .

## 5.2 GRAFICAS.

En esta parte se presentan las láminas y Gráficas con sus dimensiones respectivas de las estructuras hidráulicas, tanto de la línea de conducción (afluentes) como de los efluentes, utilizadas en las lagunas de San Juan. Se ordenaron de la siguiente forma:

### 1o. ESTRUCTURAS HIDRAULICAS DE INGRESO Y DISTRIBUCION

Figura No. 1

Plano de ubicación de estructuras hidráulicas en el complejo de las lagunas de San Juan.

Figura No. 4

Estructuras de Regulación de Flujo .

Figura No. 5

Repartidor con Vertederos con Contracciones .

Figura No. 8

Estructura de ingreso a laguna .

### 2o. MEDIDORES DE CAUDALES Y ESTRUCTURAS DE SALIDA

Figura No. 9 y 11

Medidor Parshall, usado en San Juan, Lima .

Figura No. 12 y 13

Medidor Palmer - Bowlus, usado en San Juan, Lima .

Figura No. 17

Estructura Simplificada de salida de laguna P1 con dos Vertederos Triangulares 90°.

Figura No. 18

Estructura simplificada de salida de laguna T1 con un vertedero Triangular 90° .

Figura No. 19

Estructura de interconexión con medidor Palmer - Bowlus en el efluente de S1 .

Figura No. 20

Estructura de salida en laguna T1 .

Figura No. 50 y 51

Muestreador Automático usado en los efluentes de las lagunas San Juan, Lima.

Figura No. 57

Niveles Hidráulicos de Lagunas instalados en serie (P1, S1 y T1) .

### 5.3. CURVAS.

En esta parte se presentan las curvas que se han graficado con los valores de los datos tabulados en la sección 5.1. Para el trazo de las curvas se han elegido escalas convenientes para cada caso del grupo de datos tabulados. Se han ordenado de acuerdo a la secuencia, del desarrollo de los capítulos, de la forma siguiente:

#### 1o. CALIBRACIONES HIDRAULICAS

Figura No. 42

Curva de Calibración del Medidor PARSHALL

Figura No. 43 y 44

Curva de Calibración del Medidor PALMER - BOWLUS I y II respectivamente.

Figura No. 45

Curva de Calibración del Vertedero Triangular 90° V-notch en el efluente de la laguna P1 .

Figura No. 46

Curva de Calibración del Medidor Palmer- Bowlus en el efluente de la laguna S1 .

Figura No. 47

Curva de Calibración del Vertedero Rectangular en el efluente de la laguna T1 .

#### 2o. PRUEBA DE TRAZADORES

Figure No. 52

Curva de dispersión para laguna P1 .

Figura No. 53 y 54

Curvas de dispersión para laguna S1 - 1ra. y 2da. Pruebe respectivamente.

Figura No. 55 y 56

Curvas de Dispersión de laguna T1 - 1ra. y 2da. Prueba.

### 3o. INFILTRACIONES

Figura No. 58

Curva de Infiltración de Laguna Primaria P1 .

Figura No. 59

Curva de Infiltración de Laguna Secundaria S1 .

Figura No. 60

Curva de Infiltración de Laguna Terciaria T1 .

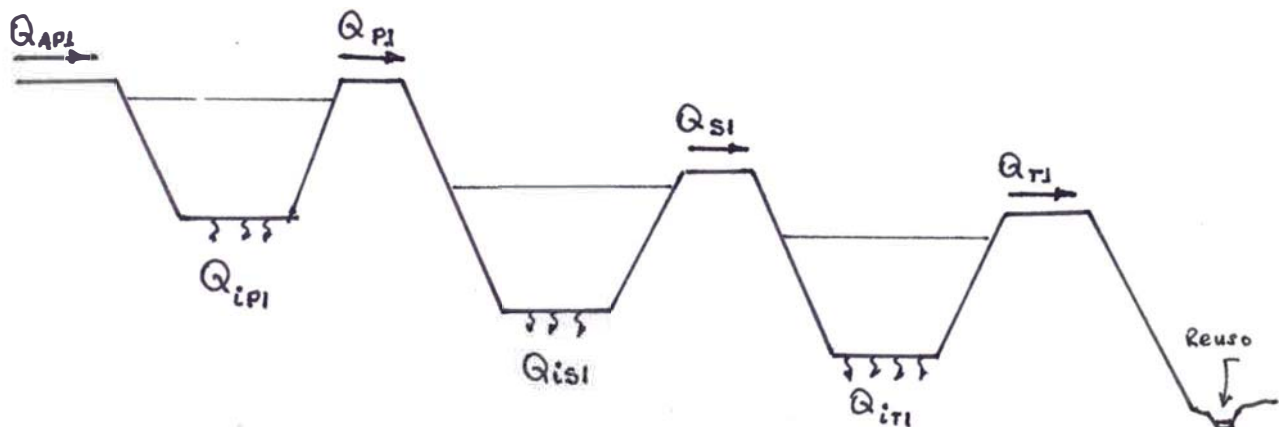
## C A P I T U L O VI

### DISCUSION DE RESULTADOS

#### 6.1.- AFORO DE CAUDALES

En esta parte se discutirá los procedimientos que se han seguido para obtener resultados de caudales tanto de ingreso (afluentes) como de salida (efluentes) de las lagunas. En la Fig. No. 1 podemos observar el flujo continuo en una serie de 3 lagunas; o sea las aguas residuales que ingresan a la laguna primaria P1, gran parte de él continúan fluyendo a través de las lagunas secundarias S1 y terciaria T1, luego es conducido para fines de reuso.

Para facilitar la discusión se hace un bosquejo del perfil de la serie de lagunas, tal como la siguiente:



donde

$Q_{AP1}$  = Caudal de ingreso a la laguna primaria P1.

$Q_{P1}$  = Caudal de salida de la laguna primaria P1.

$Q_{S1}$  = Caudal de salida de la laguna secundaria S1.

$Q_{T1}$  = Caudal de salida de la laguna terciaria T1.

$Q_{iP1}$  = Caudal de infiltración en la laguna primaria P1.

$Q_{iS1}$  = Caudal de infiltración en la laguna secundaria S1.

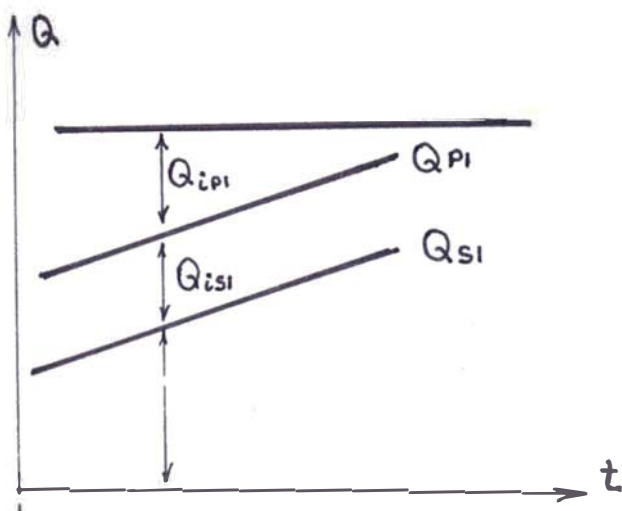
$Q_{iT1}$  = Caudal de infiltración en la laguna terciaria T1.

El aforo de caudales en el AFLUENTE de la laguna primaria no presentó ninguna dificultad. En base a datos de caudales del medidor PARSHALL y PALMER - BOWLUS (Fig. No. 1), es posible determinar el flujo de entrada en la laguna primaria P1, de la siguiente manera:

$$Q_{AP1} = (Q_{Parshall}) - (Q_{Palmer - Bowlus I}) \dots \dots \dots (63)$$

La discusión de datos para el cálculo de caudales en los EFLUENTES, se ha seguido 2 criterios:

- a) Uso de los datos proporcionados directamente por los vertederos; o sea los caudales  $Q_{P1}$ ,  $Q_{S1}$  y  $Q_{T1}$  de la figura anterior son proporcionados por los registros continuos y discretos de los vertederos instalados.
- b) Uso de los datos de infiltración en las lagunas. El análisis se basa en la filosofía del siguiente esquema.



Del esquema anterior podemos deducir lo siguiente:

- El caudal de la laguna primaria, se calculó de la siguiente manera:

$$Q_{P1} = Q_{AP1} - Q_{iP1} \dots\dots\dots(64)$$

$$o \quad Q_{P1} = Q_{S1} + Q_{iS1} \dots\dots\dots(65)$$

- Para el cálculo del caudal de salida de la laguna secundaria S1, no se tuvo ningún problema, porque operó el medidor Palmer Bowlus con registro continuo (Limnógrafo).
- El caudal de salida de laguna terciaria T1, se cálculo de la siguiente manera:

$$Q_{T1} = Q_{S1} - Q_{iT1} \dots\dots\dots(66)$$

Se ha seguido esta segundo criterio (b), en los dos siguientes casos:

- 1o. Para completar datos de aquellos días en que no se había medido la carga sobre los vertederos. Esto generalmente se presentó en los días no laborables como Sábado, Domingo y días Feriados.
- 2o. Como el vertedero Triangular 90° del efluente de la laguna terciaria operó casi ahogado, no pudo medir la carga sobre este vertedero. De modo que el flujo se calculó mediante la ecuación (66).

#### 6.1.1. Calibración Hidráulica.

##### a) CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MEDIDOR PARSHALL.

Durante el período de estudio, lo correcto y suficiente sería realizar el proceso de calibración 3 veces. Una al inicio del estudio, otra a medias y el último a fines del período de investigación.

Sin embargo durante el período de investigación se llevó a cabo como 5 veces el proceso de calibración A mediados del período de estudio por el mes de Junio de 1982, se calibró el medidor Parshall 3 veces consecutivos, obteniéndose la calibración definitiva el 28.6.82, cuyos resultados fueron ajustados con un coeficiente de correlación  $r=0.995$ , indicando un alto, probabilidad de exactitud. Estos resultados de calibración fueron ajustados a una curva de potencia por regresión y que, están ploteados como 1ra. prueba en la Fig. No. 42 .

Posteriormente en el mes de Agosto 1982, se recibió 2 veces consecutivos por haberse removido los lodos del canal y del medidor, tomándose como definitiva la fecha 24.8.82, cuyos resultados también fueron ajustados con un coeficiente de correlación  $r=0.998$  muy similares a la 1ra. prueba, aparecen ploteados como 2da. prueba en la Fig. No. 42.

b) Respecto al Medidor PAL ER - BOWLUS

Estos dispositivos hidráulicos fueron calibrados a partir del medidor Parshall, (28.6.82) graduando los caudales en el canal de repartición.

En todos los casos se obtuvo una buena correlación determinados por los coeficientes de correlación de  $r = 0.998$  para el medidor Palmer - Bowlus I y  $r = 0.997$  para el medidor Palmer = Bowlus II.

c) CONSISTENCIA DE LOS RESULTADOS, MEDIDOS POR LOS VERTEDEROS.

Para la discusión de los resultados de calibración de los vertederos en los efluentes de las lagunas, se aprovecha las definiciones y el bosquejo del perfil de la serie de lagunas realizado en el acápite 6.1.

Correlación de Calibración hidráulica en el efluente de la laguna P1 (vertedero Triangular  $90^{\circ}$ ). La discusión se realizó a partir de los resultados de caudales medidos en el efluente de la laguna S1. Para esto se tomó datos del registro continuo de S1 desde el 28.06.82 hasta el 16.8.82 y datos del registro discreto desde el 16.08.82 hasta el 12.11.82 y luego se aplicó la ecuación (65). O sea

$$A = Q_{S1} + Q_{iS1}$$

donde

$Q_{iS1} = 2$  lps. promedio de infiltración en el período de estudio en la laguna S1.

Este valor A se correlacionó con los datos de las lecturas discretas de carga (tirante hidráulico) del vertedero calibrado en el efluente de la laguna P1, desde el 28.6.82 hasta el 12.11.82 .

Con estos 64 datos se halló una perfecta correlación de

$$Q_{P1} = 1.05 (Q_{S1} + Q_{iS1})$$

con un coeficiente de correlación  $r = 0.93$  .

CORRELACION de la Calibración Hidráulica en el efluente de la laguna S1.

La discusión es muy similar al anterior, esta vez se utiliza los resultados de los caudales obtenidos por medio del medidor Palmer - Bowlus en el efluente de la laguna P1, en infiltración en la laguna S1. O sea

$$B = Q_{P1} - Q_{iS1}$$



Este valor  $\theta$  se correlacionó con las lecturas continuas de carga (tirante hidráulico) medido y calibrado en el efluente de la laguna S1, cuyo resultado indica una gran consistencia y exactitud.

El vertedero triangular de 90° del efluente de la laguna T1, nunca pudo ser calibrado adecuadamente, dado que se presentó medio ahogado dificultando la medición de la carga (tirante hidráulico) sobre el vertedero. Pero dado el bajo nivel de infiltración en la laguna T1, (alrededor de 1.2 lps en promedio por el período de estudio), se puede consistentemente extrapolar del registro continuo de S1. De ahí que el cálculo del flujo en el efluente de la laguna T1, se realizó aplicando la ecuación (66).

Los resultados finales, tal como los listados de las tablas Nos. 10, 11 y 12, fueron ajustados a una CURVA DE POTENCIA POR REGRESION. La ecuación, la cual describe una curva de potencia, que fue deducida se indican junto a la curva calibrada (Fig. Nos. 45, 46 y 47).

### 6.1.2. Infiltración.

#### a) TASA DE INFILTRACION EN LAGUNA PRIMARIA P1

Observando la curva infiltración (Fig. No. 58), podemos decir que la tasa de infiltración fue muy regular y en forma decreciente con respecto al tiempo.

Al inicio del estudio de la tasa de infiltración es bastante alta (6.6 l/seg.). Esto es bastante comprensible porque al comienzo del estudio, se hizo la limpieza total del fondo de la laguna o sea para el inicio del estudio se hizo una remoción total de los del fondo.

Aproximadamente al final del período de investigación, la tasa de infiltración es bastante baja (3.3 l/seg.) debido a los sólidos orgánicos sedimentables que se precipitan en el fondo forman una capa y taponeando el suelo.

Para consideraciones del balance hidráulico de la laguna P1, se asume un caudal promedio de infiltración durante el período de investigación y que fue de:

$$\bar{Q}_{iP1} = 4.4 \text{ lps}$$

#### b) TASA DE INFILTRACION EN LAGUNA SECUNDARIA S1

Al inicio del estudio, parcialmente se hizo limpieza del fondo de la laguna S1. Por esta razón podríamos considerar que la tasa de infiltración durante el período de estudio fue muy irregular tal como podemos observar en la Fig. No.59.

Analizando la curva de infiltración (Fig. No. 59) observamos que la tasa de infiltración es alto (2.8 l/seg.) en el mes de Mayo de 1982. Podemos deducir que esto es debido a la evaporación de las aguas residuales de la laguna S1, más no debido a la infiltración.

En forma similar a la laguna primaria P1, aquí también podemos considerar que para efectos del balance hidráulico de la laguna S1, se asume un caudal promedio de infiltración durante el período de estudio, y que fue de

$$\bar{Q}_{iS1} = 2.00 \text{ lps}$$

### c) TASA DE INFILTRACION EN LAGUNA TERCIARIA T1.

Para iniciar el estudio, no se hizo limpieza del fondo de la laguna T1. Por esta razón la tasa de infiltración se hace cada vez más baja debido a la taponación del suelo (fondo de la laguna T1) por bacterias y materias orgánicas

Análogamente a las lagunas anteriores, el caudal promedio de infiltración para el período de estudio fue

$$\bar{Q}_{iT1} = 1.20 \text{ l/seg.}$$

## 6.2 PRUEBA DE TRAZADORES.

En esta parte se hará el análisis de la curva de tendencia de concentración del trazador (Rhodamina), que fue inyectado en forma puntual en el afluente de las lagunas.

Ha sido práctica común establecer la eficiencia hidráulica de un reactor analizando la tendencia de la curva de concentración del trazador y relacionar sus diferentes parámetros con condiciones de flujo.

Deduciendo las curvas de dispersión ploteadas como se indican en las Fig. Nos. 52, 53, 54, 55 y 56, se observa que al aplicar trazadores (Rhodamina) a una laguna y analizar las muestras de aguas residuales tomados a la salida, se obtiene una serie de valores de concentración que aumenta con el tiempo hasta llegar a un máximo, y luego disminuye progresivamente.

Cuando se ha definido conceptos teóricos en la parte 3.3.1., del modelo de dispersión para grandes extensiones de dispersión  $\frac{D}{uL} = d$  y para condiciones de reactor ce

rrado, en la Fig. No. 27 se observa que para grandes cantidades de dispersión  $d = 0.20$  la curva C del trazador se inclina más hacia la izquierda y tiene una ala mayor hacia ladrecha. O sea mientras "d" aumenta la curva C se vuelve

más sesgada.

Experimentalmente, las pruebas de trazadores llevados a cabo en las lagunas P1, S1 y T1 han demostrado que las curvas de dispersión aparecen muy sesgadas con una bastante considerable hacia la derecha, y que los factores de dispersión son mayores de 0.20 en todas las lagunas, tal como se indican en las Fig. Nos. 52, 53, 54, 55 y 56. Así por ejemplo para la laguna terciaria T1 - 2da. prueba, el factor de dispersión es  $d = 0.33$  a  $0.2$ . En las lagunas P1 y S1 las dispersiones son mayores a 0.33 que indica que hay una gran mezcla en la laguna.

Por tanto el análisis de los resultados de las pruebas de trazadores que se llevó a cabo en las lagunas de San Juan, nos hace pensar que más de 50% de las aguas residuales que ingresan a las lagunas, fluyen con mezcla completa.

## C A P I T U L O VII

### C O N C L U S I O N E S

En esta parte están resumidas las conclusiones y los resultados hallados durante las 54 semanas, de evaluación intensiva de las lagunas de estabilización de San Juan de Miraflores - Lima.

Las conclusiones más importantes del estudio a las que se llegan en base a los resultados y discusiones de los mismos, son las siguientes:

- 1o. Las lagunas de estabilización, como sistema de tratamiento de líquidos residuales domésticos, operándolas bajo régimen de flujo continuo, son eficientes para las condiciones ambientales imperantes en Lima. Las experiencias realizadas para clima de Lima y lugares costeros del Perú, no pueden ser simplemente trasladadas y utilizadas como elementos de diseño de estos dispositivos en zonas tropicales; ya que pueden utilizarse parámetros más altos que los aceptados para lugares de clima muy similares al de Lima.
- 2o. Al fin de efectuar esta evaluación se operaron las lagunas bajo diferentes condiciones de cargas hidráulicas y orgánicas, período de retención y a una profundidad establecida; y se evaluó la eficiencia del funcionamiento de las lagunas a través de parámetros tales como DBO, % de remoción de cargas aplicadas, factor de dispersión del flujo a través del reactor.

El estudio que se inició la segunda semana del mes de Noviembre de 1981 y que finalizó la última semana del mes de Diciembre de 1982. Para estas 54 semanas de período de estudio se puede concluir lo siguiente:

LAGUNA	VARIACION DE CARGAS APLICADAS		VAHACION DE EFICIENCIA DE REMOCION ( % )	PERIODO DE RETENCION (Hrs)		PROFUNDIDADES ESTABLECIDAS (m)
	HIDRAULICAS (lps)	ORGANICAS Kg.DBO/Ha.día		Teórico	Real	
Primaria Pl	19.2 - 35.7	113.1-466.8	77.2 - 96.5	247.60	116.45	1.30
Secundaria Sl	15.7 - 30.1	30.9-114.4	50.0 - 90.7	315.1	140.54	1.60
Terciaria Tl	9.7 - 25.0	19.8-89.8	40.0 - 88.5	344.9	129.55	1.30

30. Para aplicar el concepto de modelos de reactores en el diseño de las lagunas de estabilización, se deben estudiar experimentalmente el grado de dispersión de las mismas bajo diferentes cargas Hidráulicas y orgánicas, tal como se llevó a cabo en las lagunas, de San Juan.

Cabe mencionar que las pruebas de Trazadores de información de gran interés en la evaluación del funcionamiento de una laguna. La información que más proporciona las pruebas de trazadores tales como:

- El factor de dispersión "d" y
- Tiempo promedio de retención "t"

40. Los parámetros "K", "d" y "t", son datos de evaluación de la laguna en condiciones de equilibrio continuo, que son utilizados para la comprobación del modelo de Dispersión Axial.

Conocidos los valores de "K", "t" y "d" de las pruebas, se calculan los valores de  $C/C_0$  o  $N/N$ , según sea el caso por medio de las ecuaciones o las curvas (Ver Fig. No. ), que aparecen en apéndice.)

Los valores de "C" y "N", calculados deben compararse con los respectivos valores medidos dentro de un margen de error experimental razonable.

50. La conducción de prueba de Trazadores, nos proporciona la información sobre desempeño hidráulico de la laguna. Así por ejemplo, los resultados obtenidos, nos informa que las aguas residuales de la laguna primaria P1, se desplaza con FLUJO DISPERSO de alto grado de DISPERSION AXIAL ( $d = 0.68$ ) Además en un tiempo de retención experimental tan corta ( $t = 116.45$  hrs.), se obtuvo alta eficiencia de tratamiento (77.2 - 96.5% de eficiencia de remoción orgánica).

Mientras tanto la laguna Terciaria T1 fue la menos eficiente de las 3 lagunas.

Se entiende que los resultados que se acaba de especificar son para estructuras hidráulicas de ingreso y salida instaladas y ubicadas tal como se indica en la Fig. No. 1 .

60. Los experimentos a escala de campo que se llevó a cabo en las tres lagunas de San Juan (Fig, No.1), se reportan período de retención experimentales promedio del orden de 37.6 47% del teórico. Además los mismos datos que nos proporcionó las pruebas de trazadores, indican que el pico de la curva concentración/tiempo se produce alrededor de 4% del tiempo de residencia teórica. Esta justifica de que, las curvas están demasiado inclinados hacia la izquierda indicando grandes cantidades de dispersión de flujo disperso.

- 7o. Con los resultados de los datos medidos en los dispositivos Hidráulicos de Parshall, Palmer - Bowlus y los vertederos triangulares de 90°, se han desarrollado ecuaciones de calibración que se ajustó con un coeficiente de correlación  $r = 0.99$  en cada caso, indicando una alta probabilidad de exactitud y gran consistencia de los datos medidos y calculados.
- 8o. El rango aproximado de trabajo de los medidores y vertederos en el período de estudio fueron:

25 - 32.5	lps	para el medidor Parshall .
20 - 25	lps	para el medidor Palmer - Bowlus I .
12.5 - 16	lps	para el medidor Palmer - Bowlus II .
15.2 - 30.1	lps	para el Vertedero Triangular 90° de P1 .
9.0 - 18	lps	para el medidor Palmer Bowlus en S1 .
8.0 - 16	lps	para el Vertedero Triangular 90° en T1 .

- 9o. Para efectos del Balance Hidráulico de los reactores (lagunas), el caudal promedio de infiltración para el período de estudio, se estimó:

4.4	lps	para la laguna P1 .
2.00	lps	para la laguna S1 .
1.20	lps	para la laguna T1 .

En la laguna primaria P1, el caudal de infiltración fue considerable debido a que al comienzo del estudio, se realizó la remoción total del lodo del fondo de la laguna.

- 10o. El caudal de evaporación de las aguas residuales de las lagunas, fue de 0.02 lps insignificante comparado, con los valores de caudales de infiltración. Por esta razón, no se tuvo consideración para efectos del balance hidráulico de las lagunas.

Así mismo, como en la zona de estudio no existió precipitaciones pluviales, no se consideró para ningún efecto hidráulico dicho fenómeno.

## C A P I T U L O    V I I I

### RECOMENDACIONES    Y    FUTUROS ESTUDIOS

Para futuros estudios y construcción de lagunas de estabilización, las recomendaciones son las siguientes:

- 1.- Para la ubicación correcta de las estructuras hidráulicas de ingreso y salida de lagunas deberán realizar estudios de pruebas de trazadores. Puesto que estas pruebas de información de gran interés acerca del desempeño hidráulico de la laguna, sobre todo en relación con la presencia de cortocircuito.
- 2.- Es menester reducir al máximo los costos del proyecto, haciendo uso de cargas altas, compatibles con las temperaturas de climas cálidos. Una de las formas más efectivas de abaratar los costos de construcción de un proyectos de lagunas de estabilización es la reducción de los requisitos totales de área, mediante el empleo de lagunas en serie. Este concepto no solamente es compatible con el propósito de cada laguna, sino que para climas tropicales es el único método de alcanzar altas eficiencias. Como se ha visto en el presente trabajo, para cargas orgánicas superiores a 450 Kg. DBO/Ha. por día se ha alcanzado eficiencias de remoción de la demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO soluble) por encima de 80% .
- 3.- Deben de construirse lagunas en serie, con el propósito de mejorar la calidad de las aguas residuales del efluente, tanto desde el punto de vista de contenido de materia orgánica como de organismos patógenos.
- 4.- La información de los resultados presentados en el presente trabajo, es de gran significado para el diseño de lagunas en condiciones como las de Costa del Perú, puesto que se ha desarrollado en forma cabal referente a los aspectos hidráulicos. De modo que el Ingeniero Sanitario tenga una adecuada concepción del proyecto para casos como serio vacío en el adecuado conocimiento del comportamiento hidráulico de la -



gunas.

- 5.- El gobierno a través del Ministerio Vivienda, de Salud, etc. debe impulsar el tratamiento de aguas residuales cruda por método de lagunas de estabilización en toda la costa peruana. Puesto que, hasta la fecha hay gran información científica, técnica y experimental que se han desarrollado, cuyos resultados y conclusiones indican que se obtiene una eficiencia igual o superior, al de la planta convencional. Además el costo de las plantas convencionales es elevada y su operación delicada; mientras tanto el costo inicial de lagunas de estabilización es mínima y el mantenimiento puede efectuarse por personas no especializadas. Inclusive las aguas residuales tratadas del efluente de las lagunas terciarias o cuaternarias pueda ser utilizado para el riego de cultivo y forestación, tal como se indica en la Fig. No. 61



Fig. No. 61 Agricultura regada con aguas residuales, tratadas en lagunas de estabilización .