

Universidad de Costa Rica

Escuela de Ingeniería

TRATAMIENTO DE DESECHOS POR MEDIO DE
LAGUNAS DE OXIDACION

Tesis de Grado

Rodolfo Sáenz Forero

San José, Costa Rica

1958

G R A T I T U D

El presente trabajo se llevó a cabo auspiciado por el Servicio Cooperativo Interamericano de Salubridad Pública (SCISP).

Deseo expresar mi gratitud para con los Ingenieros Charles S. Pineo, Director del SCISP, y Renán Méndez Arias, Ingeniero Jefe del SCISP, por la ayuda y asesoramiento que me suministraron durante la preparación de estos apuntes, así como por haber facilitado su publicación.

También deseo agradecer al Ingeniero W. W. Towne del Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio, las recomendaciones técnicas que nos hizo, durante su visita a Costa Rica, para diseñar las lagunas de Cañas, Guanacaste, y la valiosa información que nos dejó sobre el diseño y comportamiento de lagunas de oxidación.

San José, Costa Rica
Octubre de 1958

Rodolfo Sáenz Forero

TRATAMIENTO DE DESECHOS
POR MEDIO DE LAGUNAS DE OXIDACION

I N T R O D U C C I O N

En la República de Costa Rica, al igual que en la mayoría de los países latinoamericanos, se ha presentado con mucha frecuencia el problema de que las comunidades rurales no cuentan con sistemas adecuados para la disposición de las aguas servidas. Esta es la causa principal del bajo grado de saneamiento ambiental en que se encuentran nuestras poblaciones campesinas, y tiene su origen en un factor de índole netamente económico: nuestras poblaciones rurales son de recursos muy limitados, por lo que no pueden pagar el valor de una planta para tratamiento de aguas negras de tipo convencional.

Estas circunstancias son las que han inducido al Servicio Cooperativo Interamericano de Salubridad Pública a preparar este trabajo, que tiene como propósito tratar de introducir en Costa Rica un sistema para el tratamiento de aguas negras que, por su bajo costo y fácil operación, permita a las comunidades de recursos limitados hacer frente a este problema sanitario. En esta forma se lograría mejorar la salud de nuestro pueblo, y se obtendría mayor riqueza y bienestar para todos. Para tal objeto, se ha resuelto establecer un sistema de lagunas de oxidación con carácter de proyecto experimental en nuestro medio, con la esperanza de que sea una buena solución del problema planteado. Una laguna de oxidación es una estructura específicamente diseñada para tratar residuos orgánicos en un medio líquido por medio de un proceso biológico, químico y físico conocido con el nombre de autopurificación natural. Este proceso de autopurificación es tan viejo como la naturaleza misma, y se está llevando a cabo constantemente en todos los lagos y lagunas; sin embargo, no fué sino hasta hace algunos años que se vino a pensar en él como un método más para el tratamiento de desechos orgánicos. El uso de estas lagunas ha despertado gran interés en los países de América, ya que en casi todos ellos se presentan condiciones favorables al uso de tales instalaciones.

En efecto, el hecho de que los centros de población estén bastante dispersos unos de otros permite disponer, con facilidad, de las áreas relativamente extensas, que les son necesarias, a precios favorables. Además, la sencillez de su operación no requiere la presencia de un técnico dedicado exclusivamente a su atención.

Para comprender el funcionamiento de las lagunas de oxidación es necesario que se conozcan y aprecien los principios biológicos que le sirven de base; y para apreciar sus ventajas es necesario que se definan y estimen los diversos factores que influyen en su diseño, operación y sobre todo, su conveniencia relativa en el medio en que se planea instalarlas. Eso es lo que nos proponemos exponer con este

modesto estudio. Comenzaremos haciendo una revisión de los principios teóricos en que se basa la operación de estas lagunas y de los detalles de ingeniería relativos a su construcción, manejo y conservación. Expondremos luego el criterio seguido en el diseño de las lagunas de oxidación de Cañas, Guanacaste, así como la experiencia adquirida en la construcción de estas lagunas. Esperamos poder dar más adelante, después de desarrollar un programa de laboratorio que hemos planeado, un informe detallado sobre el comportamiento de dichas lagunas, y sobre los resultados obtenidos en el tratamiento. En la realización de este trabajo hemos hecho uso de la valiosa información que nos dejara durante su visita a Costa Rica el Ing. W. W. Towne del Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio; así como de varios reportes del Dr. Harold B. Gotaas de la Universidad de California, quien con la ayuda de un selecto grupo de colaboradores ha hecho magníficos avances en la materia.

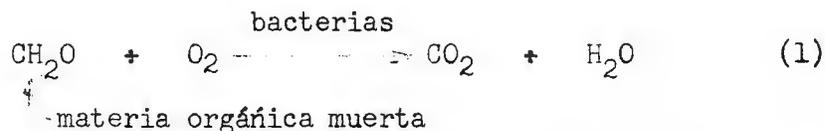
CAPITULO I

TEORIA DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION

1). Mecanismo del Proceso de Purificación:

En una laguna de oxidación el proceso de purificación se lleva a cabo como consecuencia de una interacción benéfica llevada a cabo entre bacterias y algas. La materia orgánica presente en el agua de desecho es atacada por las bacterias, las que la desdoblan en dióxido de carbono, amonio y otros nutrientes. Estas sustancias, junto con la energía de la luz solar, suplen los requerimientos principales para la fotosíntesis de las algas. Este proceso libera oxígeno, que ayuda a mantener el sistema en condiciones aeróbicas, que facilitan a su vez la acción bacterial. Tenemos pues un caso típico de simbiosis entre algas y bacterias que trae como consecuencia la purificación del agua servida.

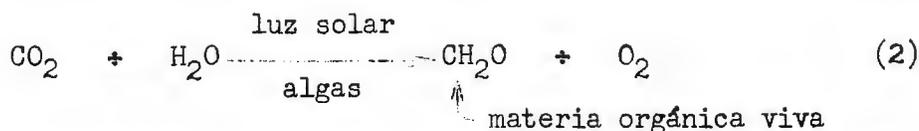
En el límite del desdoblamiento, la reacción bioquímica producida por la acción bacterial puede expresarse de la siguiente manera:



Si la población bacteriana es adecuada esta reacción de oxidación se realiza ininterrumpidamente y el agente limitador viene a ser el oxígeno. La prueba de DBO proporciona una indicación directa de la intensidad de la oxidación de los compuestos orgánicos de carbono y nitrógeno que, en términos generales, sigue esa ecuación (1).

El oxígeno para tal reacción puede obtenerse naturalmente de la atmósfera, mediante el proceso de absorción y difusión que por lo general, es lento, restringido e insuficiente. En general, puede decirse, que el proceso de disolución del oxígeno atmosférico se realiza con una intensidad que es inversamente proporcional a la temperatura ambiente, y directamente proporcional a la presión atmosférica, al estado de agitación de la fase líquida, y a la intensidad del viento.

La producción de oxígeno es más abundante y más práctica mediante la acción fotosintética de las algas, que se procrian espontáneamente en las masas de agua. Este oxígeno se origina en una reacción que viene a ser la inversa de la anterior.



Observando las ecuaciones (1) y (2), podemos sacar las siguientes conclusiones:

- a). Tanto las bacterias en la ecuación (1), como las algas en la (2) actúan como especie de catalizadores, posibilitando las reacciones sin participar directamente en ellas.
- b). En la reacción (1) obtenemos un desdoblamiento de la materia orgánica muerta, lo que disminuye el estado de putrefacción del agua, además, tenemos desprendimiento de CO_2 , que facilita la reacción (2).
- c). En la reacción (2) obtenemos materia orgánica viva, la que no aumenta el estado de putrefacción del agua sino que es utilizada en el desarrollo y multiplicación de las algas. Por otro lado, ocurre un desprendimiento de O_2 que facilita la reacción (1).

2). Clasificación de las Lagunas de Oxidación:

Hemos visto que se tienen dos fuentes abastecedoras de oxígeno: la atmósfera y la reacción fotosintética. Por consiguiente, las lagunas de oxidación se clasifican según el predominio que ejerzan cada una de esas fuentes.

Se distinguen tres tipos generales de lagunas:

- a). Las que toman el oxígeno principalmente de la atmósfera.
- b). Las que se caracterizan porque tanto la fotosíntesis como el oxígeno atmosférico contribuyen en forma importante a la demanda.
- c). Las que logran la mayor proporción del oxígeno por medio de la fotosíntesis.

Los tres tipos están relacionados directamente por las características de profundidad y tiempo de detención del embalse.

El primer tipo lo constituyen lagunas de gran profundidad y prolongados períodos de detención.

El tercer tipo lo constituyen lagunas de poca profundidad y breves períodos de detención.

El segundo tipo lo constituyen lagunas de características intermedias.

Por estar las lagunas de oxidación en una etapa todavía experimental, no se pueden dar reglas exactas ni desarrollos matemáticos que indiquen el procedimiento a seguir en su diseño, aunque existen estudios avanzados en ese sentido. Las referencias que hay sobre su comportamiento deben estudiarse y experimentarse al ser usadas, pues las condiciones meteorológicas y geográficas influyen notablemente en su comportamiento.

El Ing. W. W. Towne no hace la separación de Gotaas, sino que al hablar de las lagunas se refiere únicamente a las de características intermedias, es decir, a las que obtienen el oxígeno con ayuda parecida de las dos fuentes: la atmósfera y el proceso fotosintético. Las recomendaciones que nos dió el Ing. Towne para diseñar las lagunas de oxidación de Cañas, Guanacaste, corresponden a lagunas de tipo intermedio.

CAPITULO II

HISTORIA DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION

Las primeras publicaciones hechas en los Estados Unidos sobre observaciones de estabilización de aguas negras por medio de la fotosíntesis, fueron hechas en el suroeste, donde hay sol durante casi todo el año, y nunca se congelan las superficies de las aguas. La ciudad de San Antonio, Texas, tenía una laguna de estabilización en el año 1901. En una cama filtrante obstruida, en Santa Rosa, California, fué observada por primera vez la estabilización fotosintética en aquel Estado (1924). Subsiguientes experiencias realizadas en ambos Estados dieron buenos resultados, de modo que actualmente hay en el suroeste de los Estados Unidos más de 250 instalaciones de este tipo.

Las aguas negras de la ciudad de Fessenden, en la Dakota del Norte han sido descargadas en una laguna desde el año 1928; pero la primera laguna de oxidación construida deliberadamente fué la que se hizo en Maddock, Dakota del Norte, en 1949. Los resultados favorables de los estudios efectuados en Maddock indujeron al Departamento de Salud de Dakota del Norte a considerar las lagunas de oxidación como un método legítimo para el tratamiento de aguas negras en ese Estado. La aceptación de las lagunas de oxidación por los Estados vecinos ha dado como resultado la construcción de más de 100 de ellas en los Estados del Norte de los E. U. de A.

También en Europa se ha experimentado con lagunas de oxidación. En la ciudad de Lund, Suecia fueron puestas en operación tres lagunas de oxidación en octubre de 1934. Estas lagunas han dado buenos resultados, pues el efluente siempre ha sido de muy buena calidad. Desde 1935 se han hecho investigaciones en estas lagunas, que comprenden DBO, pH, oxígeno disuelto, H₂S, temperatura del agua, cloruros, alcalinidad y conductividad.

CAPITULO III

COMPORTAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION PURIFICACION OBTENIDA EN LAS MISMAS

Uno de los estudios más interesantes y más completos sobre lagunas de oxidación es el realizado en conjunto por los departamentos de salud de las Dakotas del Norte y del Sur. Nos basaremos en los datos obtenidos en dicha investigación al hacer este informe sobre el comportamiento de las lagunas de oxidación.

El estudio se llevó a cabo en cinco lagunas de estabilización, dos situados en la Dakota del Norte, y tres en la Dakota del Sur. Los objetivos eran los siguientes:

- 1). Obtener una definición y mejor comprensión del mecanismo de estabilización.
- 2). Evaluar las variables de diseño, carga y estación.
- 3). Señalar el camino a seguir en una investigación de este tipo, así como la forma de ordenar e interpretar los resultados obtenidos.
- 4). Desarrollar un criterio utilizable en esa área geográfica.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

1). Reducción Bacterial

En más del 50% de las observaciones se encontró que la remoción bacterial fué superior al 99%.

2). Reducción de DBO

La reducción de la DBO de 5 días a 20°C a través de las cuatro estaciones estuvo entre 43.6 y 98.4 por ciento. Es interesante observar que el porcentaje más bajo fué obtenido durante el invierno en una laguna con la superficie cubierta de hielo; en las demás estaciones al porcentaje de reducción de DBO fué siempre superior al 70 por ciento. El anterior dato nos hace suponer que en Costa Rica siempre se obtendrá una remoción de DBO superior al 70 por ciento. Estos valores son bastante satisfactorios, pues en una planta de tratamiento de tipo convencional, en la que se usen "Trickling Filters" o "Tanques Imhoff" el porcentaje de reducción en la DBO está entre un 80 y un 90 por ciento.

3). Reducción de Sólidos Suspendidos y Turbidez

La reducción de sólidos suspendidos está afectada por dos procesos antagónicos; deposición por un lado, y producción de algas que flotan por el otro. Durante el invierno, cuando la producción de algas es mínima, los sólidos suspendidos se redujeron entre el 68 y el 93 por ciento. Por otro lado, durante las estaciones en que la superficie de las aguas permanece descongelada los sólidos suspendidos pasan de una reducción del 68 por ciento a un aumento del 112 por ciento.

4). Nitrógeno

Los análisis de nitrógeno en forma de amonio y nitritos se realizaron en un laboratorio móvil, con muestras acabadas de recoger.

Los resultados indican que la concentración de amonio es mayor en invierno, esto posiblemente se debe a que en las otras estaciones, la asimilación de las algas hace que sea menor la concentración de este compuesto.

5). Fósforo

La reducción en fósforo (fosfatos y ortofosfatos) osciló entre el 20 y el 80 por ciento. La reducción mínima es obtenida en invierno, la que nos indica que la disminución en la concentración de fósforo se debe en gran parte a la cantidad de este metal que es absorbido por las algas.

6). Cloruro

Los iones de cloruro no son afectados en forma apreciable por las acciones químicas y biológicas naturales, ya que la concentración de cloruros sólo es aumentada por la evaporación y disminuida por la dilución.

7). Alcalinidad, PH, oxígeno disuelto

La alcalinidad, PH, y contenido de oxígeno disuelto de una laguna de oxidación, están en relación directa con la actividad de las algas. Durante los períodos de congelamiento de la superficie de las aguas, en que baja la actividad de las algas, la descomposición anaeróbica que se produce trae como resultado una baja del pH.

El oxígeno disuelto depende también de la actividad de las algas. Se ha observado que durante la primavera

el O.D. es mayor en las lagunas de poca profundidad, como resultado de la intensa actividad fotosintética; en el verano, el O.D. es mayor en las lagunas un poco más profundas; pues en las de poca profundidad las algas se disminuyen debido a que muchas de ellas no soportan el fuerte cambio de temperatura.

8). Condiciones Físicas

No se hicieron determinaciones de laboratorio sobre el color, pero en general, el color aparente del contenido de una laguna, al ser observado desde el dique, o en una muestra recogida en una botella, da una buena idea de las condiciones relativas de la laguna. El color verde fuerte, indica un buen balance de las condiciones aeróbicas durante el día; un oscuro nítido es indicador de condiciones anaeróbicas. El efluente de una instalación que conste de una sola laguna, en la que el proceso fotosintético se lleva a cabo en forma satisfactoria es de color verde. Este color verde puede ser removido usando varias lagunas en serie. Esto fué observado en una instalación con dos lagunas en serie, donde la primera laguna era de color verde, y la segunda era clara e incolora durante el verano y el otoño.

Los organismos superiores que pueden vivir en estas lagunas secundarias consumen las algas por lo que remueven el color. Aparentemente, la muerte y descomposición de estos organismos superiores sólo añade al proceso de estabilización una carga muy pequeña, por lo que es despreciable.

No se presentaron malos olores, con excepción de los que se originaron en el período de deshielo, en que las lagunas dejaban de tener cubierta su superficie y no se había formado todavía la población de algas.

Raramente fueron vistas materias flotantes en la superficie de las lagunas y en los diques. Sólo las irregularidades del fondo y las hierbas retuvieron materiales que pudieron ser vistos por observadores parados en la orilla.

CAPITULO IV

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE PURIFICACION

Los principales factores que afectan el proceso de purificación que se lleva a cabo en una laguna de oxidación son los siguientes:

1). Calidad del Agua Potable:

Es de gran importancia conocer el contenido de sodio que llevan las aguas potables, por el efecto que esto puede producir de sellar el fondo de la laguna. También es importante saber que minerales contiene el agua, para preveer el efecto que esto pueda traer sobre la actividad biológica que se ha de desarrollar en la laguna.

2). Cantidad y Calidad del Agua Negra:

La carga de un agua negra se expresa por lo general en términos de su demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en la prueba de 5 días a 20°C. En las lagunas de las Dakotas el flujo sanitario osciló entre 3600 y 6800 galones por día, y la carga estuvo entre 7.1 y 14.7 libras de DBO por día. Es evidente que el área que deben tener las lagunas depende fundamentalmente de la cantidad y de la carga del agua negra que se les va a echar. En Las Dakotas un área de 1 acre por cada 150 personas demostró ser suficiente.

3). Materias Tóxicas:

La presencia de materias tóxicas perjudica el crecimiento de las algas y por lo tanto es nociva al proceso de purificación. Sin embargo, en las lagunas estudiadas no se ha presentado este problema, por lo que se conoce muy poco sobre el mismo.

4). Dimensiones de Las Lagunas:

Las dimensiones de las lagunas (superficie y volumen) afectan las siguientes funciones:

- a). Dilución
- b). Exposición a la luz.
- c). Período de detención.
- d). Producción de ondas.

- e). Concentración por evaporación.
- f). Pérdida de líquido a través de la filtración.
- g). Mezcla del líquido por las fuerzas naturales.

La relación entre el volumen del agua negra aplicada y la lluvia por un lado y la evaporación, filtración y caudal del efluente por otro, crea ciertas limitaciones al tamaño de las lagunas, especialmente cuando las pérdidas por evaporación y filtración son mayores que la precipitación lluviosa.

En vista de que la producción de oxígeno fotosintético efectuada por las algas es la llave que gobierna el éxito de la estabilización aeróbica, al diseñar una laguna de oxidación se le debe dar la mayor área que sea posible.

5). Luz:

La luz es importante por tres razones diferentes:

- a). Las condiciones de la radiación solar durante el año, que varían con la latitud, elevación, y estado atmosférico, son las que determinan la forma en que podrá comportarse una laguna de oxidación en una localidad determinada.
- b). Los cambios en la radiación solar diaria que suceden en las diferentes estaciones sugieren las dificultades que se podrán presentar en cada una de las estaciones del año.
- c). La penetración de la luz incidente determina qué porcentaje del volumen de la laguna participará en la producción de oxígeno.

En vista de que la fotosíntesis es un factor muy importante en la operación de una laguna estabilizadora, se han dedicado muchos esfuerzos y tiempo al estudio de este fenómeno.

Debido a la turbiedad producida por las algas, la penetración de la luz es muy poca en las lagunas de oxidación. Se han efectuado experimentos mediante los cuales se ha comprobado que la penetración de la luz es mucho mayor en un lago corriente que en una laguna de oxidación. En el lago Murdo, un depósito de agua para Murdo, Dakota del Sur, se observó que un 99 por ciento de la luz incidente era absorbida hasta la profundidad de 23.5 pies. En cam-

bio, en una laguna de oxidación estudiada en un lugar cercano a este lago, se observó que el 99 por ciento de la luz incidente llegaba apenas a medio pié de profundidad. Esta diferencia en la absorción de la luz con respecto a la profundidad es debida en su mayor parte a la densidad de la población de algas. La mayor o menor penetración de la luz se refleja en una mayor o menor concentración de clorofila.

La capa que absorbe el 99 por ciento de la luz incidente es considerada en cualquier masa de agua como el estrato en que se lleva a cabo toda la fotosíntesis apreciable. Con respecto a las lagunas de oxidación, esta capa es la que indica la proporción del volumen que produce oxígeno por fotosíntesis.

La capacidad para absorber la luz varía con cada laguna de estabilización, este hecho le da una característica especial a cada laguna, que puede ser expresada en términos de la profundidad a la cual queda un residuo del diez por ciento y del uno por ciento de la luz superficial.

Las mediciones sobre penetración de la luz solar se hacen por medio de un aparato que tiene una célula fotoeléctrica que es sumergida en el agua, la cual tiene una sensibilidad comprendida entre 4200 y 7000 unidades Angstrom. Estas longitudes de onda corresponden a una gama de colores comprendida entre el violeta y el rojo carmín, es decir los colores perceptibles por el ojo humano.

La producción de oxígeno que ocurre a las distintas intensidades de luz, prevalecientes en las diferentes profundidades ha sido medida en muchas lagunas. Para hacer esto se tomaron muestras de las lagunas y se colocaron en botellas de vidrio que fueron suspendidas a determinadas alturas. El cambio de oxígeno ocurrido durante la prueba fué usado para determinar la producción horaria promedio de oxígeno fotosintético. Por medio de este experimento se demostró también que la producción de oxígeno decrece rápidamente con la profundidad. La razón de producción a 24 y 38 pulgadas es un 14 y un 3.5 por ciento de la que ocurre a 10 pulgadas. Usando botellas tapadas, que se colocaban a diferentes profundidades, se comprobó que el uso respiratorio del oxígeno es el mismo a cualquier profundidad.

6). Temperatura:

El principal efecto de la temperatura en el proceso de estabilización se debe a su influencia en la reacción de DBO. Por ejemplo, una DBO que podría ser satisfecha en 4 días a 30° requeriría 13 días a 5°C.

La oscilación entre la temperatura máxima y mínima disminuye conforme aumenta la profundidad, lo que es beneficioso para el proceso de estabilización, sobre todo en los meses calurosos del verano.

7). Velocidad y Dirección del Viento:

La superficie de una laguna de oxidación no es propensa a la formación de ondas, posiblemente debido a la tensión superficial; se ha observado que las ondas se forman sólo cuando la velocidad del viento es mayor de 35 millas por hora.

La turbulencia producida por las olas contribuye a la dispersión de los sólidos sedimentables. Se ha observado que la agitación superficial producida por los vientos de alta velocidad contribuye a bajar la supersaturación de O.D. que se forma en la capa superior de la laguna, ya que dirige una parte del oxígeno hacia las capas inferiores, y otra hacia el aire de la atmósfera.

Lo anterior nos hace creer que la acción del viento es beneficiosa a las lagunas de oxidación, ya que hace que al O.D. acumulado en las capas superiores se distribuya mejor. Por consiguiente, las lagunas deben ubicarse en lugares donde estén expuestas a la acción de los vientos prevalecientes.

8). Evaporación, Precipitación y Filtración:

El monto anual de la descarga ocurrida en el efluente de una laguna es definido por la ecuación del balance hidráulico:

$$e = (A + P) - (E + F)$$

e = efluente

A = aguas negras recibidas

P = precipitación

E = evaporación

F = filtración

Si la laguna no tiene efluente, entonces la anterior ecuación debe tener una tendencia a ser igual a cero. Sin embargo, pueden ocurrir fluctuaciones en el nivel de agua debidas a variaciones en cualquiera de las variables, pero si ocurre en valor negativo que se mantiene mucho tiempo, puede suceder que la

laguna llegue a tener un nivel tan bajo que la haga inútil.

9). Características del Suelo:

La filtración es una variable que puede impedir la obtención del nivel óptimo de operación que se había planeado. Un análisis de suelos por sí solo no es suficiente para predecir la pérdida de líquido que pueda ocurrir por filtración. El contenido de sodio del líquido influente puede contribuir a sellar el fondo por medio de las alteraciones que produce en su composición química. Es necesario un estudio más profundo para correlacionar las características del suelo con la filtración que pueda ocurrir. Sin embargo, hay dos reglas que deben considerarse fundamentales:

1). No se debe permitir ninguna filtración hacia lugares donde hay pozos o fuentes subterráneas que son utilizadas para usos domésticos. Al localizar una laguna de oxidación debe tenerse muy en cuenta esta recomendación.

2). Si el suelo sobre el que se va a ubicar la laguna es de grava o piedra caliza, debe ser cubierto con una capa de arcilla.

10). Cuidados que hay que tener al poner a trabajar una Laguna de Oxidación por Primera Vez:

Asumiendo un flujo de 50 galones por cabeza por día, 100 personas suministrarían 5000 galones diariamente. Sobre un área de un acre se requerirían 69 días para que este caudal llegue a tener una elevación de un pie. Lo anterior es cierto sin tomar en cuenta la filtración, la evaporación y la precipitación. Todos estos hechos deben tomarse en cuenta al escoger la época del año en que se va a iniciar la operación de una laguna de oxidación, pues es necesario conocer el tiempo que se necesitará para obtener el nivel de agua óptimo. En general, puede decirse que antes de poner a funcionar una laguna de oxidación por primera vez, hay que asegurarse de que se podrá mantener el nivel del líquido determinado de antemano, pues de otra manera no se realizará el proceso biológico en forma satisfactoria la que traería como consecuencia que la laguna pasara al estado anaeróbico con el consiguiente desprendimiento de malos olores.

CAPITULO V

DETALLES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION

1). Selección del Sitio:

Aunque hay muchas lagunas de oxidación operando en forma satisfactoria en terrenos bastante aproximados a áreas residenciales, para disminuir la posibilidad de quejas debidas a malos olores, los Departamentos de Salud de las Dakotas sugieren que las lagunas se sitúen por lo menos a 800 metros de la comunidad más cercana y 400 metros de la residencia más próxima. Estas distancias son más o menos las recomendadas para las plantas de tratamiento de tipo convencional. En los lugares donde no hay congelamiento de las aguas, tal como Costa Rica, estas distancias pueden reducirse.

De ser posible, el sitio para la laguna debe ser escogido en un lugar que sea azotado por el viento. También debe ponérsele mucha atención a las características del suelo, proximidad de fuentes subterráneas de agua, etc.

Otros factores que hay que tomar en cuenta son el costo y la topografía.

2). Forma de la Laguna:

La forma de una laguna no tiene mayor importancia, por lo que siempre es posible escoger la que de el movimiento de tierras más económico.

Debe cuidarse, eso sí, que no hayan irregularidades, tales como penínsulas, golfos, islas, etc., para evitar que se acumulen materias flotantes, y que se obstaculice la acción del viento. Ya que las lagunas dependen del viento y de las corrientes de convección para que haya un mezcleo efectivo de los componentes. La ocurrencia de este mezcleo es evidenciada por la uniformidad de los resultados obtenidos en análisis hechos con muestras recogidas en diferentes puntos de la laguna simultáneamente.

3). Area:

En los Estados Unidos de Norte América recomiendan dejar en las lagunas de oxidación un area de un acre por cada 20 libras de DBO por día en los lugares donde ocurre congelamiento de las aguas. Para los lugares donde no ocurre congelamiento de las aguas la carga aplicable recomendada oscila entre 50 y 75 libras de DBO por día por acre.

En Costa Rica se pueden usar estos valores de un acre

por una carga de 50 a 75 libras de DBO por día, al menos por ahora, mientras se determina experimentalmente cual es la carga máxima aplicable. Las lagunas de oxidación de Cañas, Guanacaste, fueron diseñadas para una carga de 50 libras de DBO por día por acre; con las pruebas que se hagan en el laboratorio que se va a instalar en Cañas esperamos poder determinar si es posible aplicar cargas mayores, o si por el contrario, estas deben ser reducidas.

A la hora de diseñar el área que se debe dar a una laguna, es más cómodo hacerlo basándose en un cierto número de habitantes por unidad de área, que en un cierto número de libras de DBO por día por acre. En vista de eso, vamos a expresar las cargas recomendadas anteriormente para usar en Costa Rica en términos de habitantes por acre.

En Costa Rica no se tienen muchos datos sobre consumos de DBO por cabeza por día, por lo que en este cálculo usaremos el dato que dan los señores Fair y Geyer en su libro "Water Supply and Waste Water Disposal", como valor promedio para los Estados Unidos. Esta carga es de 54 gramos por cabeza por día. Cuando esté funcionando el laboratorio de Cañas, esperamos hacer esta determinación para conocer el valor real en esa población,

$$\frac{50 \times 454}{54} = 404 \quad ; \quad \frac{75 \times 454}{54} = 607$$

o sea que, vamos a diseñar las lagunas de oxidación para cargas de 400 a 600 personas por acre.

El flujo mínimo por unidad de área que se le puede tributar a una laguna de oxidación depende de las condiciones del suelo, de la evaporación, y de la precipitación. Siempre debe hacerse una revisión con la ecuación del balance hidráulico después de determinado el área para comprobar si la laguna no corre el riesgo de secarse.

En algunos casos se construyen lagunas sin efluente, en las que la ecuación del balance hidráulico tiene un valor nulo durante el año. El diseño de estas lagunas hay que hacerlo en forma muy cuidadosa y comprobando que las fluctuaciones de nivel que la laguna puede sufrir durante el año le permitan trabajar normalmente.

4). Profundidad:

La profundidad óptima está directamente asociada con la penetración de la luz y la fotosíntesis resultante. Desde un punto de vista puramente teórico, una laguna de sólo unas pocas pulgadas sería el productor de oxígeno más eficiente. Sin embargo, desde un

punto de vista práctico, se ha encontrado que es deseable mantener una profundidad tal que impida el crecimiento de plantas en el fondo de la laguna. Se ha encontrado que una profundidad de noventa centímetros (3 pies) es suficiente para impedir el crecimiento de tales plantas. También parece que no se obtiene ninguna ventaja en particular, por dar profundidades mucho mayores de noventa centímetros. Las capas superficiales contribuyen a un mezcleo mejor, y a una distribución de los sólidos sedimentables sobre todo el área de la laguna, gracias a la acción del viento. Esto disminuye la posibilidad de que se formen bancos de fangos, con sus correspondientes descomposiciones anaeróbicas, ya que los sólidos sedimentables se mantienen en un ambiente aeróbico.

En resumen, lo más conveniente es construir las lagunas de oxidación de modo que su profundidad se pueda variar entre noventa centímetros y un metro cincuenta (3 y 5 pies). En esta forma se pueden hacer variaciones en el nivel, lo que impide el crecimiento de mosquitos, pues las larvas no sobreviven a estas variaciones.

Las lagunas de oxidación no tienen mayor problema con los sedimentos que se depositan en el fondo, pues se calcula que éstos forman en un año una capa de apenas unos 6 milímetros.

El fondo de las lagunas debe estar a nivel, pues cuando tiene irregularidades se dificulta el mezcleo de las diferentes capas.

5). Diques:

Los diques o terraplenes deberían ser construídos en forma tal, que se haga fácil su limpieza y mantenimiento. Las orillas de la laguna deben estar siempre libres de hierbas y malezas. Los taludes del dique se construyen por lo general en la relación uno vertical por tres horizontal, pero en todo caso regirá el criterio de diseño a que lleve la tierra que se utilice. Deben protegerse contra la erosión colocando una capa de piedra gruesa, la que los protege de la acción de las olas. Cuando la velocidad del viento es muy grande, el talud se debe construir con una inclinación menor (1 Vert: 5 Horiz) para hacerlo más resistente a la acción de las olas.

Los diques deben ser impermeables, y en la parte superior deben tener un ancho tal que permita el paso de un vehículo de limpieza. Un ancho de tres a cuatro metros es suficiente. La altura del dique debe ser tal que la cresta esté por lo menos 70 centímetros más alta que el nivel máximo del agua, sin embargo, si la

altura es excesiva puede perjudicar la acción del viento sobre la laguna.

6). Estructura de Entrada:

Localización:

Deben evitarse estructuras de entrada ubicadas muy cerca de la orilla, es conveniente que estén por lo menos a quince metros de ésta, y preferiblemente en el centro. En algunas lagunas construidas con la estructura de entrada muy cerca de la orilla, se observó que siempre había suciedades que se quedaban estacionadas cerca de dicha entrada.

En instalaciones de varias lagunas operadas en serie no se requiere que todas las unidades tengan la entrada en el centro, siendo esto necesario únicamente para la primera laguna.

Forma de la Estructura:

La estructura de entrada que ha dado mejores resultados es un simple plato de unos 15 metros de diámetro, el cual tiene el borde al nivel del fondo de la laguna, y el centro unos 30 centímetros más bajo. Sobre este plato descarga la tubería de entrada. El objeto de darle al plato esta depresión de 30 centímetros es proporcionar una profundidad de agua suficiente para la acción biológica cuando la laguna se pone en operación por primera vez.

7). Estructura de Salida:

Localización:

La estructura de salida debe situarse lo más lejos posible de la estructura de entrada con el objeto de evitar cortocircuitos entre ambas. Se ha demostrado que una sola estructura de salida, con separación suficiente de la entrada (por lo menos unos cuarenta metros) es capaz de descargar la laguna sin ningún peligro de cortocircuitos entre la entrada y la salida. De ser posible debe ubicarse la estructura de salida del lado que pega el viento, en esta forma se evita la presencia de cortocircuitos causados por la acción de éste; pero éstos no ocurren con mucha frecuencia, por lo que esta última recomendación se seguirá únicamente cuando no vaya en menoscabo de las dadas anteriormente, y del costo del proyecto.

Forma de la Estructura:

Las estructuras de salida se construyen de formas muy va-

riadas. Deben construirse en forma tal que permitan variar el nivel de operación de las lagunas entre noventa centímetros y un metro cincuenta. Por lo general, el nivel superior es mantenido por medio de un simple rebalse.

8). Sistemas de Varias Lagunas:

Con base en las observaciones efectuadas hasta la fecha, parece ser muy ventajosa la flexibilidad de operación que permite el uso de varias lagunas en un mismo sistema. Con lagunas diseñadas para operar en paralelo, es posible poner solo una en operación cuando el sistema es puesto a trabajar por primera vez. De esta manera se logra reducir el período de llenado de la laguna con lo que se evitan muchos problemas, principalmente el de crecimiento de hierbas en el fondo.

Cuando las lagunas operan en serie practicamente todos los sólidos sedimentables son depositados en la primera. Por consiguiente, la carga en esta primera laguna será gobernada con el criterio que se seguiría si estuviera sola.

La reducción de área que se obtiene por laguna, al usar varias en lugar de una sola reduce la acción del viento. Esto es una ventaja desde el punto de vista de la erosión que pueda producirse sobre el dique, pero es desfavorable al mezcleo que debe haber del contenido de la laguna.

9). Cercas y Señales:

Es imprescindible instalar cercas y señales prohibiendo el paso. El propósito de las señales es notificar a las personas de la naturaleza de la instalación. Ya que existe el peligro, de que, por equivocación, confundan la laguna de oxidación con una laguna corriente, y la usen para remar, y aún para nadar, como sucedió en una laguna de Las Dakotas. Las cercas tienen por objeto evitar el acceso del ganado a las instalaciones, lo cual sería nocivo a los animales y a las estructuras.

10). Pretratamiento:

Todas las recomendaciones dadas aquí son para el diseño de lagunas que van a recibir el agua negra cruda, es decir sin ningún tratamiento previo. En general se considera que es innecesario el tratamiento previo, ya que las lagunas funcionan perfectamente sin necesidad de éste. Sin embargo, en algunos lugares donde el terreno es caro, se han usado sedimentadores antes de las lagunas con el propósito de poderles aplicar una carga mayor, aunque a la larga este método viene a resultar más costoso debido al mantenimiento que hay que dar al sedimentador.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES SOBRE LA OPERACION DE LAGUNAS DE OXIDACION

Una laguna de oxidación debe ser operada con las mismas precauciones que se practican en una planta de tratamiento de tipo convencional. Una superficie grande de agua es siempre atractiva a los niños, y han sido reportados incidentes de navegación en bote de remos, de personas esquiando, y aún nadando. Aunque la remoción de bacterias medida es muy alta, siempre existe la posibilidad de una infección al hacer contacto con aguas que todavía no han sido estabilizadas. De aquí la necesidad de cercar y poner señales indicando el peligro de pasar. El efluente de una laguna de oxidación bien diseñada es comparable con el de una planta de tratamiento convencional; por consiguiente, puede ser usado para irrigación, de acuerdo con las regulaciones que existan al respecto.

Los acuíferos subterráneos, especialmente los usados para suministro de aguas municipales y domésticas no deben ser accesibles a filtraciones provenientes de una laguna de oxidación.

Cuando se tienen molestias por malos olores es conveniente recircular a la entrada de las lagunas el efluente que se está descargando, pues en esta forma se siguen aprovechando las algas que iban saliendo por el efluente, las cuales intensificarán la producción de oxígeno.

Para evitar la propagación de mosquitos se recomienda variar periódicamente el nivel de las lagunas; también se recomienda el rociado y aspersión de insecticidas, y la propagación de peces larvicidas, aunque por causas aun no definidas, no todas las lagunas permiten la sustentación y procreación de peces.

Dada la enorme reducción bacteriana que ocurre durante el proceso fotosintético, no se considera necesaria la cloración del efluente.

En los sistemas de varias lagunas en serie hay ciertos procedimientos de operación que son muy importantes, pero que no describiremos en este capítulo debido a que hablaremos de él al hacer las recomendaciones de operación para el sistema de lagunas de Cañas, Guanacaste.

CAPITULO VII

DISEÑO DE LA RED DE CLOACAS Y LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS, GUANACASTE

Descripción del Lugar:

La ciudad de Cañas es la cabecera del cantón del mismo nombre, de la provincia de Guanacaste, Costa Rica. Está situada a 196 kilómetros de la ciudad de San José sobre la Carretera Interamericana, la que pasa por su extremo sur. Su elevación sobre el nivel medio del mar es de 85 metros. Cañas está situada en la zona conocida como Llanos del Guanacaste. La riqueza del cantón se basa fundamentalmente en la agricultura y la ganadería. Los cultivos más importantes son los de arroz y algodón, este último como cultivo relativamente nuevo que está tomando gran incremento.

Las lagunas de oxidación de Cañas se construyeron como parte de un programa experimental que tiene por objeto estudiar el comportamiento de tales instalaciones en Costa Rica; pues este sistema de tratamiento debe demostrar su efectividad en los climas y condiciones bajo las cuales debe funcionar antes de ser aceptado.

Se ha escogido la ciudad de Cañas para esta primera demostración del uso de lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas negras en Costa Rica, por considerarse una de las más típicas de las ciudades del Guanacaste y debido a que su Municipalidad se ha mostrado dispuesta a colaborar y contribuir al costo de la obra.

Las condiciones climatéricas de Cañas, de acuerdo con información suministrada por el Servicio Meteorológico Nacional son las siguientes:

	<u>ENE.</u>	<u>FEB.</u>	<u>MAR.</u>	<u>ABR.</u>	<u>MAYO</u>	<u>JUNIO</u>
Días con lluvia normales	1	0	0	2	12	14
Precipitación normal en mm.	1.4	6.4	3.6	39.7	215.9	289.5
Temp. máxima normal °C	33.7	35.6	35.1	36.2	35.5	34.5
Temp. mínima normal °C	21.9	22.5	22.2	21.2	20.8	21.1
Temp. media normal °C	27.8	29.0	28.6	28.7	28.2	27.8

	<u>JUL.</u>	<u>AGO.</u>	<u>SET.</u>	<u>OCT.</u>	<u>NOV.</u>	<u>DIC.</u>
Dias con lluvia normales	10	11	20	17	5	2
Precipitación normal en mm.	188.1	186.4	411.6	410.3	97.0	9.4
Temp. máxima normal °C	33.6	34.0	34.2	33.7	34.1	33.4
Temp. mínima normal °C	21.2	21.4	21.1	20.5	21.3	21.3
Temp. media normal °C	27.6	27.6	27.6	27.0	27.2	26.9

Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

10° 25' latitud norte

85° 07' longitud oeste

La dirección del viento es casi siempre de norte a sur, y con frecuencia alcanza velocidades de 20 a 40 kilómetros por hora.

Descripción de la Cañería en Uso:

La toma está constituida por una cámara filtrante ubicada a la orilla del río Cañas. De la cámara filtrante pasa el agua a un tanque colector, y de éste al tanque de distribución. Como se ve, el agua no recibe ningún tratamiento, por lo que sus condiciones sanitarias no son muy buenas. Actualmente el SCISP está construyendo una batería de pozos profundos, de la que se tomará el agua para la cañería. En esta forma se mejorará la calidad del agua. Se dejará la red de distribución actual, pues se encuentra en buenas condiciones.

De acuerdo con un aforo hecho recientemente, el consumo promedio diario de agua es de 229,510 galones, que distribuidos entre unos 2000 usuarios nos da un consumo promedio de 115 galones por cabeza por día.

Descripción de la Red de Cloacas:

Se construyó un sistema combinado para la recolección de las aguas negras y pluviales. La red colectora es de tubería de concreto; no acarrea materias tóxicas, pues no recibe el efluente de ninguna industria.

El caudal pluvial máximo que lleva esta red en su colector principal es de 35.4 pies³/seg., y el caudal sanitario máximo es

de 0.3 pies ³/seg., por lo que el flujo combinado máximo es de 35.7 pies ³/seg.

El caudal sanitario máximo se calculó asumiendo que la producción de agua negra es de 100 galones por cabeza por día.

No hacemos referencia aquí sobre el diseño de la red colectora, por tratarse de un trabajo común y corriente, que no tiene nada de original.

También se ha construido cordón y caño, y tragantes para recolección de las aguas pluviales.

Recomendaciones para el Diseño de las Lagunas:

En vista de que en Costa Rica no se tiene experiencia en el diseño de lagunas de oxidación, para tratamiento de desechos, ya que esta es la primera instalación de ese tipo que se construye en el país, el Servicio Cooperativo Interamericano de Salubridad Pública consideró conveniente traer un técnico en la materia que asesorara a sus ingenieros. La persona que vino fué el señor W. W. Towne, M.S., C.E., Chief of Water Pollution Control, Robt. A. Taft Sanitary Engineering Center, U. S. Public Health Service, Cincinnati, Ohio, U. S. A.

El Ing. Towne hizo sus recomendaciones basado en su amplia experiencia en la materia, obtenida en extensos estudios de campo y observaciones de sistemas de tratamiento de aguas negras en los Estados Unidos, realizados bajo su dirección por el U. S. Public Health Service. Los estudios más completos sobre lagunas de oxidación fueron llevados a cabo en las Dakotas del Norte y del Sur; también se hicieron estudios importantes en otros estados, incluyendo Missouri, Texas, Oklahoma, New Mexico, California, Mississippi y otros.

Considera el Ing. Towne que no existe ninguna razón para creer que este sistema de tratamiento no pueda funcionar satisfactoriamente en el trópico.

El Ing. Towne, después de visitar la zona en que podrían situarse las lagunas y con base en un plano completo de curvas de nivel de una extensa zona adyacente a la ciudad de Cañas, y el dato del área requerida para dar servicio a la población, procedió a localizar las lagunas en la forma mostrada en el plano No. 2. En dicho plano están las lagunas No. 1 y No. 2 que son las que se construirán, y dos lagunas más, las No. 3 y No. 4, que se construirán conforme el número de casas conectadas a la red lo vayan requiriendo.

El Ing. Towne hace las siguientes recomendaciones referentes a la construcción de las lagunas:

- a). Que para comenzar a trabajar la planta se construyeran dos lagunas, con áreas de aproximadamente uno y dos acres, las cuales puedan trabajar en serie, paralelo o independientemente según sea necesario.
- b). Que el fondo de las lagunas estuviera a nivel, y que el talud de los diques tuviera una pendiente de aproximadamente 1 vertical por 2 horizontal. (Ver plano No. 4).
- c). Construir las entradas sumergidas, a 100 piés del dique en la laguna No. 1 y a 150 piés en la No. 2. Además debe construirse una depresión en forma de plato frente al tubo de entrada. Dicha depresión debe tener su centro un pie más hondo que el fondo de las lagunas, y su diámetro puede ser de 100 piés en las lagunas grandes. (Ver plano No. 4).
- d). Construir la estructura de salida de modo que permita variar el nivel del agua entre 3 y 5 piés sobre el fondo. La estructura de salida debe estar en un punto bien distante de la entrada a la laguna. (Ver plano No. 6).
- e). Efectuar la separación del flujo combinado por medio de una estructura como la que aparece en el plano No. 5, la cual hace pasar el flujo sanitario por un "Parshall Flume", lo que permite medir el caudal que pasa a las lagunas.
- f). Construir un sistema divisor de flujos que permita enviar el agua negra a cualquiera de las lagunas, o a ambas simultáneamente y en forma proporcional. (Ver plano No. 6).
- g). Construir un vertedero de medida a la entrada de cada laguna. (Ver plano No. 6).
- h). Construir un vertedero de medida a la salida de cada laguna. (Ver plano No. 6).

Nota:

Las anteriores recomendaciones son tomadas del memorandum que con fecha 18 de noviembre de 1957 dirigiera el Ing. Towne al señor Director del Servicio Cooperativo Interamericano de Salubridad Pública. Para una información más completa se puede ver dicho memorandum.

Diseño de las Lagunas:

1). Determinación de la Zona de Lagunas:

Las condiciones topográficas de la ciudad de Cañas condujeron el diseño lógico de la red colectora en la forma mostrada en el plano No. 1. Como puede apreciarse en dicho plano, el final de la red colectora está en el PI-142, siendo la elevación del fondo del tubo en ese punto, de 77.40 m sobre el nivel del mar. Con base en la forma de la red colectora, y tomando como punto de partida las cotas del terreno y fondo del tubo en el punto PI-142, se hicieron estudios topográficos que consistieron en el levantamiento del plano de curvas de nivel de una extensa área situada al sur de la población, en busca de una zona apropiada para la localización de las lagunas.

De toda la zona levantada, mostrada en el plano No. 1, se decidió situar las lagunas en una zona cercana a la población, situada al costado suroeste de la carretera interamericana, a la entrada de la ciudad. Dicha área, en una buena extensión esta despejada, permitiendo la libre acción del sol y del viento.

La principal desventaja del sitio escogido está en su proximidad a 3 o 4 residencias situadas al noreste de la carretera. Sin embargo, esta situación es compensada por el hecho de que la dirección predominante de los vientos es de norte a sur, además de que se espera que las lagunas permanezcan en estado aeróbico, por lo que no es probable que se produzcan malos olores. Una laguna en estado aeróbico produce menos malos olores que un tanque Imhoff bien operado.

2). Area de las Lagunas, Niveles y Taludes:

Con base en la experiencia adquirida en las áreas de los Estados Unidos, donde no hay congelamiento de las aguas, se estimó que una carga entre 50 y 75 lbs. de D.B.O. (5 días-20°C) por acre por día puede ser tratada eficientemente en Cañas. En términos de población esto equivale a una carga entre 400 y 600 personas por acre. Sin embargo como la carga sanitaria se irá aplicando gradualmente, será posible operar las lagunas como unidades experimentales, con la carga variando desde prácticamente cero a valores extremos.

Lo anterior permitirá obtener muchos datos útiles sobre el comportamiento de lagunas de oxidación en nuestro medio, sin necesidad de hacer grandes gastos.

Datos:

Población servida inicialmente por las lagunas: 1300 habitantes.

Flujo sanitario promedio 100 g.c.d.

Carga permisible: 400 habitantes/acre

Area requerida por las lagunas = $\frac{1300}{400} = 3.3$ acres

Construir dos lagunas: una de 1.1 acres (No. 1).
una de 2.2 acres (No. 2).

El área de las lagunas se distribuirá de esta manera, con el objeto de operar solamente la pequeña al principio, cuando el flujo sea bajo, principalmente en verano. La forma de las lagunas está en el plano No. 3.

El nivel del fondo de la laguna se ha escogido a 72 m sobre el nivel del mar.

El nivel máximo del agua está a 73.5 m.

La elevación superior del dique está a 74.2 m, y tiene un talud de 2 horizontal por 1 vertical.

Cálculo de Flujo Sanitario Promedio:

$$Q_s = 100 \times 1300 = 130.000 \text{ gal/día.}$$

Cálculo de la Evaporación:

Fórmula de Meyer:

$$E_m = 15(V_w - V) \left(1 + \frac{W}{10}\right)$$

E_m = evaporación mensual en pulgadas por mes

V_w = presión de vapor a la temperatura del agua.

V = presión de vapor a la temperatura del aire.

W = velocidad del viento en millas por hora.

Datos:

$$V_w = 1.127 \text{ pulgadas de mercurio.}$$

$$V = 1.062 \text{ pulgadas de mercurio.}$$

$$W = 10 \text{ millas/hora.}$$

$$E_m = 15 (1.127 - 1.062) \left(1 + \frac{10}{10}\right)$$

$$E_m = 15 \times 0.065 \times 2 = 2 \text{ pulgadas/mes}$$

$$E_d = \frac{2}{30} = 0.067 \text{ pulgadas/día}$$

$$Q_e = 0.067 \times 3.3 \times 43560 \times \frac{1}{12} \times 7.48 = 6000 \text{ gal/día.}$$

Cálculo de la Percolación:

El terreno donde se construirán las lagunas es bastante impermeable, no obstante, se deben compactar bien el fondo y los diques con el objeto de evitar que la percolación sea mayor de $\frac{1}{2}$ pulgada por día.

$$Q_p = \frac{1}{2} \times 3.3 \times 43560 \times 7.48 = 44750 \text{ gal./ día.}$$

Cálculo del Efluente en Verano:

$$Q_{ef} = Q_s - (Q_e + Q_p) = 130000 - 50750 = 79250 \text{ gal./día.}$$

El efluente en verano será de 79250 gal./día.

Los anteriores cálculos nos permiten ver que al principio, cuando todavía hay muchas casas sin conectar a la red, no se pueden poner a trabajar las dos lagunas, pues éstas se secarían. Por tal motivo, se comenzará trabajando únicamente con la laguna No. 1, y se usará la No. 2 hasta que se vea que es necesario.

En invierno el caudal que entre a las lagunas será mucho mayor, debido a la precipitación que caiga sobre éstas, así como al hecho de que la caja separadora de flujos deja entrar en las lagunas una parte del flujo pluvial.

Detalles de Construcción:

Además de los detalles constructivos que se dan en los

planos daremos aquí algunas recomendaciones:

a). Los terraplenes de la laguna se sembrarán con zacate hacia arriba del nivel superior del agua; las áreas adyacentes a las lagunas serán también enzacatadas, y el zacate será recortado con frecuencia y mantenido en buen estado para evitar malezas inconvenientes.

b). El fondo de las lagunas será a nivel y estará limpio de toda vegetación. Los terraplenes también estarán libres de vegetación por debajo de la línea de agua. Lo anterior se recomienda con el propósito de impedir el crecimiento de mosquitos.

c). Con el propósito de evitar que el talud sufra erosión por el oleaje, se protegerá con una capa de grava, según se indica en el plano No. 4.

d). Se instalarán cunetas alrededor de toda el área de lagunas para cortar las aguas de lluvia, las cuales desaguarán en el caño general de recolección de las aguas pluviales.

3). Estructura Separadora de Flujos: (Ver plano No. 5).

La tubería entre el PI-142 y la caja separadora de flujos tiene capacidad para llevar el flujo combinado máximo, que es de 35.7 piés³/seg; es de concreto, de 30" de diámetro, y lleva una pendiente del 9%. Sale del PI-142 con una cota de fondo de tubo de 77.40 m, y llega a la caja separadora de flujos con una elevación de 74.90 m. (Ver plano No. 1).

La separación del flujo combinado se lleva a cabo por medio de la estructura que aparece en el plano No. 5. Dicha caja recibe el flujo combinado, y tiene un "Parshall Flume" que permite pasar hacia las lagunas un flujo proporcional a la altura que traiga el agua en la tubería de entrada; el resto del flujo es desviado por unos vertederos laterales. El "Parshall Flume" de la caja separadora de flujos, además de regular el flujo que va a las lagunas, permite medirlo, ya que éste puede ser determinado en las curvas de la página No. 37, con sólo medir la altura del agua en el pozo para flotador. (Ver figura de página No. 36).

Diseño de los Vertederos Laterales:

Flujo máximo de aguas pluviales.

$$Q_{ap} = 35.4 \text{ piés}^3/\text{seg.} = 15900 \text{ gal/min.} = 22.90 \text{ M.G.D.}$$

$$Q_{ap} = 22.90 \text{ M.G.D.} = 35.4 \text{ piés}^3/\text{seg.}$$

Flujo sanitario máximo: (Se usará una población de 2000 habitantes para el diseño de la caja separadora de flujos, aunque las lagunas servirán al principio a unas 1300 personas; lo anterior se hace en vista de que la caja separadora de flujos servirá más adelante a toda la población cubierta por la red, que es de 2000 habitantes).

$$Q_s = 100 \times 2000 = 200,000 \text{ gal/día} = 0.2 \text{ M.G.D.}$$

$$Q_s = 0.2 \text{ M.G.D.} = 0.3 \text{ piés}^3/\text{seg.}$$

Flujo combinado máximo.

$$Q_c = 22.9 + 0.2 = 23.1 \text{ M.G.D.} = 35.7 \text{ piés}^3/\text{seg.}$$

$$Q_c = 23.1 \text{ M.G.D.} = 35.7 \text{ piés}^3/\text{seg.}$$

Se desea que el flujo sanitario máximo más los flujos pluviales menores al 50% del flujo sanitario puedan pasar totalmente a la laguna; es decir que los vertederos laterales de la caja separadora de flujos deben tener una altura " d_1 ", sobre el fondo del tubo de entrada igual a la altura que toma sobre dicho tubo un caudal $Q_1 = Q_s + 50\% Q_s$.

Cálculo de d_1 .

$$Q_1 = 1.5 \times 0.30 = 0.45 \text{ piés}^3/\text{seg.} = 200 \text{ gal/min.}$$

Caudal a tubo lleno en la entrada Q_t .

$$S = 9\% \quad D = 30''; \quad n = 0.013$$

Por medio de la fórmula de Manning (Página No. 38), obtenemos que:

$$Q_t = 37 \text{ piés}^3/\text{seg.}; \quad v = 8 \text{ piés}/\text{seg.}$$

$$\frac{Q_1}{Q_t} = \frac{0.45}{37} = 1.21\%$$

de la figura en página No. 39

$$\frac{d}{D} = 10\% = 0.1$$

$$d_1 = 0.1 \times 30 = 3'' = 76 \text{ mm.}$$

$$d_1 = 76 \text{ mm}$$

Cálculo del Ancho de los Vertederos:

Por los vertederos pasará un caudal que será igual al flujo combinado menos el que pasa a las lagunas; sin embargo, diseñaremos su ancho suponiendo que por ellos pasará el flujo total de 35.7 piés³/seg.

Estos vertederos no tienen la cresta perpendicular a la dirección del flujo, por lo que no se podrían diseñar como vertederos corrientes; tampoco la tienen paralela al flujo, por lo que no se pueden diseñar como vertederos laterales. No obstante, para poder determinar su ancho B, aunque sea en forma aproximada, usaremos la fórmula corriente de vertederos con flujo normal a la cresta.

$$Q = 3.34 (2B) H^{1.47}$$

Cálculo de H cuando está pasando el Flujo de 35.7 piés³/seg.

$$\frac{Q_1}{Q_t} = \frac{35.7}{37} = 0.96$$

de la figura en página No.

$$\frac{d}{D} = 0.85; d = 30'' \times 0.85 = 25.5''.$$

$$H = 25.5'' - 3'' = 22.5'' = 1.88'$$

$$35.7 = 3.34 (2B) 1.88^{1.47}$$

$$B = \frac{35.7}{6.68 \times 1.88^{1.47}} = \frac{35.7}{6.68 \times 2.53} = 2.12'$$

Para ser un poco conservadores, usaremos una B de 3' o sea 914 mm.

$$B = 914 \text{ mm}$$

Diseño del "Parshall Flume":

El flujo que pasa a las lagunas será regulado por un

"Parshall Flume"; el caudal que debe pasar por el "Parshall" está alrededor de 0.45 pies³/seg. = 0.3 M.G.D. El cuadro de la página No. 32 nos indica que un "Parshall Flume" con garganta de 3" (W=3") puede medir flujos entre 0.02 y 1.23 M.G.D., por lo que puede ser usado satisfactoriamente en este caso.

El "Parshall" se construirá de acuerdo con los datos que aparecen en los planos Nos. 10 y 11, que están basados en las recomendaciones de la hoja No. 36.

A continuación se da un cuadro en el que aparecen los caudales que fluyen por la alcantarilla para diferentes alturas del agua sobre el fondo así como el caudal que pasa a las lagunas, y el que fluye por los vertederos.

Este cuadro ha sido calculado por medio de los gráficos de las páginas Nos. 37, 38 y 39.

Notación:

d = altura del agua sobre el fondo del tubo de llegada a la caja separadora en pies.

D = diámetro del tubo de llegada en pies.

q = caudal que fluye por el tubo de llegada cuando el agua lleva una altura "d" en gal/min.

Q = caudal a tubo lleno en la alcantarilla de llegada en gal/min.

d_p = altura del agua en el "Parshall Flume" en pies.

q_p = caudal pasando a través del "Parshall" en gal/min.

q_v = caudal fluyendo por los vertederos en gal/min.

d	d/D ⁽¹⁾	q/Q ⁽²⁾	q	d _p ⁽³⁾	q _p	q _v
0.1	0.04	0.00*	0*	?	0*	0
0.2	0.08	0.01	166	0.53	166	0
0.25	0.10	0.012	200	0.58	200	0
0.3	0.12	0.02	332	0.63	215	117
0.4	0.16	0.05	830	0.73	280	550
0.5	0.20	0.08	1330	0.83	330	1000
0.6	0.24	0.11	1830	0.93	400	1430
0.7	0.28	0.17	2820	1.03	470	2350
0.8	0.32	0.21	3490	1.13	580	2910
0.9	0.36	0.26	4320	1.23	630	3690
1.0	0.40	0.32	5310	1.33	700	4610
1.2	0.48	0.48	7960	1.53	880 [⊗]	7080
1.4	0.56	0.60	9950	1.73	1050 [⊗]	8900
1.6	0.64	0.74	12300	1.93	1270 [⊗]	11030
1.8	0.72	0.88	14600	2.13	1500 [⊗]	13100
2.0	0.80	0.98	16300	2.33	1700 [⊗]	14600

Notas:

⊗ Valores aproximados por estar fuera del rango de medida del "Parshall".

(1) D = 30" = 2.5'

(2) Q = 37 piés³/seg. = 16600 gal/min.

(3) d_p = d ÷ d₂ = d ÷ 0.33

Obsérvese en el plano No. 11 la caída de 102 mm ($d_2 = 4''$) que hay entre el fondo del tubo de entrada y el fondo del "Parshall".

Explicación de como se determinó la magnitud de la caída " d_2 " a que se refiere la nota (3):

La estructura separadora de flujos se ha diseñado de manera que los caudales menores de 200 gal/min. puedan pasar directamente a las lagunas a través del "Parshall". De acuerdo con las curvas de la página No. 37, para pasar un caudal de 200 gal/min. el "Parshall" necesita una altura " d_p " de 0.58'.

En el corte A.A. del plano No. 5 se ve que:

$$d_2 = 0.58 - d_1 = 0.58 - 0.25 = 0.33'$$

$$d_2 = 0.33' = 4'' = 102 \text{ mm}$$

$$d_2 = 102 \text{ mm}$$

La estructura separadora de flujos tiene además un canal en paralelo con el "Parshall", que permite desviar el flujo cuando hubiera que hacer alguna limpieza o reparación en la garganta del "Parshall". Al final de la caja se ha dejado una caída de 305 mm con el objeto de evitar que las aguas que ya han pasado puedan perturbar el funcionamiento del "Parshall Flume". Dichas aguas salen finalmente por una tubería de concreto de 15" de diámetro con una pendiente del 4‰.

4). Estructura Distribuidora de Flujos y Vertederos de Medida:

Para efectos de distribuir entre las dos lagunas el flujo que viene de la caja separadora, se construirá una caja distribuidora de flujos como la que se ve en el plano No. 6. Dicha caja consta de una "Y" de concreto de 15" de diámetro que tiene las dos salidas con sendas compuertas, que permiten distribuir el flujo entre las dos lagunas en la forma que se desee. Dichas compuertas están al principio de dos canales rectangulares, en cada uno de los cuales se instalará un vertedero triangular removible de 90° con capacidad para medir flujos hasta de 840 gal/min.

$$Q = 840 \text{ gal/min.} = 1.87 \text{ piés}^3/\text{seg.}$$

Se escogió este caudal, por ser el máximo dentro del rango de medida del "Parshall Flume".

Usando la fórmula de Thompson para canales triangulares de 90°.

$$Q = 2.54 H^{5/2} = 1.87$$

$$H = \left(\frac{1.87}{2.54}\right)^{2/5} = 0.736^{0.4} = 0.885'$$

$$H = 10-5/8''$$

Ancho del canal: $(1'' + 11-5/8'')^2 = 25-1/4''$ Usar 65cm

Altura: $2'' + 11-5/8'' = 13-5/8''$ Usar 35cm

Longitud del canal: $= 4H + 1.0 = 3.6 + 1 = 4.6' = 140\text{cm}$

Ver más detalles en plano No. 6.

5). Estructura de Entrada a las Lagunas:

Las tuberías que salen de los vertederos de medida a las lagunas son de concreto de 15" de diámetro. Estas tuberías hacen su entrada a las lagunas colocadas sobre el fondo.

En la laguna No. 1 la tubería entra sobre el talud y termina a 30 metros de la base de éste. En la laguna No. 2 la tubería corta la parte superior del dique, y termina a 45 metros de la base. Los finales de las entradas se han hecho distanciados de la orilla con el objeto de procurar que el área que rodea el final de la entrada sea influenciado por el viento, lo que permitirá una mejor dispersión de los sólidos del agua negra. Los tubos de entrada descargan sobre un plato de concreto de 15 metros de diámetro, cuyo centro está 30 cm más profundo que el fondo de las lagunas. Se ha probado que lagunas con entrada horizontal descargando sobre una superficie de concreto funcionan satisfactoriamente, sin que haya erosión sobre el fondo.

6). Estructura de Salida de las Lagunas:

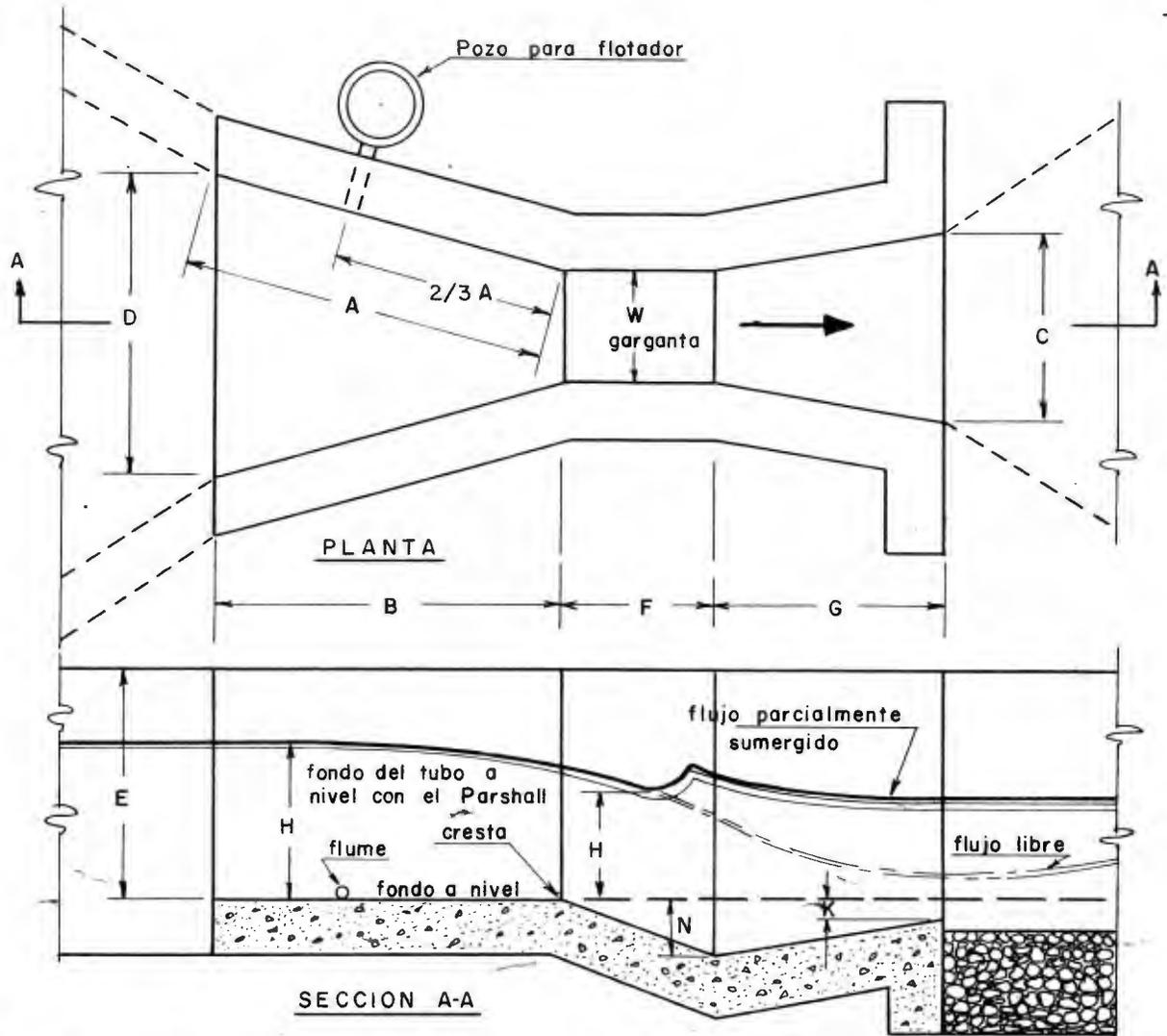
Las estructuras de salida se colocaron en los puntos más alejados de la entrada, tal como se ve en el plano No. 3.

Los detalles de construcción de dichas estructuras se dan en el plano No. 6. Estas estructuras tienen tres niveles de salida: uno está a 1.50 m. sobre el fondo, otro a 0.90, y el último a la altura del fondo. El más bajo sirve para vaciar la laguna; los otros dos sirven para mantener el nivel del agua entre 1.50 y 0.90 m sobre el fondo. Además de las salidas mencionadas existe

una válvula adicional, colocada al nivel del fondo, que sirve para comunicar una laguna con otra, a fin de usarlas en serie cuando así se requiera.

La tubería que va de la estructura de salida al canal de descarga, tiene intercalado un vertedero triangular de 90°, que permite medir el flujo que sale de la laguna. Los detalles constructivos de dichos vertederos se ven en el plano No. 6.

El canal de descarga que recibe el efluente de las lagunas es un canal existente, que actualmente lleva las aguas pluviales de un sector grande de la población. Dicho canal descarga en el río Cañas y tiene una longitud aproximada de 300 metros.

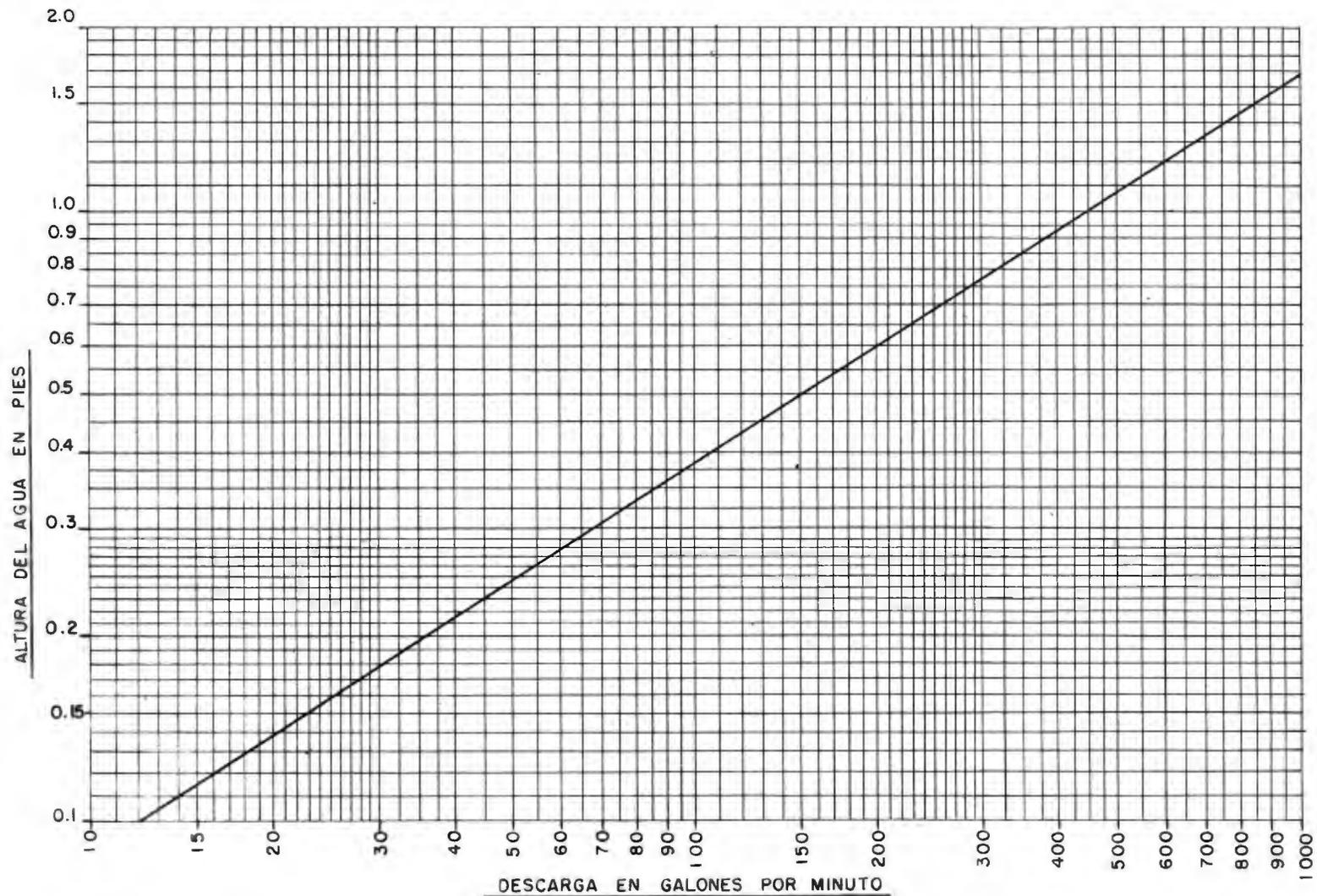


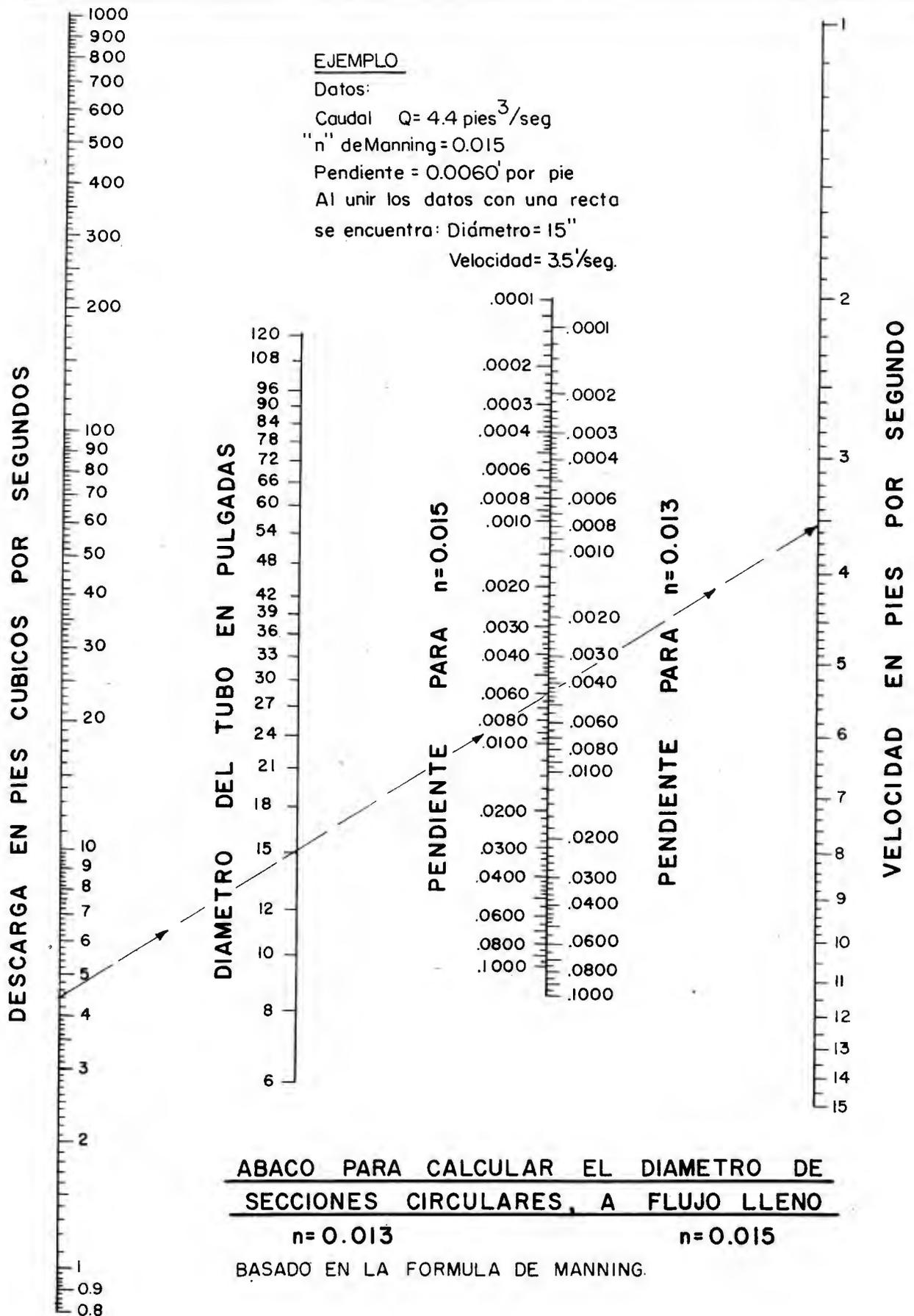
W	A	2/3 A	B	C	D	E	F	G	K	N	flujo a través del Parshall MGD	
											Mín.	Máx.
Dimensiones en pies y pulgadas												
0-3	1-6 3/8	1-1/4	1-6	0-7	0-10 3/16	2-0	0-6	1-0	0-1	0-2 1/4	0.02	1.23
0-6	2-7/16	1-4 5/16	2-0	1-3 1/2	1-3 5/8	2-0	1-0	2-0	0-3	0-4 1/2	0.03	2.52
0-9	2-10 5/8	1-11 1/8	2-10	1-3	1-10 5/8	2-6	1-0	1-6	0-3	0-4 1/2	0.06	5.75
1-0	4-6	3-0	4-4 7/8	2-0	2-9 1/4	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	0.07	10.41
1-6	4-9	3-2	4-7 7/8	2-6	3-4 3/8	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	0.10	15.90
2-0	5-0	3-4	4-10 7/8	3-0	3-11 1/2	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	0.27	21.39
3-0	5-6	3-8	5-4 3/4	4-0	5-1 7/8	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	0.39	32.57
4-0	6-0	4-0	5-10 5/8	5-0	6-4 1/4	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	0.84	43.88
5-0	6-6	4-4	6-4 1/2	6-0	7-6 5/8	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	1.03	55.32
6-0	7-0	4-8	6-10 3/8	7-0	8-9	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	1.68	66.89
7-0	7-6	5-0	7-4 1/4	8-0	9-11 3/8	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	1.94	78.46
8-0	8-0	5-4	7-10 1/8	9-0	11-1 3/4	3-0	2-0	3-0	0-3	0-9	2.26	90.16

Valores máximo y mínimo del flujo -

DIMENSIONES DEL "PARSHALL FLUME"

GRAFICO PARA CALCULAR EL FLUJO A TRAVES DE UN "PARSHALL FLUME" DE
3" DE GARGANTA





VALORES DE LOS ELEMENTOS HIDRAULICOS DE SECCIONES CIRCULARES PARA VARIAS ALTURAS DEL FLUJO

EJEMPLO:

DANDO: $Q = 12 \text{ PIES}^3/\text{SEG.}$ A TRAVES DE UN TUBO QUE TIENE UNA CAPACIDAD A SECCION LLENA DE $15 \text{ PIES}^3/\text{SEG.}$ CON UNA VELOCIDAD DE $7 \text{ PIES}/\text{SEG.}$

1) SE DESEA ENCONTRAR LA VELOCIDAD V PARA $Q = 12 \text{ PIES}^3/\text{SEG.}$

2) SUPONIENDO QUE EL DIAMETRO DEL TUBO ES DE $18"$, HALLAR LA ALTURA QUE OCUPA EL AGUA EN EL TUBO CUANDO FLUYEN $12 \text{ PIES}^3/\text{SEG.}$

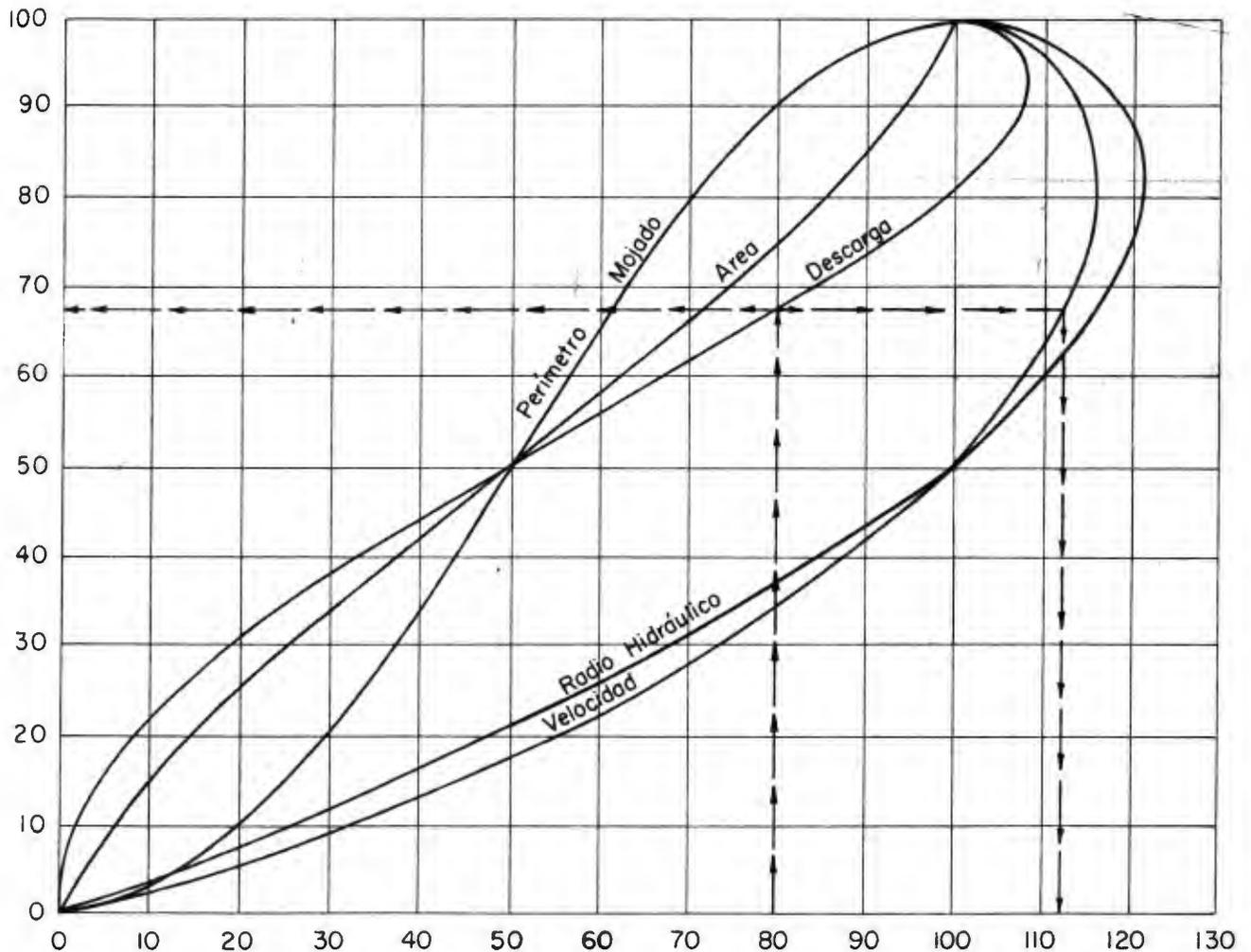
SOLUCION:

PORCENTAJE DE SECCION LLENA = $12/15 = 80 \%$.

ENTRANDO EN EL GRAFICO CON EL 80% DEL VALOR PARA SECCION LLENA DE LOS ELEMENTOS HIDRAULICOS, SE ENCUENTRA:

1º) QUE $V = 112.50 \%$ $\times 7 = 7.9 \text{ PIES}/\text{SEG.}$

2º) QUE $d = 67.50 \%$ $\times 18 = 12.15"$.



ELEMENTOS HIDRAULICOS

PORCENTAJE DEL VALOR PARA SECCION LLENA (APROXIMADO)

CAPITULO VIII

DETALLES SOBRE LA CONSTRUCCION DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS, GTE.

1). Localización de las Lagunas:

La zona que reunía las condiciones más favorables para la ubicación de las lagunas de oxidación de Cañas está situada al sur de la ciudad, con la carretera Interamericana de por medio. El terreno es bastante plano, por lo que no hubo que hacer un movimiento de tierra muy grande. La dirección del viento es de la ciudad hacia las lagunas, lo que tiende a alejar de la población cualquier mal olor que se pudiera producir.

Las lagunas se encuentran a unos 400 metros de la ciudad, y hay espacio suficiente para futuras ampliaciones.

La principal cualidad del sitio escogido está en la calidad del suelo, el cual es de una arcilla bastante impermeable, por lo que no existe el peligro de una infiltración considerable. Esta es una ventaja muy grande, sobre todo si se toma en cuenta que el suelo de la ciudad de Cañas está constituido en su mayor parte por grava y sedimentos dejados por el río, lo que lo hace bastante permeable.

2). Excavación y Construcción de los Diques:

El movimiento de tierras habido durante la excavación, y construcción de los diques de las lagunas de Cañas, alcanza a 15000 metros cúbicos. El trabajo se llevó a cabo con dos tractores D-6, dos traíllas de 14 yardas cúbicas, y una niveladora. Los tractores con sus respectivas traíllas trabajaron 150 horas cada uno, y la niveladora trabajó durante 70 horas.

Los diques se hicieron con un talud de 1 vertical por 2 horizontal; se construyeron con parte de la tierra que sobró en la excavación. No hubo necesidad de hacer una compactación especial; pues quedaron bien compactados por el peso de los tractores y las traíllas que pasaron sobre ellos durante su construcción.

Los diques se protegieron con una capa de piedra con diámetros entre 6 y 8 pulgadas.

3). Estructuras Accesorias de las Lagunas:

Las estructuras accesorias de las lagunas se construyeron de hormigón armado, y las partes mecánicas fueron construídas en San José.

Las compuertas se hicieron de bronce, y los vertederos de medida se hicieron de lámina de acero, con las crestas de bronce.

La tubería para conectar las lagunas en serie es de hierro fundido y colocada al nivel del fondo.

La tubería para conectar las lagunas en paralelo es de concreto.

CAPITULO IX

RECOMENDACIONES DE OPERACION PARA LAS LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS

El sistema de tratamiento de aguas negras para la ciudad de Cañas consta de dos lagunas: una de 2.2 acres y otra de 1.1 acres. A la pequeña la hemos llamado laguna No. 1, y a la grande laguna No. 2. (Ver plano No. 3).

Se recomienda que al poner a trabajar el sistema por primera vez se utilice únicamente la laguna pequeña, pues al principio habrá muy pocas casas conectadas a la red colectora por lo que su área resultará suficiente.

Si se pusieran a trabajar las dos lagunas desde el principio, se correría el riesgo de que el caudal entrante durante el verano fuera menor que las pérdidas por evaporación y filtración, con el consiguiente peligro de que se sequen las lagunas.

Cuando el número de casas conectadas a la red haya aumentado, y se haya podido observar que el efluente de la laguna en verano es bastante apreciable, se podrá proceder a descargar la laguna No. 1 en la No. 2; es decir, a conectarlas en serie. En esta forma el efluente del sistema será de mejor calidad. Es importante observar que el hecho de que la laguna No. 1 descargue en la No. 2 no le disminuye la carga a la primera, ya que ésta trabaja como si estuviera funcionando sola. La ventaja que se deriva de esta conexión en serie está en que el efluente final del sistema es de una calidad superior, ya que el efluente de la laguna No. 1 recibe un tratamiento secundario en la laguna No. 2.

Conforme vaya aumentando el número de casas conectadas a la red, llegará el momento en que la laguna pequeña sea insuficiente para la carga que esté recibiendo. Entonces se procederá a conectar ambas lagunas en paralelo, y por medio de la estructura distribuidora se repartirá el caudal procedente de la estructura separadora, en dos caudales proporcionales a las áreas de las lagunas.

Una vez conectadas las lagunas en paralelo, podrán seguir funcionando de esta manera, hasta completar la carga que son capaces de llevar. En el diseño hemos asumido que esta carga es de 1300 habitantes, pero será experimentalmente que se determine si su capacidad es mayor o menor.

El momento oportuno para proceder a conectar las lagunas en serie o en paralelo nos lo indicarán los aforos y exámenes de laboratorio que se realizarán periódicamente.

Cuando se haya demostrado que la capacidad de las dos lagunas

se está agotando, se procederá a construir la laguna No. 3, que aparece en el plano No. 2. Si con el tiempo se llega a observar que el área de las tres lagunas es insuficiente, se construirá una cuarta laguna, que también aparece señalada en el plano No.2, que hizo el Ing. W. W. Towne.

Para que una laguna de oxidación se pueda mantener funcionando en condiciones aeróbicas, es necesario que el nivel de agua óptimo pueda mantenerse durante todo el año. Tomando esto en cuenta, y previendo que al poner a operar el sistema por primera vez haya dificultad en mantener dicho nivel, hemos construido una tubería que nos permitirá vaciar en la laguna pequeña el flujo proveniente de una acequia que corre por el lado sur de la ciudad. Se hará uso del agua de esta acequia únicamente en el caso de que al llegar el verano se observe que hay peligro de que la laguna se seque.

La estructura separadora de flujos ha sido construida de manera que deje pasar a las lagunas todo el flujo sanitario que se presente en los primeros años de operación; pero cuando el flujo sanitario haya pasado de 0.45 piés³/seg. hay que subir las crestas de los vertederos laterales para evitar que parte del flujo sanitario sea desviado de las lagunas. Previendo esto, se construyó la estructura separadora con unas guías que permiten subir la altura de las crestas de los vertederos en cualquier momento.

Tanto las estructuras de salida como las estructuras distribuidora y separadora de flujos tienen piezas mecánicas que deben mantenerse bien engrasadas y en buenas condiciones de operación.

Es sumamente importante mantener los terrenos adyacentes a las lagunas bien enzacatados, pero libres de malezas. Asimismo, debe evitarse que nazcan hierbas en los taludes de las lagunas.

El terreno donde se han ubicado las lagunas debe mantenerse bien cercado para evitar que el ganado tome agua contaminada. Deben mantenerse señales que indiquen el tipo de instalación, para evitar que por ignorancia haya personas que se bañen en las lagunas.

Debe darse continuo mantenimiento a las zanjas que protegen a las lagunas de las aguas provenientes de terrenos adyacentes, así como a las zanjas utilizadas para la disposición final del efluente de las lagunas y de las aguas pluviales.

CAPITULO X

LABORATORIO DE CAMPO PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS

El propósito de este capítulo es informar sobre las experiencias que hemos proyectado llevar a cabo en las lagunas de oxidación de Cañas.

Estas experiencias se llevarán a cabo con el fin de poder apreciar cómo va a funcionar el sistema y obtener un conjunto de datos sobre el comportamiento de las lagunas en distintas épocas y etapas de su funcionamiento.

Cuando se ponga el sistema en funcionamiento por primera vez, la carga orgánica será muy pequeña, por consiguiente, las pruebas que se hagan no tendrán mucho significado. Durante esta época no se justificará hacer pruebas diariamente, por lo que se harán con menos frecuencia, hasta que los resultados indiquen que conviene intensificarlas.

Los estudios y observaciones a realizar en Cañas, los pensamos dividir en dos fases: (1) cuando se inicie la operación de las lagunas y (2) estudios especiales que se realizarán por períodos de varios días en diferentes épocas del año con el propósito de determinar límites de carga, eficiencia del tratamiento, y posibles investigaciones biológicas si la experiencia nos indica que es conveniente.

Primera Fase:

Los principales datos que deberán recogerse durante esta primera etapa son los siguientes:

1). Datos Climatológicos:

- a). Precipitación diaria. Total con alguna idea de intensidad y duración.
- b). Temperatura diaria.
- c). Velocidad máxima del viento y dirección.
- d). Horas de insolación.

2). Flujo Sanitario:

En vista de que el flujo proveniente de las aguas pluvia-

les es impredecible, la estructura separadora de flujos se diseñó de modo que la cantidad de agua de lluvia que le llega pueda ser variable. Esta estructura debe ser revisada durante la estación lluviosa y ajustada debidamente. El ajuste se hará cambiando la altura de los vertederos laterales. El flujo que va a las lagunas pasará a través del "Parshall Flume" en donde será medido. Se procurará adaptar un mecanismo de relojería que deje un gráfico diario del caudal que pasa a través del "Parshall".

3). Razón de Llenado de las Lagunas:

Es posible que al llenar las lagunas por primera vez haya pérdida de líquido debido a la percolación a través del suelo. Con hacer una medición diaria del nivel de la laguna se puede determinar la percolación. Desde luego habrá que estimar la evaporación.

4). La Presencia o Ausencia de Olores Procedentes de Agua Negra en Estado Séptico:

Una visita regular a las lagunas, y la memoria que se lleve de las observaciones sobre el olor de las mismas, dará una buena idea de la forma en que está funcionando el sistema.

5). Presencia o Ausencia de Algas:

Una memoria de las observaciones visuales del color del líquido de las lagunas dará alguna indicación sobre la intensidad del crecimiento de algas. Es importante hacer observaciones sobre el tiempo que tarda la laguna en eliminar la turbidez procedente de las materias acarreadas por el agua de lluvia. Esta turbidez suele ser perjudicial al crecimiento de las algas.

6). Pruebas Químicas:

Durante esta primera fase de la operación se requerirán pocas pruebas químicas. Bastará con unas pocas determinaciones de oxígeno disuelto para tener una idea sobre la presencia de algas. Estas pruebas deben hacerse en el campo y las muestras deben recogerse tanto de día como de noche.

7). Número de Personas Conectadas a la Red:

Es muy importante mantener una información constante sobre el número de casas y de personas que se han conectado a la red colectora, ya que esta es la forma de determinar la capacidad de las

lagunas.

Es muy importante que los ingenieros a cargo del sistema de lagunas permanezcan bastante tiempo en la instalación cuando ésta va a ser puesta en operación por primera vez, ya que es necesario que dejen bien entrenadas a las personas encargadas del mantenimiento. Es conveniente continuar visitando la instalación con bastante frecuencia para poder tener un conocimiento exacto de los fenómenos que están sucediendo.

Segunda Fase:

Esta fase de los estudios se extenderá durante un par de años con el objeto de poder hacer pruebas bajo diferentes condiciones de carga orgánica.

Estos estudios no necesitan ser continuos, sino que serán llevados a cabo en una serie de períodos de estudios que comprenderán de 5 a 10 días, los cuales se realizarán en diferentes épocas del año.

Se procurará efectuar las observaciones de campo y análisis de laboratorio que se indican a continuación:

1). Agua Negra Cruda:

a). Se llevará una medición constante del agua que fluye por el "Parshall Flume". Si todo el flujo va a una sola laguna, basta con los datos tomados del "Parshall"; pero si el flujo es repartido entre las dos lagunas será necesario determinar el caudal que va a cada laguna por medio de los vertederos triangulares. Estas mediciones en los vertederos se podrán hacer cada hora, o con más frecuencia si la variación del flujo es muy grande.

b). DBO del agua negra cruda. Esta prueba es esencial para la determinación de la carga que están recibiendo las lagunas, y de la eficiencia del tratamiento.

c). Otras pruebas:

Temperatura

pH, alcalinidad

Turbidez

Sólidos suspendidos

Cloruro

Sulfuro

Nitrógeno (Amonio, nitrito, nitrato)

Fósforo (Fosfatos y ortofosfatos)

Bacterias (Número más probable (M P N) de coliformes)

2). Lagunas y Efluente:

a). DBO del efluente. Nos indicará la eficiencia del proceso.

b). OD. La prueba del OD debe hacerse con intervalos de 2 a 3 horas durante las 24 horas del día. En esta forma se pueden observar los efectos de la fotosíntesis y las fluctuaciones diarias. Si no es posible tomar muestras cada 2 horas, deben hacerse determinaciones entre las 4 y 5 A.M. y las 3 y 5 P.M. En esta forma se obtendrán los valores mínimo y máximo.

c). Otras pruebas:

A cada muestra tomada para **hacer** la prueba de OD se le debe determinar la temperatura y el pH.

Debe aforarse el efluente de las lagunas con el vertedero triangular instalado. En general, todas las pruebas recomendadas para el agua negra cruda deben hacerse al efluente de la laguna, para tener una idea exacta del tratamiento logrado.

d). Estudios especiales:

1). Sería sumamente interesante hacer un estudio biológico sobre las algas y otras plantas acuáticas que se presentaran durante la operación de las lagunas. Trataremos de llegar a un arreglo con la Escuela de Microbiología de la Universidad de Costa Rica para dar este servicio.

2). Medidas de luz. Es muy importante realizar

estudios sobre la penetración de la luz en las lagunas con el objeto de determinar la profundidad a la cual es absorbido el 99% de la luz incidente sobre la superficie. Se tratará de obtener el equipo especial que nos permita hacer estas mediciones.

Conforme pase el tiempo y se tenga más familiaridad con la operación de las lagunas de oxidación, surgirá la necesidad de hacer algunas otras pruebas no previstas aquí.

Este proyecto de demostración dará mucha información valiosa sobre el diseño y operación de lagunas de oxidación en el trópico, por lo que será de gran utilidad no solo a Costa Rica, sino que también a muchos otros países de la tierra.

BIBLIOGRAFIA

- 1). INFORMACION SOBRE LAGUNAS DE OXIDACION DE AGUAS NEGRAS.
Pedro J. Caballero.
- 2). UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR WASTE RECLAMATION.
Harold B. Gotaas, & William J. Oswald.
- 3). SEWAGE TREATMENT BY RAW SEWAGE STABILIZATION PONDS.
W. W. Towne, & W. H. Davis.
- 4). SEWAGE STABILIZATION PONDS IN THE DAKOTAS.
U. S. Department of Health, Education, and Welfare
Volúmenes I & II.
- 5). RAW SEWAGE STABILIZATION PONDS IN THE DAKOTAS.
W. W. Towne, A. F. Bartsch, & W. H. Davis.
- 6). ALGAE IN WASTE TREATMENT.
W. J. Oswald, H. B. Gotaas, C. G. Golweke, & W. R. Kellen.
- 7). ALGAL-BACTERIAL SYMBIOSIS IN SEWAGE TREATMENT.
W. J. Oswald, H. B. Gotaas, & R. J. Hee.
- 8). THE LAGOONING OF DOMESTIC SEWAGE, THE ANSWER TO A SMALL
TOWN'S PROBLEM.
J. Kent Roberts.

INDICE

INTRODUCCION.....PAG. 1

CAPITULO

I	<u>TEORIA DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION.....</u>	3
	1). Mecanismo del Proceso de Purificación.....	3
	2). Clasificación de las Lagunas de Oxidación.....	4
II	<u>HISTORIA DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION.....</u>	6
III	<u>COMPORTAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION Y PURIFICACION OBTENIDA EN LAS MISMAS.....</u>	7
	1). Reducción Bacterial.....	7
	2). Reducción de DBO.....	7
	3). Reducción de Sólidos Suspendidos y Turbidez...	7
	4). Nitrógeno.....	8
	5). Fósforo.....	8
	6). Cloruro.....	8
	7). Alcalinidad, pH, Oxígeno Disuelto.....	8
	8). Condiciones Físicas.....	9
IV	<u>FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE PURIFICACION....</u>	10
	1). Calidad del Agua Potable.....	10
	2). Cantidad y Calidad del Agua Negra.....	10
	3). Materias Tóxicas.....	10
	4). Dimensiones de las Lagunas.....	10
	5). Luz.....	11
	6). Temperatura.....	12

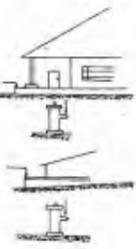
7).	Velocidad y Dirección del Viento.....	13
8).	Evaporación, Precipitación y Filtración.....	13
9).	Características del Suelo.....	14
10).	Cuidados que hay que tener al poner a trabajar una laguna de oxidación por primera vez.....	14
V	<u>DETALLES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION.....</u>	15
1).	Selección del Sitio.....	15
2).	Forma de la Laguna.....	15
3).	Area.....	15
4).	Profundidad.....	16
5).	Diques.....	17
6).	Estructura de Entrada.....	18
7).	Estructura de Salida.....	18
8).	Sistemas de Varias Lagunas.....	19
9).	Cercas y Señales.....	19
10).	Pretratamiento.....	19
VII	<u>RECOMENDACIONES SOBRE LA OPERACION DE LAGUNAS DE OXIDACION.....</u>	20
VIII	<u>DISEÑO DE LA RED DE CLOACAS Y LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS, GUANACASTE.....</u>	21
VIII	<u>DETALLES SOBRE LA CONSTRUCCION DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS, GUANACASTE.....</u>	40
IX	<u>RECOMENDACIONES DE OPERACION PARA LAS LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS.....</u>	42
X	<u>LABORATORIO DE CAMPO PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS LAGUNAS DE OXIDACION DE CAÑAS.....</u>	44



ZONA DE LAGUNAS
(Ver hoja número 3)

Descripción de monumentos de referencia del Instituto Geográfico de Costa Rica.
 Hito 519: Colocado en la esquina N.E. del parque de Cañas a 6.80 m. del cordón de acera Norte y 11.70 m. del cordón de acera Este cota 85.8571 m.
 Hito 519 a 520: Colocado en la esquina N.E. del parque de Cañas a 6.80 m. del cordón de acera Norte y a 10.50 m. del cordón de acera Este, 1.20 m. al Este del hito 519 y bajo tierra.
 Hito Cañas: Referencia de azimut geodésico Norte al Este situado en el campo de aterrizaje de Cañas en la esquina N.E. 13.69 m. sobre la acera Norte 14.96 m. hacia el Sur y 18.31 m. desde la intersección de la acera Norte y la Este.
 Origen de coordenadas para este plano:
 Posición geodésica:
 Latitud 10° 25' 44.820"
 Longitud 85° 05' 49.088"
 Coordenadas rectangulares:
 Latitud 267,768.73 m.
 Longitud 416,390.25 m.
 Línea de referencia de azimut: A hito Cañas-Pórtica remota de la cruz de la torre de la Iglesia de Cañas 105° 56' 40".

Descripción de "bench marks" o puntos de referencia de niveles establecidos por la Sección de Topografía del Departamento de Ingeniería Sanitaria:
 B.M. I.N.V.U.: Cota 89.265 m., situado en el extremo N.E. del cuadrante de Cañas frente a la estación N° 41 en el pie de la columna izquierda primera casa del INXU.
 B.M. HIDRANTE I: Cota 88.179 m., situado en el extremo S.E. del cuadrante de Cañas frente a la estación N° 99 sobre el borde superior de la boca principal del hidrante.
 B.M. ACERA: Cota 82.797 m., situado en el extremo S.W. del cuadrante de Cañas frente a la estación N° 125 sobre piso acera alta 20 m. al Este est. N° 125 acera Norte.
 B.M. HIDRANTE II: Cota 85.418 m., situado de la esquina N.W. del parque de Cañas 100 vs. al Norte en la esquina acera Este sobre borde superior de la boca principal del hidrante.

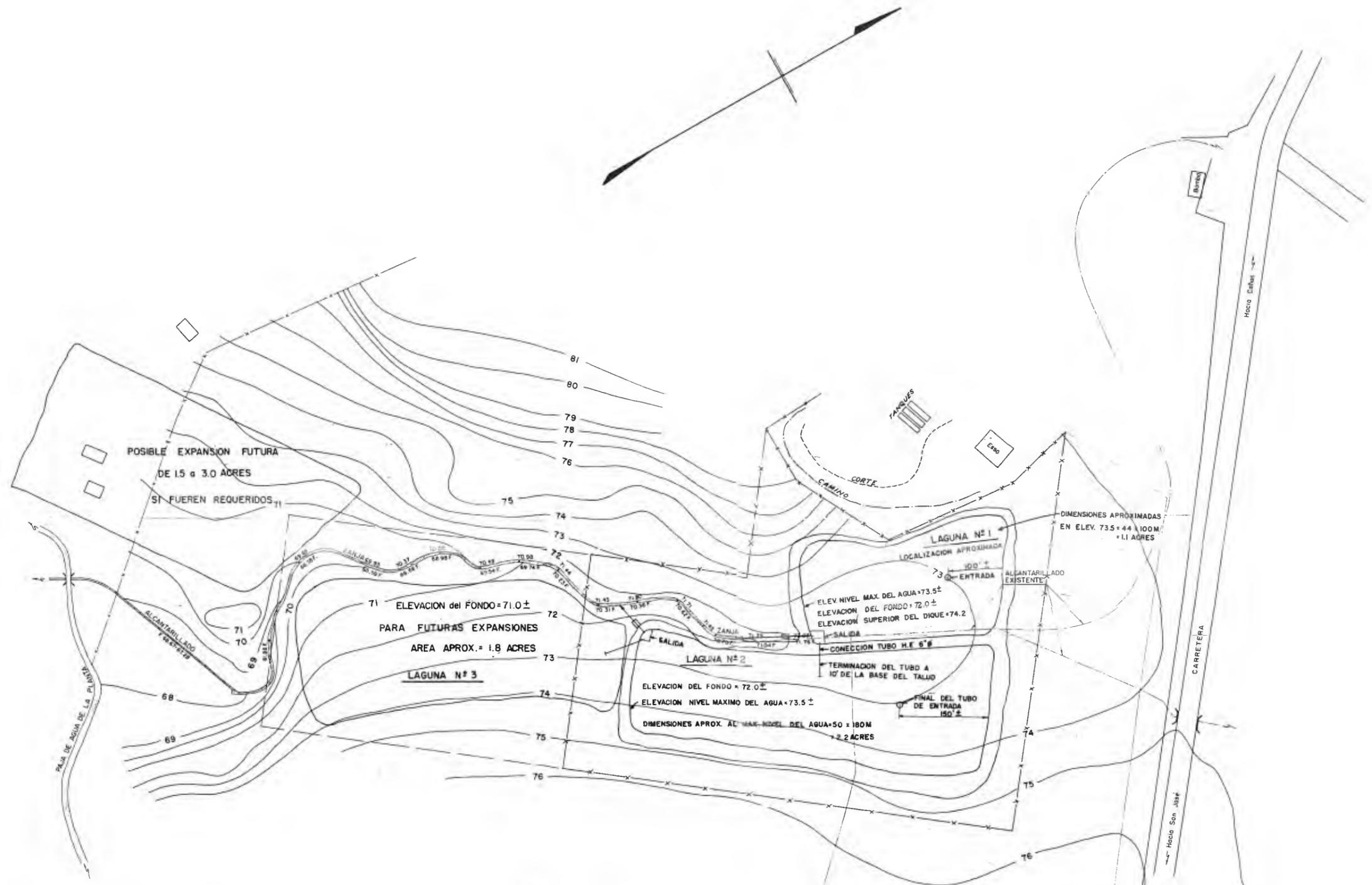


NOTA:
TODOS LOS DIAMETROS DE LOS TUBOS ESTAN EN CENTIMETROS

PLANIMETRIA



MINISTERIO DE SALUBRIDAD PUBLICA SERVICIO COOPERATIVO INTERAMERICANO DE SALUBRIDAD PUBLICA DIVISION DE INGENIERIA SANITARIA		
PROYECTO DE RED DE CLOACAS PARA LA CIUDAD DE CAÑAS, GUANACASTE		
DISEÑO: RODOLFO SAENZ	APROBO: RENAN MENDEZ	TRABAJO: E-26
DIBUJO: C.E. CONTRERAS M.	APROBO: EDISON RIVERA C.	FECHA: Octubre de 1956
REVISO: A. CORDERO	ESCALA: 1:2000	HOJA: 1 DE 6



ESCALA : 1:1.000

LAGUNA N°1 = 1.1 ACRES } CONSTRUCCION PRESENTE = 3.3 ACRES
 LAGUNA N°2 = 2.2 ACRES }
 LAGUNA N°3 = 1.8 ACRES : FUTURA EXPANSION, CONFORME AUMENTE EL N° DE CASAS CONECTADAS
 TOTAL 5.1 ACRES a 400hab./ACRE = 2040 habitantes

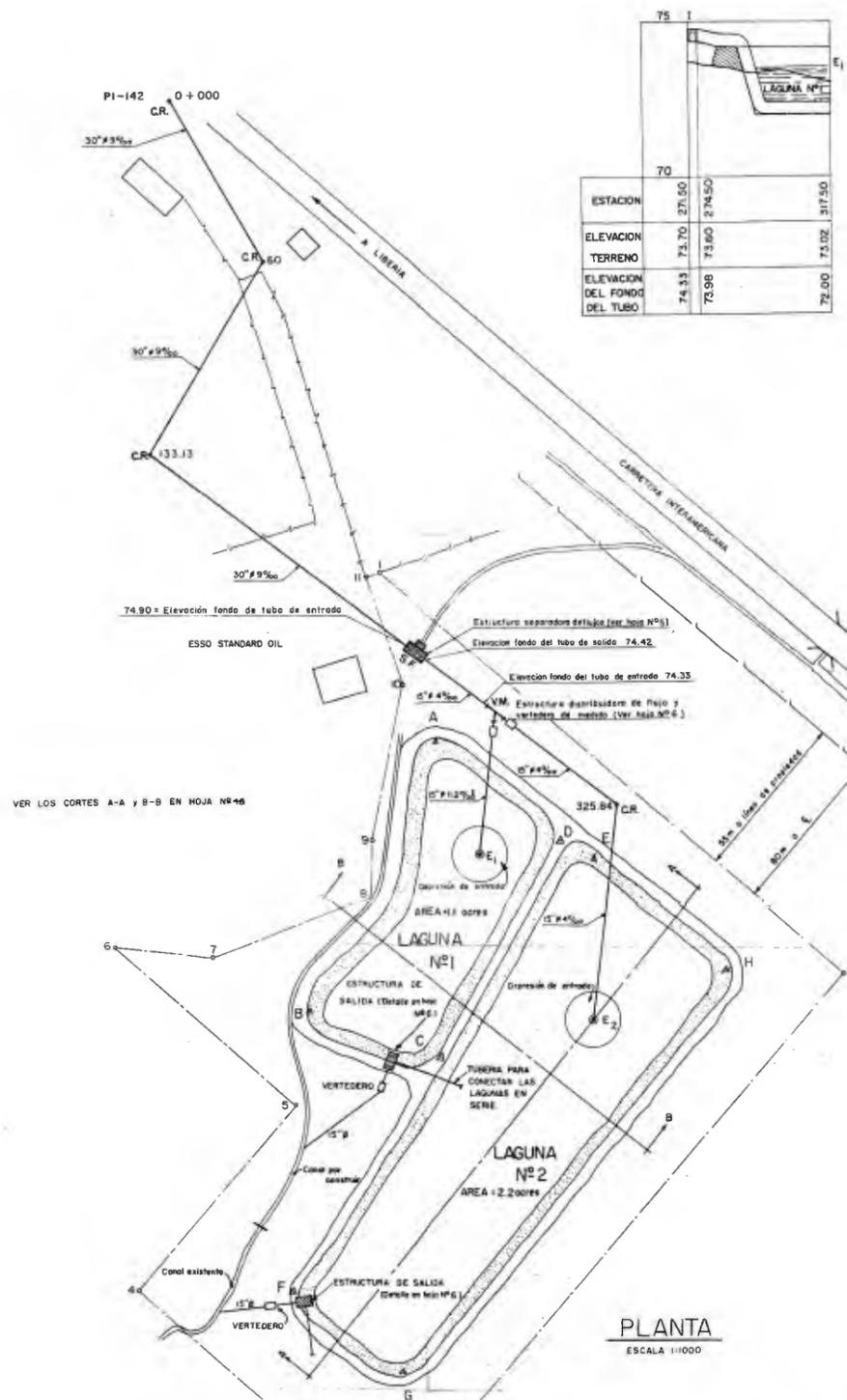
NOTAS:

- (1) PRUEBAS FUTURAS PODRAN INDICAR UNA CARGA MAYOR.
- (2) EL SIMBOLO "±" DESPUES DE LAS ELEVACIONES SIGNIFICA QUE ESAS ELEVACIONES PUEDEN SER CAMBIADAS PARA BALANCEAR CORTES Y RELLENOS, CON EL OBJETO DE HACER MAS ECONOMICA LA CONSTRUCCION; PERO LAS DIFERENCIAS ENTRE LAS ELEVACIONES DEBEN CONTINUAR SIENDO LAS MISMAS.

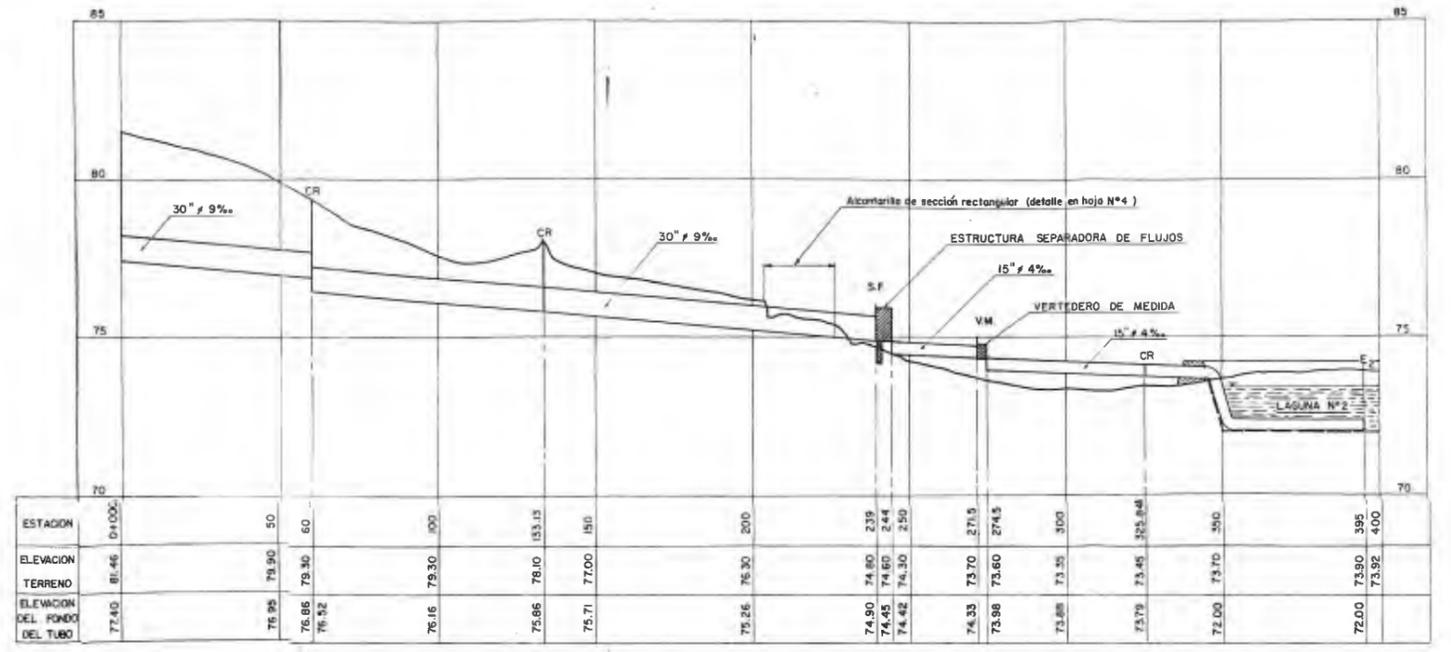
PLANEAMIENTO DE LAS LAGUNAS
 EFECTUADO POR
W. W. Towne
 W.W. TOWNE, M.S., C.E.
 CHIEF OF WATER POLLUTION CONTROL
 ROBT. A. TAFT SANITARY ENGINEERING CENTER
 U.S. PUBLIC HEALTH SERVICE
 CINCINNATI, OHIO, U.S. A.

MINISTERIO DE SALUBRIDAD PUBLICA
 SERVICIO COOPERATIVO INTERAMERICANO DE SALUBRIDAD PUBLICA
 DIVISION DE INGENIERIA SANITARIA
 (CAÑAS)
 PLANIMETRIA
 DE
 ZONA DE LAGUNAS

DISEÑO: W.W. TOWNE	APROBÓ:	TRABAJO E-26
DIBUJÓ: RODOLFO SAENZ F.	APROBÓ:	FECHA: DICIEMBRE 1957
REVISÓ:	ESCALA: 1:1000	HOJA: 2 DE 6

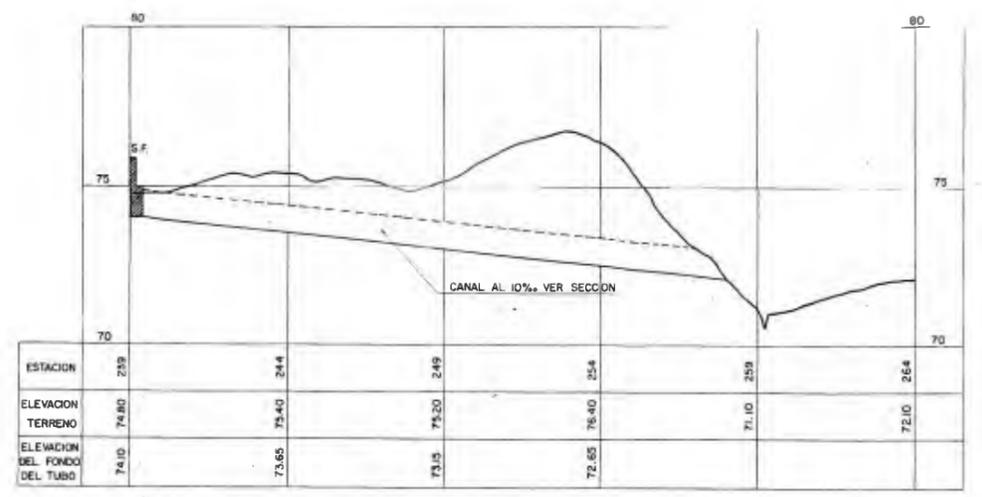


ESTACION	70	71.50	317.50
ELEVACION TERRENO	74.33	73.70	271.50
ELEVACION DEL FONDO DEL TUBO	73.98	73.80	274.50
	72.00	73.02	317.50

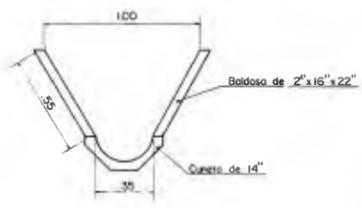


ESTACION	D+000	50	60	100	133.13	150	200	239	244	250	271.5	274.5	300	325.84	350	395	400
ELEVACION TERRENO	81.46	79.90	79.30	79.30	78.10	77.00	76.30	74.80	74.60	74.30	73.70	73.60	73.35	73.45	73.70	73.90	73.92
ELEVACION DEL FONDO DEL TUBO	77.40	76.95	76.92	76.16	75.86	75.71	75.26	74.90	74.45	74.42	74.33	73.98	73.88	73.79	73.00	72.00	72.00

PERFILES
ESCALA HORIZONTAL 1:1000
ESCALA VERTICAL 1:100



ESTACION	239	244	249	254	259	264
ELEVACION TERRENO	74.80	75.40	75.30	76.40	71.10	72.10
ELEVACION DEL FONDO DEL TUBO	74.10	73.65	73.15	72.05	71.10	72.10



SECCION DEL CANAL
ESCALA 1:20

PLANTA
ESCALA 1:1000

NOTACION
C.R. = Coja de Registro
S.F. = Estructura Separadora de Flujos
V.M. = Veredero de Medida
E₁ = Entrada a la laguna No.1
E₂ = Entrada a la laguna No.2

VER DETALLE DEL TALUD EN HOJA Nº49

COORDENADAS DE LAS TUBERIAS
REFERIDAS AL PI-142

ESTACION	LATITUD	LONGITUD
PI-142	—	—
6000	S 52.00	E 30.00
133.13	S 115.00	W 7.20
S.F.	S 178.10	E 77.40
V.M.	S 200.20	E 106.10
325.84	S 230.10	E 146.20
E ₁	S 244.88	E 99.57
E ₂	S 298.53	E 137.67

COORDENADAS DE LOS PUNTOS 1 y 2
REFERIDAS AL PI-142

ESTACION	LATITUD	LONGITUD
1	S 153.36	E 67.43
2	S 283.25	E 219.51

DERROTERO

ESTACION	RUMBO	DISTANCIA
1-2	S 49° 30' E	200.00
2-3	S 40° 30' W	230.00
3-4	N 49° 30' W	100.00
4-5	N 40° 30' E	80.00
5-6	N 49° 30' W	78.75
6-7	S 83° 26' E	32.19
7-8	N 68° 11' E	56.30
8-9	N 00° 40' E	54.22
9-10	N 01° 36' E	51.81
10-11	N 18° 51' W	36.71
11-1	N 7° 15' E	4.60

COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE REFERENCIA PARA LOCALIZACION DE LAS LAGUNAS

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION*
A	S 208.20	E 86.21	74.24
B	S 296.22	E 44.42	75.66
C	S 311.16	E 88.31	72.24
D	S 240.64	E 127.21	73.46
E	S 247.09	E 158.12	73.31
F	S 387.62	E 39.36	72.15
G	S 413.42	E 75.17	73.94
H	S 282.72	E 181.31	75.26

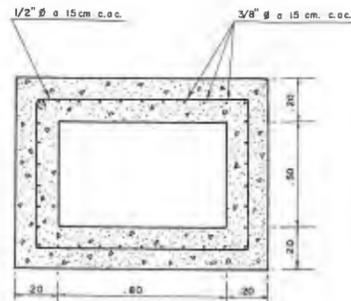
*ELEVACIONES SOBRE EL NIVEL DEL MAR

MINISTERIO DE SALUBRIDAD PUBLICA
SERVICIO COOPERATIVO INTERAMERICANO DE SALUBRIDAD PUBLICA
DIVISION DE INGENIERIA SANITARIA

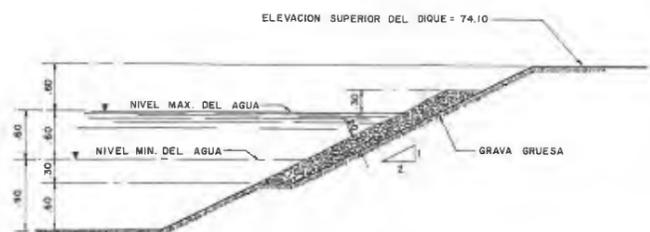
**LAGUNAS DE OXIDACION
CAÑAS GTE**

ZONA DE LAGUNAS—PLANIMETRIA Y PERFILES

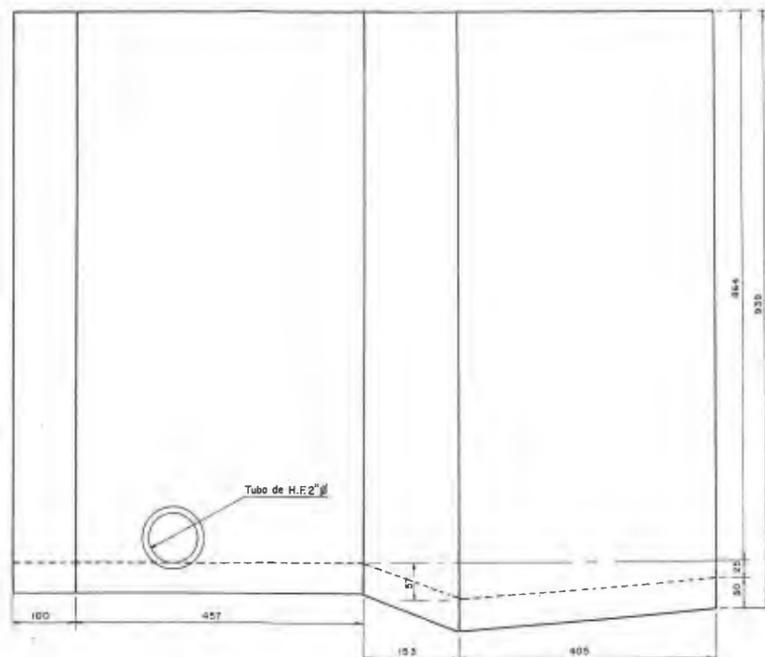
DISEÑO: Rodolfo Sáenz F. APROBÓ: Héctor Méndez & TRABAJO: E-26
DIBUJÓ: R. Sáenz F. APROBÓ: Edison Rivera FECHA: Enero de 1958
REVISÓ: Alvaro Cordero A. ESCALA: INDICADA HOJA: 3 DE 6



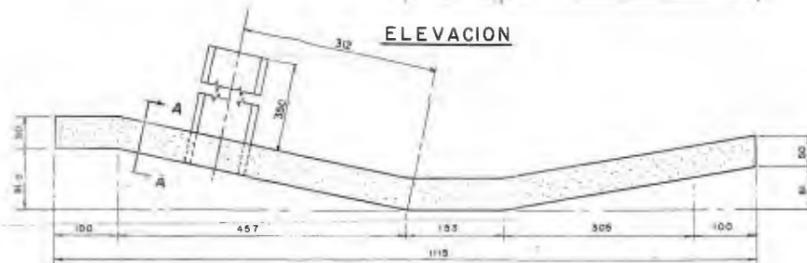
DETALLE DE LA ALCANTARILLA ESCALA 1:15
VER SU SITUACION EN PLANO N°3.-



PROTECCION DEL TALUD ESCALA 1:40

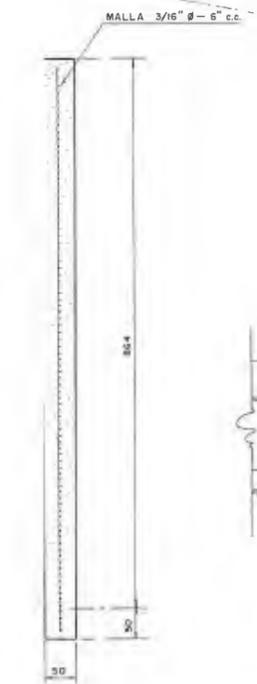


ELEVACION

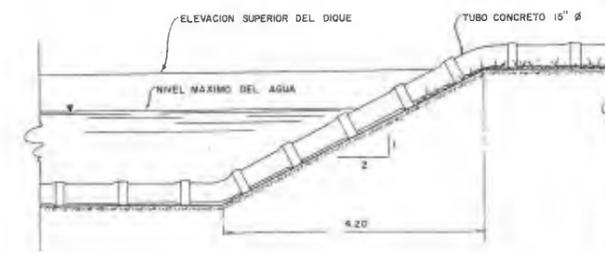


PLANTA

DETALLE DE LA PARED PREFABRICADA ESCALA 1:5
LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS

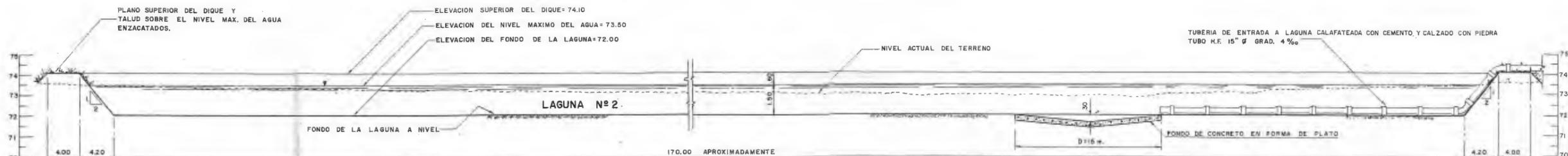


SECCION A-A

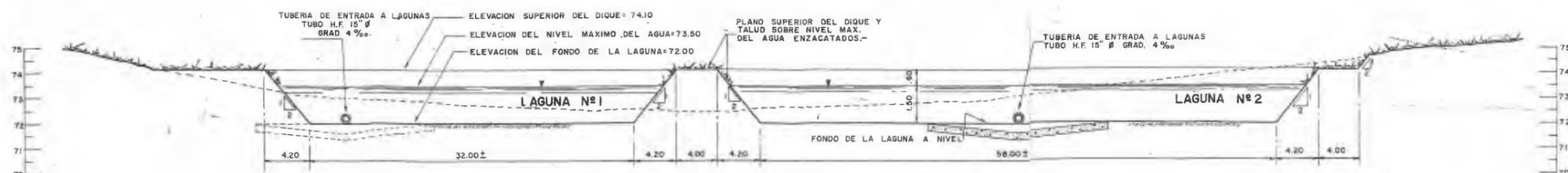


DETALLE DE TUBERIA DE ENTRADA A LAGUNAS ESCALA 1:50

NOTA: Las cotas de fondo de tubo se dan en el plano N°3.-

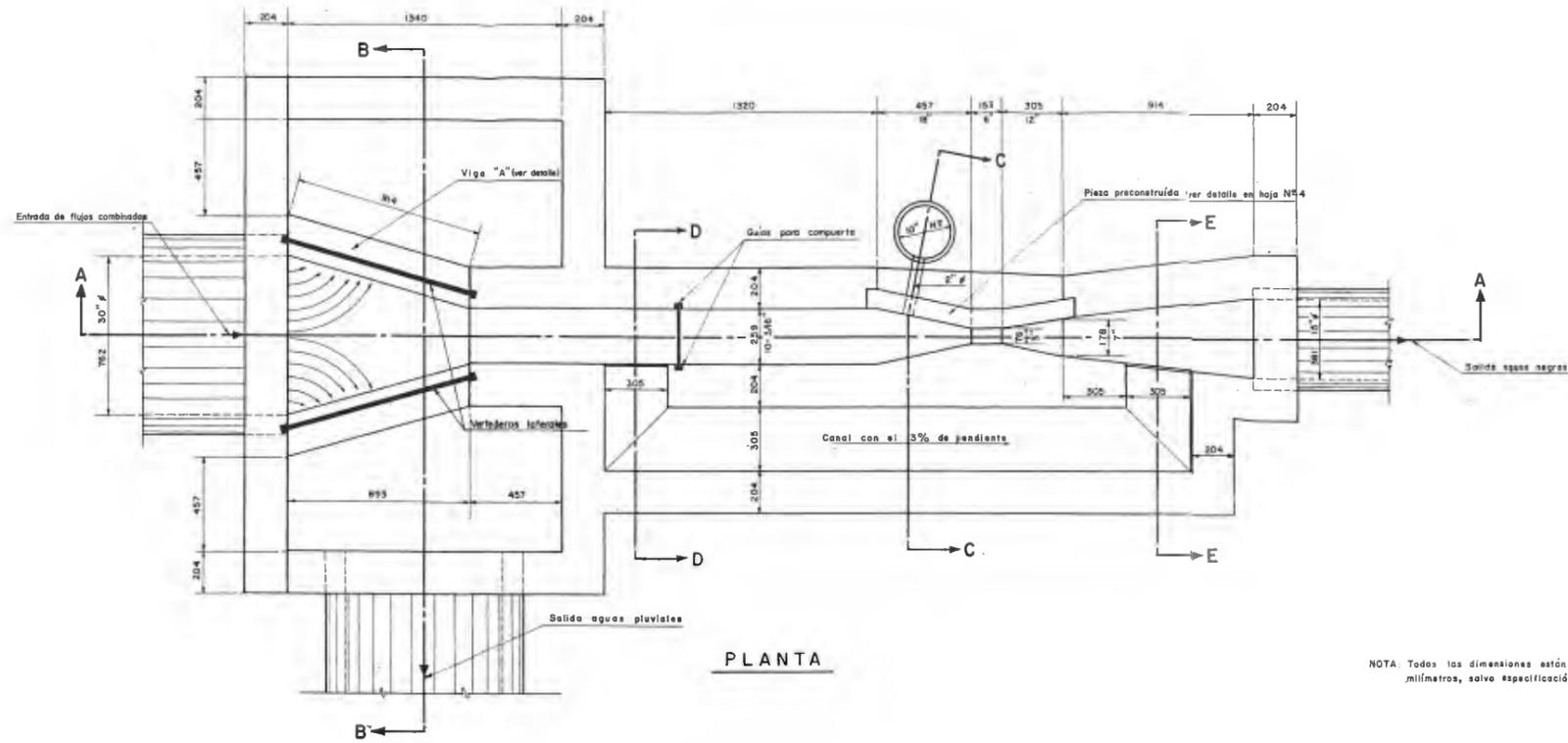


CORTE A-A ESCALAS HORIZONTAL 1:250 VERTICAL 1:100

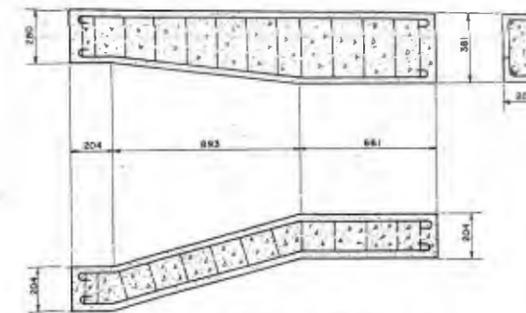
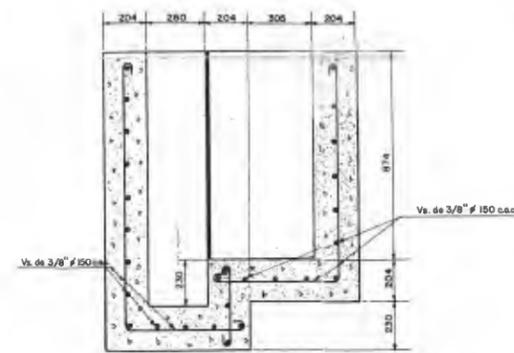
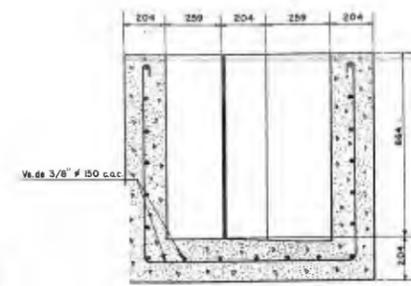
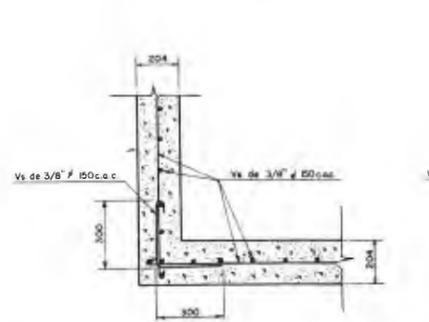
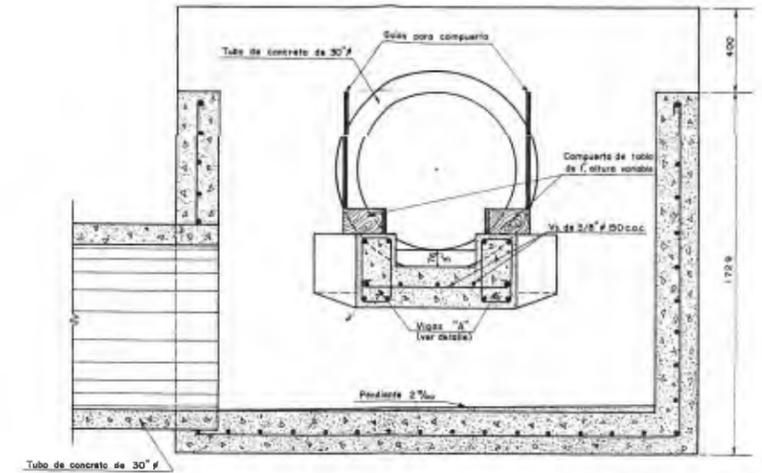
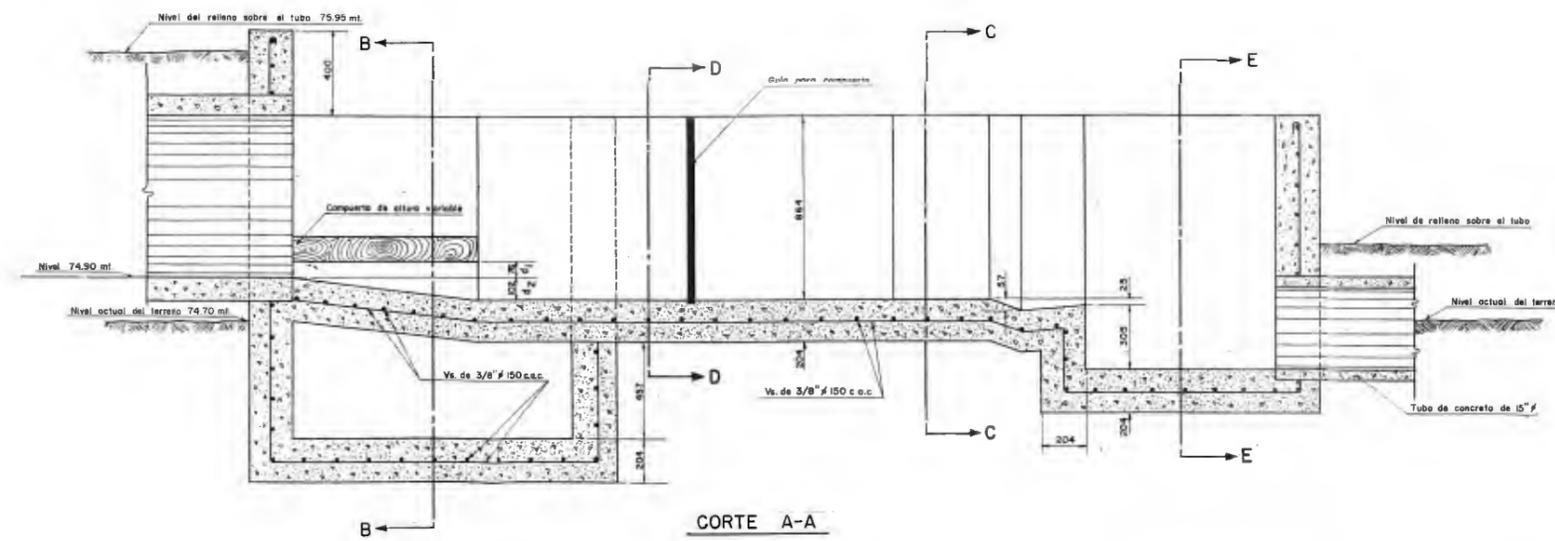
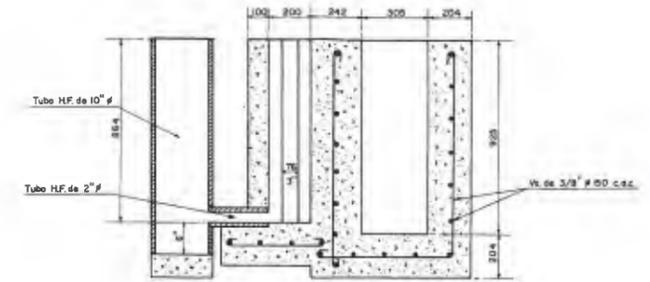


CORTE B-B ESCALAS HORIZONTAL 1:250 VERTICAL 1:100

MINISTERIO DE SALUBRIDAD PUBLICA SERVICIO COOPERATIVO INTERAMERICANO DE SALUBRIDAD PUBLICA DIVISION DE INGENIERIA SANITARIA		
LAGUNAS DE OXIDACION CAÑAS, GUANACASTE		
PERFILES DE LAGUNAS Y DETALLES VARIOS		
DISEÑO: Ing. R. SAENZ F.	APROBÓ: Ing. R. MENDEZ A.	TRABAJÓ:
DIBUJO: C.E. CONTRERAS M.	APROBÓ:	FECHA: ENERO de 1958
REVISÓ: Ing. A. CORDERO A.	ESCALA: INDICADA	HOJA: 4 DE: 6

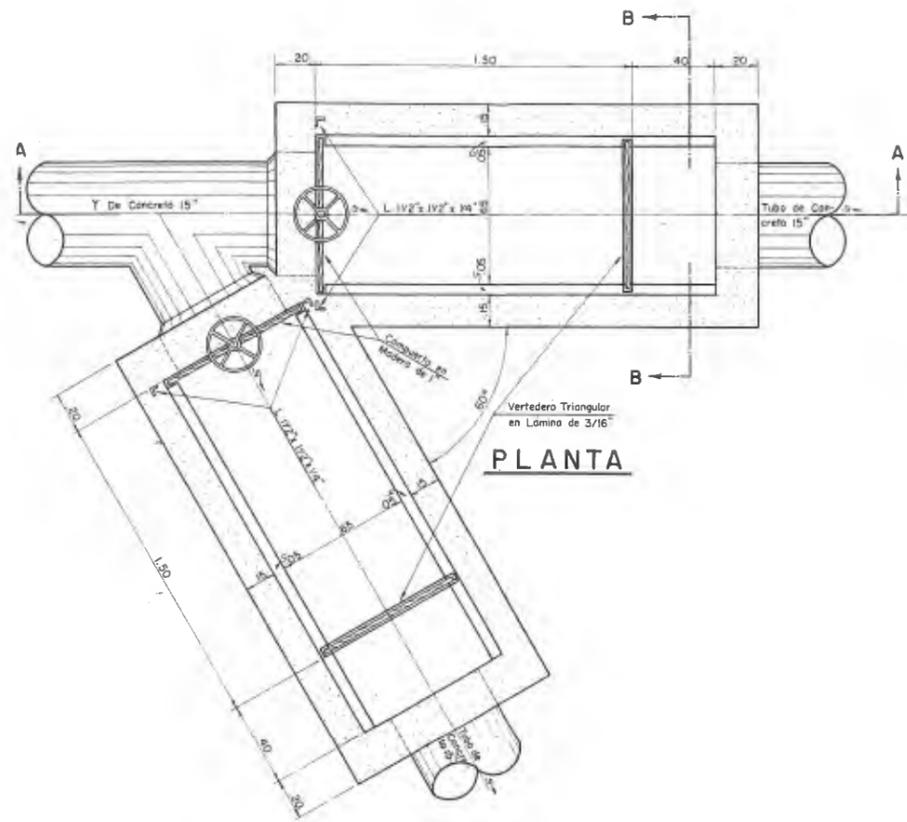


NOTA: Todas las dimensiones están expresadas en milímetros, salvo especificación contraria...

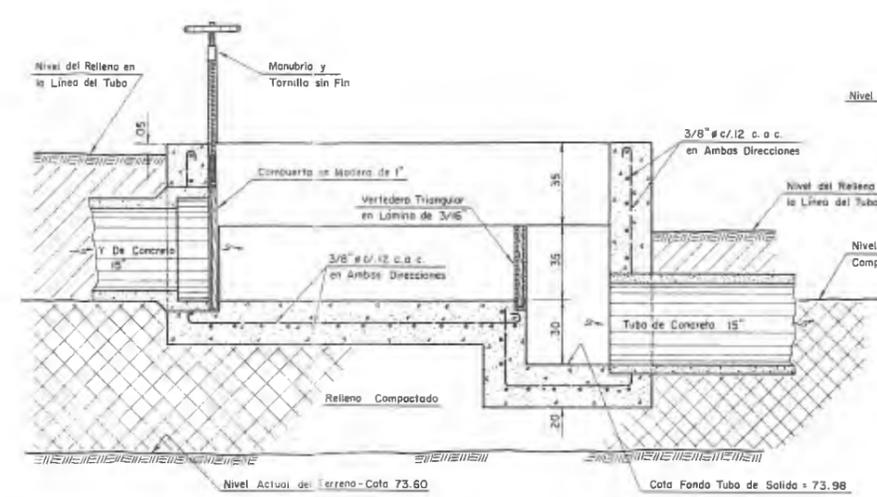


NOTA: Las varillas llevarán un recubrimiento mínimo de 40 mm.

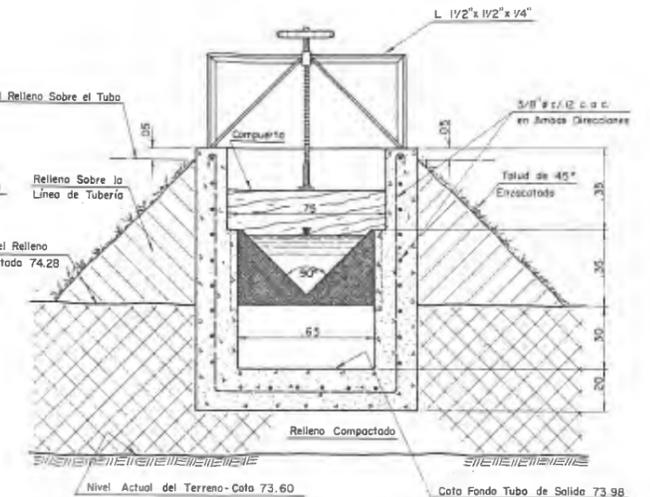
MINISTERIO DE SALUBRIDAD PUBLICA SERVICIO COOPERATIVO INTERAMERICANO DE SALUBRIDAD PUBLICA DIVISION DE INGENIERIA SANITARIA		
LAGUNAS DE OXIDACION CAÑAS, G.T.E. ESTRUCTURA SEPARADORA DE FLUJOS		
DISEÑO: Rodolfo Sáenz F.	APROBÓ: Ramón Mardaz A.	TRABAJO: E-26
DIBUJÓ: A. Morales M.	APROBÓ: Edison Rivera C.	FECHA: Enero de 1958
REVISÓ: Alvaro Cordero A.	ESCALA: 1 = 15	HOJA: 5 DE 6



PLANTA

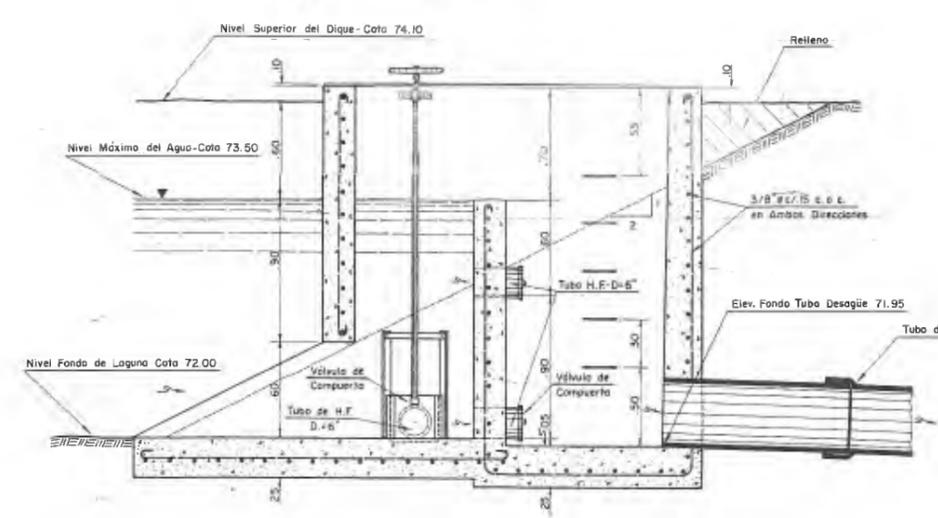


CORTE A-A

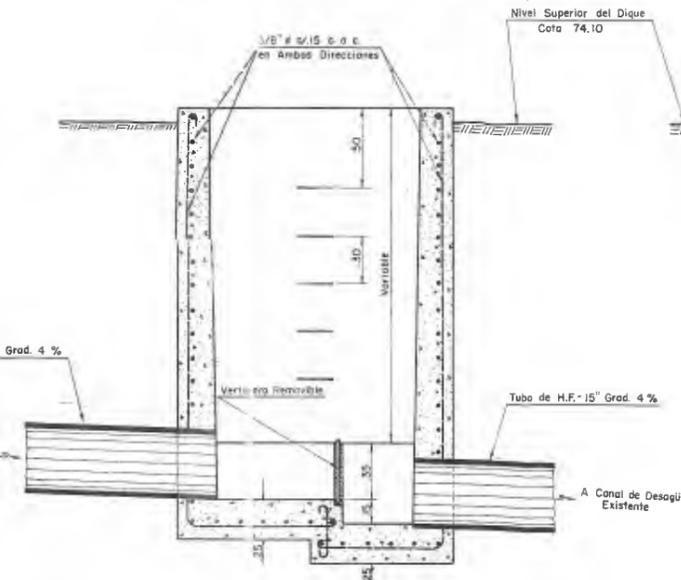


CORTE B-B

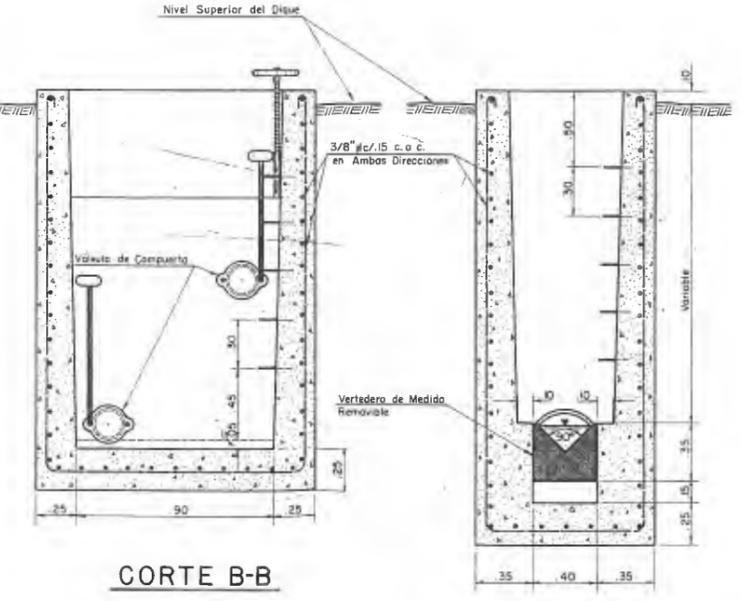
VERTEDEROS DE MEDIDA ESCALA 1:15



CORTE A-A

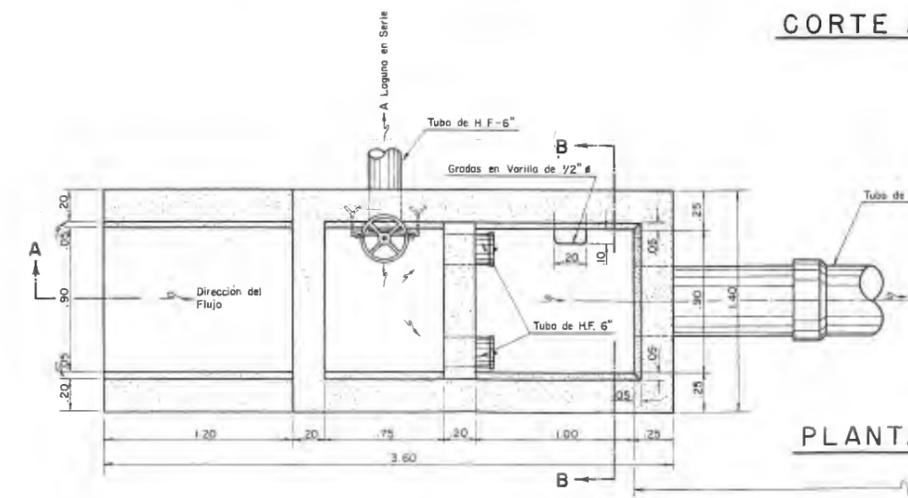


CORTE B-B

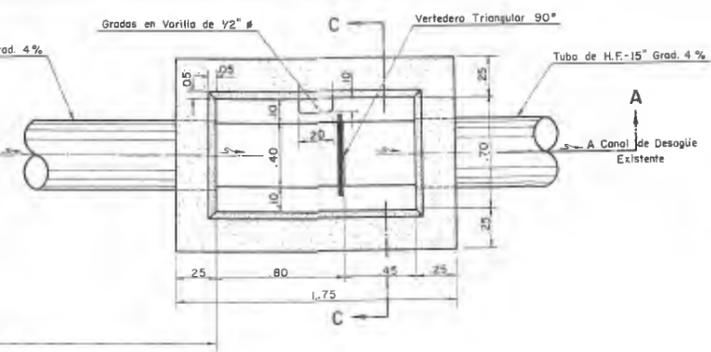


CORTE C-C

ESTRUCTURAS DE SALIDA ESCALA 1:20



PLANTA



NOTA: Todas las dimensiones son dadas en metros, salvo especificación contraria.

MINISTERIO DE SALUBRIDAD PUBLICA SERVICIO COOPERATIVO INTERAMERICANO DE SALUBRIDAD PUBLICA DIVISION DE INGENIERIA SANITARIA		
LAGUNAS DE OXIDACION CAÑAS, GUANACASTE VERTEDEROS DE MEDIDA Y ESTRUCTURAS DE SALIDA		
DISEÑO: R. Sáenz F.	APROBÓ: R. Méndez A.	TRABAJO: E-26
DIBUJÓ: S. de la O. M.	APROBÓ: E. Rivera C.	FECHA: Enero de 1956
REVISÓ: A. Cordero A.	ESCALA: INDICADA	HOJA: 6 de 6