

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**PROGRAMACION, PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y
VERIFICACION DE DISEÑO DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE DESAGUES DE LA CIUDAD DE TACNA**

TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL

**Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL**

LUCIO RICARDO ALVAREZ SOLIS

**Lima-Perú
2000**

Dedicatoria:

*A mis queridas hijas María José
Danielita, a mi esposa Mariela , a
mis Padres y hermanos, que con su
amor , comprensión y apoyo
hicieron posible la culminación de
este gran anhelo.*

INDICE

	<u>Página</u>
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I : GENERALIDADES	3
1.1 Ubicación de la localidad	3
1.2 Características físicas	3
1.3 Aspecto demográfico	4
1.4 Antecedentes del proyecto	5
CAPITULO II: VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESAGÜES DE TACNA	7
2.1 Tratamiento de aguas residuales - Desarrollo tecnológico	7
2.1.1 Calidad microbiológica para el reuso de aguas servidas	7
2.1.2 Lagunas de estabilización en el país	8
2.1.3 Lagunas de estabilización	8
a) Lagunas anaeróbicas	9
b) Lagunas aerobias	10
c) Lagunas facultativas	10
2.2 Verificación del diseño	11
2.2.1 Generalidades	11
2.2.2 Ubicación y límites	11
2.2.3 Extensión	11
2.2.4 Objetivos de la planta de Tratamiento de Desagües	12
2.3 Proyecto Planta de Tratamiento de Desagües	12
2.4 Pre-tratamiento de desagües	13
2.4.1 Cámara de rejas	13
2.4.2 Canal by-pass	15
2.4.3 Medidor Palmer – Bowlus	16

2.5	Estructuras de entrada y salida	17
2.5.1	Canal principal	17
2.5.2	Canal de distribución	17
2.5.3	Tuberías de ingreso a lagunas primarias	18
2.5.4	Descarga a laguna primaria	18
2.5.5	Tubería de interconexión de laguna primaria y secundaria	18
2.5.6	Canal de desagüe	19
2.6	Tratamiento primario de desagües	19
2.6.1	Lagunas de estabilización primarias proyectadas	19
2.6.2	Remoción de patógenos - Tratamiento primario	22
2.6.3	Remoción de carga orgánica - Tratamiento primario	23
2.6.4	Dimensionamiento de trinchera de lodos	24
2.7	Tratamiento secundario de desagües	24
2.7.1	Lagunas de estabilización secundarias proyectadas	24
2.7.2	Remoción de patógenos - Tratamiento secundario	25
2.7.3	Remoción de carga orgánica - Tratamiento secundario	27
CAPITULO III:	PROCESO CONSTRUCTIVO - PLANTA DE	28
	TRATAMIENTO DE DESAGÜES	
3.1	Introducción	28
3.2	Movimiento de tierras y revestimientos - L.E.T.	29
1.0	Trabajos preliminares	29
1.1	Limpieza y desforestación	29
1.2	Almacén y caseta de guardianía	29
1.3	Trazo y replanteo de obra	29
2.0	Movimiento de tierras	31
2.1	Excavación masiva terreno normal	31
2.2	Suministro de material de préstamo diques	32
2.3	Relleno y compactado de diques lagunas	32
2.3.1	Relleno con material propio	32
2.3.2	Compactación	34
2.3.3	Control	36

2.3.4	Afirmado	36
2.4	Peinado de taludes	37
2.5	Eliminación de material excedente	37
3.0	Revestimientos	38
3.1	Revestimiento de fondos	38
3.2	Revestimiento de taludes	39
3.3	Obras de arte y concreto armado - L.E.T.	41
3.3.1	Canal principal, estructura de medición y cámara de rejas	41
3.3.2	Canal de distribución y canal de aguas tratadas	42
3.3.3	Caja afluente, de interconexión y salida de lagunas	43
3.3.4	Estructura de desagüe de lagunas primarias	43
3.3.5	Caseta de guardianía y laboratorio de la P.T.D.	44
3.3.6	Puente	44
CAPITULO IV:	PROGRAMACIÓN DE OBRA - LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE LA CIUDAD DE TACNA	45
4.1	Introducción	45
4.2	Análisis de rendimientos y costos unitarios de obra	46
4.2.1	Movimiento de tierras	46
a)	Excavación masiva en T.N. c/maquinaria	46
b)	Suministro de material propio para diques	49
c)	Suministro de material de préstamo para diques	50
d)	Relleno y compactación de diques	50
e)	Peinado de taludes	51
f)	Eliminación de material excedente	52
4.2.2	Revestimiento con material impermeabilizante en fondos	54
a)	Suministro de agregado grueso-fino seleccionado	54
b)	Colocación protección agregado grueso-fino e=0.15 m.	54
c)	Suministro y colocación de material fino e=0.05 m.	54
4.2.3	Revestimiento con asfalto en taludes	55
a)	Carpeta asfáltica e=1.5"	55
4.3	Programación de obra	56

CAPITULO V:	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
5.1	Conclusiones	58
5.2	Recomendaciones	60
ANEXOS:		62
01	Determinación de los Límites de Atterberg	63
02	Prueba de Compactación con Optimo contenido de humedad	70
03	Ensayo de Compactación, Método de Proctor Modificado	76
04	Determinación del Peso Unitario	80
05	Levantamiento topográfico de LET: Planta, perfil y cortes	84
06	Curva granulométrica del terreno de fundación	89
07	Certificados de Ensayos de Suelos	93
08	Rendimientos promedio de equipo mecánico	103
09	Fotos de Obra	106
10	Planos de replanteo de Obra	113
BIBLIOGRAFIA		114

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería brinda la posibilidad de acceder a la Titulación Extraordinaria por Examen Profesional, a sus egresados que han adquirido experiencia y práctica en sus funciones desempeñadas en el campo de la Ingeniería Civil.

Durante mis años de experiencia profesional tuve la oportunidad de realizar trabajos en diferentes campos de la Ingeniería Civil, particularmente como Residente y Supervisor de obras de Saneamiento. Con base en esta experiencia y a la sustentación de los proyectos y obras ejecutadas, se determinó la presentación del Informe Técnico relacionado a la **"PROGRAMACIÓN, PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y VERIFICACIÓN DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESAGÜES DE LA CIUDAD DE TACNA"**, obra ejecutada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tacna, EMAPA-TACNA, dentro del compromiso del Gobierno Local de convertir a Tacna en una ciudad Limpia, Bella y Saludable.

En este sentido, el presente trabajo tiene por finalidad dar a conocer la experiencia adquirida en el diseño, programación y construcción de cuatro lagunas de estabilización, las cuales forman parte del proyecto de construcción de la nueva Planta de Tratamiento de Desagües de la ciudad de Tacna, ubicada en el Km. 3.5 de la carretera Costanera, al oeste de la ciudad, obra ejecutada en el período comprendido entre el 16 de Junio de 1994 y el 10 de Marzo de 1995.

Se desarrollará el trabajo en Cinco Capítulos, como sigue: en el Capítulo Uno se tratan las Generalidades relacionados al proyecto y a la localidad en la cual este se desarrolla; en el Capítulo Dos se realiza la verificación del diseño hidráulico de las lagunas de estabilización, primarias y secundarias así como de las obras de arte ejecutadas; en el Capítulo Tres se analiza el proceso constructivo desarrollado en la construcción de las lagunas, discutiendo lo relacionado al movimiento de tierras, la impermeabilización de lagunas y las obras de concreto.

En el Capítulo Cuatro trataremos sobre la Programación de la obra, discutiendo la elaboración del Expediente Técnico particularmente los costos unitarios del movimiento de tierras e impermeabilización de lagunas; y en el Capítulo Cinco se verán las conclusiones y recomendaciones que arroja el presente estudio.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN DE LA LOCALIDAD.-

La ciudad de Tacna, está ubicada en la Provincia y Región Tacna, es la ciudad más austral de la costa peruana y se encuentra a 1330 Km. de Lima, capital del Perú, abarcando una extensión aproximada de 2,900 Ha. El departamento de Tacna tiene una superficie de 16,075.89 Km². lo que constituye el 1,25% del territorio nacional, en el que vive el 0,99% de la población del país.

El centro de Tacna se ubica a una altura de 569 m.s.n.m. (oscilando el área urbana actual entre 710 y 450 m.s.n.m.) siendo sus coordenadas geográficas:

Latitud sur	17°59'30"
Longitud oeste	70°14'23"

El área presenta una pendiente suave y uniforme en el sentido Nor-Oeste la que varía entre 2% y 3%

1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.-

a.- Clima.-

La división climática de **Koppen** establece para la ciudad de Tacna un clima seco del tipo desértico y precipitación casi nula.

b.- Precipitación pluvial.-

De acuerdo con los registros de información de estaciones meteorológicas, se tiene una precipitación pluvial promedio anual en la ciudad de 40,7 mm, mientras que en Calana es de 22,98 mm., en Magollo de 12,89 mm. y en la Yarada es de apenas 1,72 mm.

c.- Temperatura.-

La ciudad de Tacna registra una temperatura promedio anual de 17,7° C. con un promedio máximo de 28,8° C. y un mínimo de 7,9° C. observándose que el mes más caluroso es Febrero y el mes más frío corresponde a Julio.

d.- Humedad relativa.-

En la estación de Calana se observa una humedad relativa con un promedio anual de 76% siendo los meses más húmedos de Mayo a Octubre con un promedio de 80% y los más secos correspondientes a los meses de Noviembre y Abril con un Promedio de 73%.

e.- Presión atmosférica.-

La información considerada corresponde a la estación CORPAC, en la cual se observa que a lo largo del año la presión atmosférica en promedio tiende a incrementarse ligeramente desde el mes de febrero hasta alcanzar su máximo valor en el mes de agosto con 1017,3 mb.

f.- Vientos.-

De acuerdo a información meteorológica, la dirección predominante de los vientos es de Sur en el verano y Sur-oeste en el resto del año.

En cuanto a la intensidad de vientos alcanzada, ésta varía entre 6 y 14 km/h., lo que según la escala de **Beaufort** equivale a una brisa muy débil y débil respectivamente.

1.3 ASPECTO DEMOGRÁFICO.-

Los últimos datos censales en el Perú dan los siguientes resultados para la ciudad de Tacna:

CUADRO 1.1
DATOS CENSALES CIUDAD DE TACNA

Año	URBANA		RURAL		TOTAL	
	Habitantes	%	Habitantes	%	Habitantes	%
1940	11,025	86.73	1,687	13.27	12,712	100
1961	27,499	87.53	3,616	12.47	31,415	100
1972	59,222	92.37	4,891	7.63	64,113	100
1981	98,532	94.50	5,753	5.47	104,237	100
1983	174,336	96.50	6,327	3.50	180,663	100

Fuente : I.N.E.I.

CUADRO 1.2

TASA DE CRECIMIENTO INTERCENSAL DE LA CIUDAD DE TACNA

Años	Población (Hab.)	Años Transcurridos	Incremento Poblacional (Hab.)	Crecimiento Anual (Hab/año)	Tasa de Crecimiento (%)
1940	12,712				
		21	18,703	890.60	4.40
1961	31,415				
		11	32,698	2,972.50	6.70
1972	64,113				
		9	40,124	4,458.20	5.55
1981	104,237				
		12	76,426	6,368.80	4.69
1993	180,663				

Fuente : I.N.E.I.

Por su condición de ciudad fronteriza, Tacna se encuentra en una situación de expectativa económica para la región, estando su desarrollo fuertemente condicionado al interés que demuestre el Gobierno por promover condiciones favorables para el intercambio comercial y la apertura de nuevos mercados de la cuenca del Pacífico y Atlántico.

En todo caso, se aprecia que la ciudad de Tacna tiene un crecimiento explosivo con desplazamiento de la zona rural hacia la urbana y con recepción de fuertes migraciones de ciudades aledañas, especialmente de Puno, previéndose que el crecimiento demográfico futuro será de similares características que las históricas.

1.4 ANTECEDENTES DEL PROYECTO.-

En el año 1984 la firma SANIDRO INGS. CONSULTORES desarrolló el Estudio de Factibilidad para la ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Tacna, con un horizonte al año 1998 en su I Etapa y al año 2008 en la II Etapa.

Luego, en el año 1988 la Consultora Ing. Lidia Cánepa de Vargas elaboró el Estudio Definitivo en base al Estudio de Factibilidad para la Ampliación y Mejoramiento de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Tacna con un horizonte del proyecto hasta el año 2000, pero por limitaciones presupuestales no se ejecutaron las obras previstas en los estudios indicados, entre ellos la nueva Planta de Tratamiento de Desagües de la ciudad de Tacna.

Estos estudios sirvieron de base para que el año 1991 la Empresa Municipal de Agua Potable de Tacna, EMAPA-TACNA, elaborara el "Proyecto de Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Tacna" en los cuales se incluyeron mejoras con relación a los diversos sistemas proyectados y también en lo relacionado a la nueva Planta de Tratamiento de Desagües de la ciudad de Tacna.

Es en el año 1993 que EMAPA-TACNA decide ejecutar la obra "Emisor principal de Desagües de la Ciudad de Tacna", con la cual se contempló dejar en la Planta Antigua de Cono Sur (ubicada ya en zona urbana de la ciudad) solamente 150 l.p.s. para el tratamiento, debiendo conducirse los caudales de desagüe excedentes a la nueva planta proyectada.

El emisor construido se inició en el buzón 839-T del Interceptor general existente y tiene una longitud total de 12,078 m., con tramos de 22", 24", 28", 32" y 36" de diámetro y tubería de concreto reforzado.

Como una consecuencia lógica a la construcción del emisor principal, el año 1994 se inicia la construcción de la Planta de Tratamiento de Desagües de la ciudad de Tacna en su I Etapa, evaluación que desarrollaremos en adelante.

CAPITULO II

VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESAGÜES DE TACNA

2.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - DESARROLLO TECNOLÓGICO.-

En los países en desarrollo, el objetivo prioritario del tratamiento de aguas residuales debe ser la remoción de parásitos, bacterias y virus patógenos, pues son males endémicos en nuestros países, y NO la remoción de materia orgánica y nutrientes, que es el objetivo de tratamiento en los países desarrollados, en los cuales una tifoidea o un caso de parasitismo son excepcionales.

La opción tecnológica mediante la cual se alcanza plenamente este objetivo (NO PATOGENOS), corresponde a las lagunas de estabilización que, con base en el período de retención y a mecanismos naturales, pueden lograr la remoción total de parásitos, bacterias y virus patógenos. Ningún sistema convencional, tipo lodos activados o filtros biológicos puede competir con la eficiencia de remoción de patógenos que se logra en las lagunas de estabilización, a menos que -finalizado el tratamiento- se haga un pulimento mediante un proceso de desinfección del efluente. Esto obviamente encarece y hace más compleja la operación y el mantenimiento.

Los efluentes de las lagunas de estabilización en función a su calidad bacteriológica, permiten su uso en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, forestación, cultivos agro-industriales, hasta la acuicultura.

2.1.1 Calidad microbiológica para el reuso de aguas servidas.-

Las lagunas de estabilización logran efluentes de calidad microbiológica adecuada sin necesidad de recurrir a la desinfección. Sus efluentes con alta concentración de algas son muy apreciados por los agricultores por su gran contenido de nutrientes que permite ahorrar en fertilizantes.

En 1989 la OMS publicó las directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura, las cuales se refieren al uso de aguas residuales, entendiéndose por tal el uso directo de las mismas o el uso indirecto en cuerpos de agua (ríos, lagos, etc.) que reciben estos efluentes.

Estas directrices establecen, con base en la evidencia epidemiológica existente, que si las aguas residuales se tratan a un grado tal que la concentración del número más probable de coliformes fecales por cien mililitros (NMP CF/100 ml.) es igual o menor de 1000, y el número de huevos de nemátodos intestinales por litro es igual o menor de 1, pueden considerarse aptas para riego irrestricto, aún de productos comestibles. Estudios realizados por el CEPIS, indican que si se utilizan lagunas primarias seguidas de secundarias (en algunos casos terciarias) para lograr un efluente con una concentración de menos de 1000 CF/100 ml se reduce a cero la concentración de huevos de nemátodos intestinales.

2.1.2 Lagunas de estabilización en el país.-

En el Perú desde la década de los 60's, se han sentado las bases para la aplicación de las lagunas de estabilización y del reuso de sus efluentes. El complejo de San Juan de Miraflores ha marcado un hito importante en la ingeniería sanitaria del país y los logros obtenidos en materia de investigación tienen trascendencia no sólo a nivel local, sino a nivel internacional.

En el complejo de San Juan se han definido criterios de dimensionamiento que son utilizados en los países de la región. En materia de reuso de aguas residuales se ha logrado cubrir aspectos muy importantes en términos de producción agropecuaria y de aspectos de salud pública

2.1.3 Lagunas de estabilización.-

La laguna de estabilización es el tratamiento más sencillo, económico y eficiente que puede lograrse en las aguas residuales domésticas y algunos desechos industriales, siempre que se cuente con grandes áreas de

terreno disponible.

El tratamiento de desagües por medio de lagunas de estabilización se basa en el desarrollo de bacterias que degradan la materia orgánica hasta lograr estabilizarla. Debido a que las bacterias en la capa superior de las lagunas necesitan oxígeno para lograr la oxidación de la materia orgánica, estas se diseñan con una gran superficie.

El sistema comprende la retención de las aguas negras en la laguna hasta que satisfaga el DBO buscado, luego se descarga el efluente en el medio receptor (ríos, lagos, cultivos, etc.). Los sólidos retenidos en la laguna se convierten en sólidos que se asientan en el fondo de la misma. La acumulación de lodos se efectúa lentamente a velocidades variables hasta un máximo de 3.5" por año, circunstancia que permite que una laguna bien diseñada brinde un servicio eficiente durante varios años sin tener problemas con la reducción de su capacidad.

Las lagunas son restringidas en cuanto a su zonificación. Estas no pueden ser ubicadas en lugares cercanos a la ciudad o asentamientos humanos. La distancia mínima permitida es de 400 a 1000 m. según el tipo de laguna a proyectar; en algunos casos se recomienda plantar un muro de árboles aromáticos (como un cerco vivo) en forma transversal a la dirección entre la planta de tratamiento y la ciudad.

Las lagunas de estabilización tienen una amplia variedad de aplicaciones, obteniéndose tipos de lagunas según el proceso biológico que realice, a saber:

a).- Lagunas anaeróbicas.-

Generalmente se usan como unidades de pre-tratamiento. Se puede considerar como un digestor, ya que se aplica carga orgánica por unidad de volumen de manera tal que prevalezcan las condiciones anaeróbicas, es decir, resulta un proceso biológico en ausencia de oxígeno.

La eficiencia varía con el tiempo de retención hidráulica, tiempos de 1 a 3 días mantienen eficiencias de remoción de DBO de 30 a 60 % respectivamente. Para tiempos mayores a 5 días la laguna pasa a ser aeróbica o facultativa.

La temperatura es un factor muy importante en las lagunas anaerobias por lo que se recomienda que en el mes más frío no sea inferior a 15o C. Por lo general son estanques profundos que varían de 3 a 5 m. y producen malos olores.

b).- Lagunas aerobias.-

En las lagunas aerobias el material de desecho se estabiliza completamente por medio de la oxidación aerobia.

Sistemas de este tipo pueden depender de aereación mecánica o fotosíntesis o ambas. En las lagunas de algas donde la fotosíntesis proporciona las condiciones aerobias, los diseños se basan en grandes áreas superficiales que bajo estas condiciones producen grandes cantidades de algas.

El diseño de las lagunas aerobias se basa en tres aspectos:

- profundidad mínima con un máximo de producción de algas;
- máxima producción de algas tomando en cuenta la DBO total para la carga orgánica de diseño;
- mezclado forzado, que puede mantener una actividad mayor de bacterias.

c).- Lagunas facultativas.-

Es el tipo de lagunas de mayor uso entre las lagunas de estabilización. En la parte superficial de la laguna se genera un proceso aerobio (crecimiento de algas) y en la zona inferior o fondo de la laguna se da un proceso anaeróbico gracias a la falta de oxígeno. Se diseñan con una profundidad que varía de 1.5 a 2.5 metros y con una carga orgánica por unidad de superficie que permite el crecimiento de organismos aerobios. No produce malos olores como los anaerobios. Su eficiencia es afectada principalmente por la temperatura.

La eficiencia esperada de estas lagunas va desde 60 hasta 85 % en remoción de DBO. La eficiencia en la remoción de bacterias, específicamente del grupo coliforme, puede alcanzar valores del 99.99 % debido a los grandes tiempos de retención hidráulica (20 a 30 días). Su gran capacidad de remoción de patógenos sin el uso de desinfección, hace

de estas lagunas las favoritas para el tratamiento de aguas residuales. Las dificultades que presentan estas lagunas es el requerimiento de grandes áreas de terreno. Solo la unidad de la estructura requiere de 3 Ha. para descargas del orden de 50 l.p.s., donde no se incluye un área adicional para que la laguna esté ventilada.

2.2 VERIFICACIÓN DEL DISEÑO.-

2.2.1 Generalidades.-

El diseño de la nueva Planta de Tratamiento de Desagües de la ciudad de Tacna comprende la construcción de 12 pares de lagunas de estabilización en paralelo, cada par comprendido por una laguna primaria y una laguna secundaria, ambas en serie.

Adicionalmente, se cuenta con la zona de pre-tratamiento de desagües, el canal by-pass, la estructura de medición de caudales, el canal principal, el canal de distribución, tuberías de ingreso, interconexión y salida de lagunas, canal de evacuación de desagües tratados.

En adelante se verificará el diseño de las estructuras señaladas, pero poniendo especial atención al cálculo de la remoción de patógenos y carga orgánica en las lagunas primarias y secundarias, que es la finalidad del tratamiento.

2.2.2 Ubicación y límites.-

La Planta de Tratamiento de Desagües se ubica al Sur-Oeste de la Ciudad de Tacna, entre el Km. 3.2 y 5.2 de la Carretera a Boca del Río.

El terreno que tiene forma de un polígono hexagonal cóncavo, tiene uno de sus lados paralelo a dicha carretera y pasa aproximadamente a 150 m. de ésta mientras que los otros lados solamente limitan con arenales. Unos 650 m. hacia el Norte del terreno se ubica el pozo No.150 que es propiedad de los agricultores y que está abandonado.

2.2.3 Extensión.-

El lado paralelo a la Carretera a Boca del Río mide 2 003.18 m. Los siguientes lados (siguiendo el sentido horario) miden 803.34 m; 780.96 m; 632.69 m; 1200.93 y 3001.97m. respectivamente.

Los límites indicados encierran un área total de 362.25 Has., las cuales deberán ser protegidas por un cerco perimétrico de malla metálica (proyección futura). Este cerco perimetral deberá tener una longitud de 8423.06 m. Se ha considerado la reserva de esta área previendo las ampliaciones futuras.

2.2.4 Objetivos de la Planta de Tratamiento de Desagües.-

a.- Protección Epidemiológica a través de la disminución de organismos Patógenos presentes en las Aguas Residuales y dificultando la transmisión de los mismos.

b.- Rehuso directo del agua servida tratada en la agricultura, evitando los riesgos e inconvenientes del rehuso de aguas servidas crudas.

El objetivo (1) contribuye a la disminución de las enfermedades entéricas y del Parasitismo.

El objetivo (2) está relacionado con la alimentación y por consiguiente con la nutrición.

2.3 PROYECTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESAGÜES.-

El diseño de la Planta de tratamiento de desagües consta de 12 lagunas primarias y 12 secundarias cuyas características mostramos a continuación:

Características generales:

Caudal de diseño	=	417.34 l/s
Temperatura mínima promedio en el mes más frío	=	13.6 °C
Area total de tratamiento	=	33.972 Has.

Lagunas primarias:

Caudal promedio desagüe a tratar	=	417.34 l/s
Ancho base	=	86.00 m.
Largo base	=	175.00 m.

Tirante	=	1.80 m.
Area de cada laguna	=	1.505 Has.
Area total tratamiento primario	=	18.06 Has.
Período de Retención	=	10 días (de proyecto)
Borde libre	=	0.50 m.
Talud típico paredes	=	1:4
Lagunas secundarias:		
Caudal promedio desagüe a tratar	=	417.34 l/s
Ancho base	=	88.40 m.
Largo base	=	150.00 m.
Tirante	=	1.50 m.
Area de cada laguna	=	1.326 Has.
Area total tratamiento secundario	=	15.912 Has.
Período de Retención	=	7 días (de proyecto)
Borde libre	=	0.50 m.
Talud típico paredes	=	1:4

2.4 PRE-TRATAMIENTO DE DESAGÜES.-

Con la finalidad de preparar las aguas residuales para el tratamiento posterior se ha construido una unidad de pre-tratamiento (Cámara de rejillas) para retener y remover los sólidos de gran tamaño que son arrastrados por los desagües y que podrían obstruir tuberías, canales y cajas.

2.4.1 Cámara de rejillas.-

Ha sido diseñada y construida para una capacidad de 1203.86 l/s de desagüe. Esta Cámara de Rejillas tiene 2.10 m. de ancho, y el tirante máximo será de 0.93 m.

Las rejillas son de tipo mediano y de sección rectangular con una capacidad de remoción de 20 L/100 m³. Forman un ángulo de 45 grados con la horizontal de modo que se facilita la labor de limpieza manual usando rastrillo. Las rejillas están dispuestas en 7 parrillas, 5 de ellas con 10 barras

y las restantes con 9 barras. Las barras son de sección rectangular de 1/4" x 2", tienen una longitud de 2.45 m y los espacios libres entre ellas son de 1".

El área útil de la sección transversal es de 5.145 m². Cuando las rejas están limpias, el flujo tendrá una velocidad de 0.75 m/s para caudal máximo (1203.68 l/s) y 0.41 m/s para caudal mínimo (334.41 l/s). Aguas abajo de las rejas se tiene una caída de 0.10 m. para luego darle al canal una pendiente de 10 m/Km hasta llegar a un medidor de caudal Palmer-Bowlus. Se ha dejado ranuras de 1" de espesor antes y después de la Cámara de Rejas para colocar compuertas de madera en el caso que se desee realizar alguna reparación o mantenimiento en ella.

Diseño cámara de rejas:

Datos:

$$\begin{aligned} \text{Caudal promedio} &= Q_p = 668.81 \text{ l/s.} \\ \text{Caudal Máximo} &= Q_{\max} = 1203.86 \text{ l/s.} \\ \text{Caudal Mínimo} &= Q_{\min} = 334.41 \text{ l/s} \end{aligned}$$

Eficiencia :

$$E = \frac{a}{a+t} = \frac{1}{1+1/4} = 0.80$$

La recomendación respecto a velocidad máxima y mínima a través de las rejas limpias es que estas sean de 0,75 y 0,40 m/s respectivamente.

Con una velocidad máxima de 0.75 m/s, obtenemos:

Area útil a través de las rejas:

$$A_u = \frac{Q}{V} = \frac{1.20386}{0.75} = 1.605 \text{ m}^2$$

Area aguas arriba:

$$A_{ar} = \frac{A_u}{E} = \frac{1.605}{0.8} = 2.01 \text{ m}^2$$

Dimensiones del Canal Aguas Arriba:

Con un ancho de base $b = 2.10$ m. obtenemos un tirante máximo:

$$y = \frac{A_{ar}}{b_{\max}} = \frac{2.01}{2.1} = 0.96 \text{ m.}$$

Perímetro Mojado

$$P = 2y + b = 2 \times 0.96 + 2.1$$

$$P = 4.02 \text{ m.}$$

Radio Hidráulico:

$$R_h = \frac{A_{ar}}{P} = \frac{2.01}{4.02} = 0.50 \text{ m.}$$

Pendiente Hidráulica:

Considerando $n = 0,015$ en la Fórmula de Manning obtenemos:

$$S = \left(\frac{Q * n}{A_{ar} * (R_h)^{2/3}} \right)^2$$

$$S = \left(\frac{1.20386 * 0.015}{2.01 * (0.50)^{2/3}} \right)^2$$

$$S = 0.204 \text{ m/km.}$$

Ahora verificamos la velocidad para caudal mínimo.

Despejando de la Fórmula de Manning e iterando encontramos:

$$Y_{\min} = 0.39 \text{ m.}$$

Entonces :

$$V_{\min} = \frac{Q}{A} = \frac{0.3341}{2.1 \times 1.34} = 0.41 \text{ l.p.s.}$$

2.4.2 Canal by-pass.-

Para los casos en que sea necesario cerrar el paso a través de las rejas se ha diseñado un Canal by-pass que también será de utilidad en las

eventualidades en que el caudal de desagües sea mayor que la capacidad de las rejas o cuando la obstrucción en estas no permita el paso del flujo. La capacidad para la cual ha sido diseñado el canal By-Pass es el máximo caudal, es decir $Q_{mh} = 1203.86$ l/s.

Verificación de diseño:

Las condiciones hidráulicas en el ingreso al canal By-Pass son similares a las de un vertedero de cresta ancha, por tanto utilizaremos la fórmula:

$$Q_{mh} = 1.71 * L' * H^{3/2}$$

$$L' = L - 0.2 H \text{ (contracciones)}$$

$$\text{Con } L = 1.80 \text{ m.}$$

Entonces :

$$Q_{mh} = 1203.86 = 1.71 (1.8 - 0.2 H) \times H^{3/2}$$

Iterando obtenemos:

$$H = 0.56 \text{ m.}$$

Pendiente Hidráulica del Canal By-Pass:

Aplicando Manning, obtenemos:

$$y = 0.56 \text{ m}$$

$$b = 1.80 \text{ m}$$

$$Q = 1.20386 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 1.30 \text{ m/Km}$$

2.4.3 Medidor Palmer-Bowlus.-

El medidor Palmer Bowlus, además de ser de fácil construcción y mantenimiento, produce una pérdida de carga despreciable. Las dimensiones que tiene el medidor son:

$$B_t = \text{Ancho del Canal} = 2.10 \text{ m}$$

$$B_u = \text{Ancho de la garganta} = 1.05 \text{ m}$$

$$t = \text{Altura de la solera} = 0.10 \text{ m.}$$

La medición se realiza en el exterior del canal aplicando el principio hidrostático de vasos comunicantes y con el uso de una regla graduada.

El tirante de agua en el canal es igual a $(d_u - t)$. Con este tirante se calcula el caudal mediante la aplicación de la fórmula:

$$Q = C.Bt.(du-t)^{3/2}$$

donde: C = 1.744 (para una relación Bt/Bu = 2)

Bt = 1.05 m.

Por tanto: $Q = 1.57 (du-t)^{1.5}$

2.5 ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y SALIDA.-

2.5.1 Canal principal.-

Este canal es el que conduce los desagües desde la salida del medidor hasta la caja desde la cual parte el canal de distribución. El caudal de diseño para este canal será el Qmh Entonces:

Q diseño = Qmh = 1203.86 l/s

Qmd = 869.45 l/s

Sección = Rectangular

Estructura = Concreto enlucido

Pendiente Hidráulica= 5.00 m/Km

Longitud = 10.0 m

Borde libre = 10 - 30 cm

Ancho de la Base = 2.1 m

Q = 869.45 l/s,

Entonces:

y = 0.25 m.

V = 1.63 m/s

Q = 1203.86 l/s, entonces

y = 0.31 m

V = 1.83 m/s

Altura del canal = 0.60 m

2.5.2 Canal de distribución.-

Es el canal que se encarga de llevar y repartir el caudal a cada laguna primaria.

El terreno donde se encuentra el canal de distribución tiene fuertes desniveles por lo que se han diseñado caídas a fin de poder conducir de una laguna primaria a la siguiente.

Tiene longitudes y pendientes diferentes, dado que el canal va disminuyendo sus dimensiones a medida que va aportando en las diferentes lagunas construidas.

2.5.3 Tuberías de ingreso a lagunas primarias.-

Son tuberías que conectan el Canal de Distribución con cada una de las Lagunas Primarias. El diámetro es de 10" y se empleó tuberías de asbesto cemento. Son tres ingresos construidos para cada laguna primaria.

Tubería = A.C. C-7.5

Diámetro = 10"

Coeficiente rugosidad (n) = 0.013

Pendiente hidráulica = 5 m/Km.

Qmd = 22.605 l/s,

entonces:

y = 0.129 m.

V = 0.87 m/s

Qmh = 31.30 l/s,

entonces:

y = 0.159 m.

V = 0.94 m/s

2.5.4 Descarga a laguna primaria.-

Se realiza sobre una losa de concreto simple con concreto $f'c=140$ kg/cm² cuyas dimensiones superficiales son 8.5 m x 2.0 m. y que tiene un espesor de 0.10 m.

2.5.5 Tubería de interconexión de laguna primaria y laguna secundaria.-

Esta tubería tiene características similares a las de las tuberías de ingreso a lagunas primarias ya que trabajan bajo las mismas condiciones de caudal y pendiente hidráulica. Sus características son:

Tubería	=	A.C. C-7.5
Diámetro	=	10"
Coefficiente Rugosidad (n)	=	0.013
Pendiente Hidráulica	=	5 m/Km.
Qmd	=	22.605 l/s
y	=	0.129 m.
V	=	0.87 m/s
Qmh	=	31.30 l/s
y	=	0.159 m.
V	=	0.94 m/s

2.5.6 Canal de desagüe.-

Es el canal donde se realiza la recolección de los efluentes de las lagunas secundarias y por tanto tiene la característica de poseer varios tramos con dimensiones que van aumentando conforme se va incrementando el caudal.

2.6 TRATAMIENTO PRIMARIO DE DESAGÜES.-

2.6.1 Lagunas de Establización Primarias Proyectadas.-

El caudal de diseño para las lagunas de estabilización proyectadas es el excedente del caudal promedio proyectado al año 2002. Este caudal es igual a 417.34 l/s, el cual debería repartirse entre las doce lagunas primarias; es decir, que cada una de las lagunas primarias recibiría aproximadamente 34.78 l/s.

Según los lineamientos descritos en el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto lo aconsejable sería hacer un diseño, con lagunas primarias y secundarias, con período de retención igual a 5 días cada una.

Se realizó un diseño por el método de la tasa de trabajo (modelo CEPIS) obteniendo como conclusión que las lagunas primarias deberían tener un

período de retención de 16 días y las secundarias 5 días.

Luego de hacerse una revisión de ambos métodos y evaluar los resultados en los afluentes, se consideró realizar el diseño de lagunas primarias con un tiempo de retención de 10 días y de 7 días las secundarias.

Bajo estos parámetros obtendremos los siguientes resultados:

Dimensionamiento

$$\text{Volumen} = Q_u \times P.R.$$

donde :

$$\begin{aligned} Q_u &= \text{Caudal que ingresa a cada laguna primaria} \\ &= 34.78 \text{ l/s} = 3,004.99 \text{ m}^3/\text{día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P.R. &= \text{Período de Retención (días)} \\ &= 10 \text{ días.} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen} = 3,004.99 \times 10 = 30,049.90 \text{ m}^3$$

$$\text{Area Superficial} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Profundidad}}$$

En el caso de las lagunas primarias la recomendación es que la profundidad sea de 1.8 - 2.0 m. Se asumió una profundidad de 1.8 m.

$$30,040.90 \text{ m}^3.$$

$$\text{Area Superficial} = \frac{30,040.90 \text{ m}^3}{1.8 \text{ m}} = 16,694.39 \text{ m}^2.$$

Se consideró para el diseño una relación: Largo / Ancho = 2

Calculando y ajustando a valores más convenientes se obtuvo:

$$\text{. en la base} \quad \text{Largo} = 175.00 \text{ m.}$$

$$\text{Ancho} = 86.00 \text{ m.}$$

$$\text{. en la mitad del tirante de agua} \quad \text{Largo} = 182.20 \text{ m.}$$

$$\text{Ancho} = 93.20 \text{ m.}$$

Es con estas dimensiones que se construyeron las 2 lagunas primarias en la I Etapa del Proyecto. Se esperaba obtener un **porcentaje de remoción de patógenos de 99.76%**, según lo desarrollado en la Memoria Descriptiva del Proyecto, pero luego, revisando bibliografía relacionada al diseño de lagunas de estabilización, se observó un error en las fórmulas

aplicadas, específicamente en la **Ecuación de Thirimurty**.

Dados los fines del presente trabajo, se busca verificar el diseño de las lagunas existentes, por lo que realizando los cálculos necesarios, se determinó que el caudal máximo para obtener un porcentaje de remoción de patógenos de 99.71% en las lagunas primarias y de 98.69% en las lagunas secundarias, que buscaba el proyecto, no puede ser más de **20 l.p.s.** (19.65 l.p.s. calculados), no los 35 l.p.s. proyectados, con lo que obtenemos un período de retención de 18 días para las lagunas primarias y 13 días para las lagunas secundarias. Las lagunas de estabilización que trabajan como facultativas, pueden tener un período de retención que va desde los 5 hasta los 25 días, con profundidades de 1.0 a 2.0 m.

Cálculo de los Diques.-

El borde libre se calcula en función a la longitud del mayor segmento de recta que puede ser inscrito en la laguna. Para el caso de lagunas rectangulares, esta longitud es la diagonal. La fórmula a emplear es:

$$H = 0,6 \times F^{(1/4)}$$

donde :

F = Longitud del mayor segmento de recta que se puede inscribir en la laguna (en Km.)

H = Altura de la cresta de la ola que se puede formar en la laguna (m.)
en nuestro caso:

$$F = (W^2 + L^2)^{1/2} = 196.79$$

Reemplazando datos se tiene: **H= 0.40 m.**

Considerando borde libre de 0,50 m., la altura total del dique será:

Altura del dique = 1.8 + 0.5 = 2.3 m.

Características del dique.-

Sección Transversal	=	Trapezoidal
Longitud Base Mayor	=	21.4 m.
Longitud Base Menor	=	3.0 m.
Talud típico paredes	=	1:4
Altura del Dique	=	2.30 m.
Tirante de agua	=	1.80 m.

Borde libre = 0.50 m.

2.6.2 Remoción de patógenos - Tratamiento primario.-

Se calcula la capacidad de remoción de organismos patógenos que tienen las lagunas primarias, utilizando la ecuación desarrollada por Danckwerts y por Wehner y Wilhelm, luego simplificada por Thirimurthy, modelo para un flujo disperso.

$$\frac{N_p}{N_o} = \frac{4 \cdot a \cdot e^{(1/2d)}}{(1+a)^2 \times e^{(a/2d)} - (1-a)^2 \times e^{-(a/2d)}}$$

donde :

N_p y N_o = número de bacterias coliformes fecales por 100 ml en el efluente y afluente, respectivamente.

a = constante adimensional.

a = $(1 + 4 \times K_{bp} \times PR \times d)^{1/2}$

d = factor de dispersión, en función al ancho, largo y profundidad de la laguna, definida por la ecuación de Polprasert, modificada por Saenz.

$$1.158 \times (PR \times (W+2Z))^{0.489} \times W^{1.511}$$

d = $\frac{1.158 \times (PR \times (W+2Z))^{0.489} \times W^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734} \times (L \times Z)^{1.489}}$

PR = Periodo de retención, en días = 18 días

K_{bp} = constante de decaimiento para la temperatura promedio del agua en el mes más frío, en días⁻¹

K_{bp} = $1.1 \times 1.07^{(T-20)}$

L = Largo en el medio de la laguna = 182.20 m

W = Ancho en el medio de la laguna = 93.20 m

Z = Profundidad de la laguna = 1.80 m

T = Temperatura mínima promedio del desagüe en °C (oscila entre 2 y 4°C más que la temperatura ambiental. Se asumió 3°C)

T = $13.6 + 3 = 16.6$ °C

Efectuando los cálculos:

$$K_{bp} = 0.874 \text{ días}^{-1}$$

$$d = 0.3785$$

$$a = 4.9814$$

Reemplazando datos:

$$N_p / N_o = 2.89 \times 10^{-3}$$

Como:

$$N_o = 2.8 \times 10^7 \text{ coliformes / 100 ml}$$

$$N_p = 8.1 \times 10^4 \text{ coliformes / 100 ml}$$

Porcentaje de remoción:

$$\% \text{ Remoción} = (1 - N_p / N_o) \times 100 = 99.71 \%$$

2.6.3 Remoción de carga orgánica - tratamiento primario.-

Primeramente vamos a determinar la carga orgánica que recibe cada laguna. Para ello se asume el dato de contribución de DBO de 48 gr./hab/día.

Carga total de DBO

$$C_{\text{DBO}} = \text{Poblac.} \times \text{Contrib.DBO} = 218,999 \times 0.048$$

$$C_{\text{DBO}} = 10,511.95 \text{ Kg.DBO /día (para las 12 lagunas)}$$

Carga Orgánica en cada laguna

$$C_{\text{DBO}} (\text{c/laguna}) = 876 \text{ Kg DBO/día}$$

Carga Máxima aplicable

Según el estudio de Fabián Yáñez (CEPIS/OPS, 1980)

$$CS_{\text{máx}} = 357.40 \times 1.085^{(T-20)}$$

Para $T = 16,6^\circ\text{C}$ (temperatura promedio del desagüe en el mes más frío) obtenemos:

$$CS_{\text{máx}} = 270.83 \text{ Kg DBO/Ha./día}$$

Carga Superficial removida

$$CS_{\text{remov.}} = 7.67 + 0.8063 * CS_{\text{máx.}} = 226.04 \text{ Kg DBO/Ha/día}$$

Carga superficial remanente

$$CS_{\text{reman.}} = 270.83 - 226.04 = 44.79 \text{ Kg.DBO/Ha/día}$$

Eficiencia

$$\text{Efic.} = (226.04 / 270.83) \times 100 \% = 83.46 \%$$

Carga DBO soluble en el efluente de cada laguna

$$\begin{aligned} C_{\text{DBO}} &= 44.79 \text{ Kg.DBO/Ha/día} \times 1.698 \text{ Ha.} \\ &= 76.05 \text{ Kg DBO/día} \end{aligned}$$

Carga DBO total

$$\text{Relación} \quad : \quad \text{DBO total / DBO soluble} = 1.7$$

$$\text{Entonces} \quad : \quad C_{\text{DBO total}} = 1.7 \times C_{\text{DBO soluble}}$$

$$C_{\text{DBO total}} = 1.7 \times 76.05$$

$$C_{\text{DBO total}} = 129.29 \text{ Kg DBO/día}$$

2.6.4 Dimensionamiento de trinchera de lodos.-

Se diseñó una trinchera para almacenamiento de lodos en las lagunas primarias las cuales se dimensionan tomando en cuenta que se acumulan 40 litros de lodo por cada habitante en un año.

$$\begin{aligned} \text{Volumen de lodos} &= 40 \text{ lt/hab/año} \\ \text{Período de limpieza} &= \text{cada 3 años.} \\ \text{Población Servida} &= 218,999 \text{ hab.} \\ \text{Volumen total de lodos} &= 8,759.96 \text{ m}^3/\text{año} \\ \text{Volumen por cada laguna} &= 730.00 \text{ m}^3/\text{año} \\ &= 2,190 \text{ m}^3 \text{ en 3 años} \end{aligned}$$

Dimensiones:

$$\begin{aligned} \text{Profundidad} &= 1.0 \text{ m} \\ \text{Ancho} &= 60.0 \text{ m} \\ \text{Largo} &= 60.0 \text{ m} \end{aligned}$$

2.7 TRATAMIENTO SECUNDARIO DE DESAGÜES.-

2.7.1 Lagunas de estabilización secundarias proyectadas.-

Los criterios para el Dimensionamiento de las lagunas secundarias fueron:

- El ancho de las lagunas será similar al de las primarias
- La profundidad será de 1.50 m.
- El período de retención será de 7 días.

Por consiguiente tenemos:

- Volumen de cada laguna secundaria = $Q_u \times P.R.$
- Volumen = $3,004.99 \times 7 = 21,034.93 \text{ m}^3.$
- Area Superficial = Volumen / Profundidad
= $21,034.93 / 1.50 = 14,023.29 \text{ m}^2$
- Ancho en el fondo = 88.4 m.
- Largo en el fondo = 150 m.

Cálculo de los Diques

Aplicando la fórmula obtenemos:

$$H = 0,388 \text{ m.}$$

Se consideró un borde libre de 0.50 m.

Por tanto, la altura total del dique es de:

$$\text{Altura del dique} = 1.5 + 0.5 = 2.0 \text{ m.}$$

Características del dique

Sección Transversal	=	Trapezoidal
Longitud Base Mayor	=	19.0 m.
Longitud Base Menor	=	3.0 m.
Talud típico paredes	=	1:4
Altura del Dique	=	2.00 m.
Tirante de agua	=	1.50 m.
Borde libre	=	0.50 m.

2.7.2 Remoción de patógenos - tratamiento secundario.-

De igual manera que en las lagunas primarias ahora calcularemos la capacidad de remoción de organismos patógenos que tienen las lagunas secundarias utilizando la Ecuación desarrollada por Danckwerts y por Wehner y Wilhelm, luego simplificada por Thirimurthy, modelo para un flujo disperso.

Como:

$$\frac{N_p}{N_o} = \frac{4 \cdot a \cdot e^{(1/2d)}}{(1+a)^2 \times e^{(a/2d)} - (1-a)^2 \times e^{-a/2d}}$$

donde :

- N_p y N_o = número de bacterias coliformes fecales por 100 ml en el efluente y afluente, respectivamente.
- a = constante adimensional.
- a = $(1 + 4 \times K_{bp} \times PR \times d)^{1/2}$
- d = factor de dispersión, en función al ancho, largo y profundidad de la laguna, definida por la ecuación de Polprasert, modificada por Saenz.
- $$d = \frac{1.158 \times (PR \times (W+2Z))^{0.489} \times W^{1.511}}{(T + 42.5)^{0.734} \times (L \times Z)^{1.489}}$$
- PR = Periodo de retención, en días = 18 días
- K_{bp} = constante de decaimiento para la temperatura promedio del agua en el mes más frío, en días⁻¹
- K_{bp} = $1.1 \times 1.07^{(T-20)}$
- L = Largo en el medio de la laguna = 156.00 m
- W = Ancho en el medio de la laguna = 94.40 m
- Z = Profundidad de la laguna = 1.50 m
- T = Temperatura mínima promedio del desagüe en °C (oscila entre 2 y 4°C más que la temperatura ambiental. Se asumió 3°C)

$T = 13.6 + 3 = 16.6^\circ\text{C}$

Efectuando los cálculos:

$K_{bp} = 0.874 \text{ días}^{-1}$

$d = 0.5456$

$a = 5.0791$

Reemplazando datos:

$N_p / N_o = 1.3 \times 10^{-2}$

Como:

$N_o = 8.1 \times 10^4 \text{ coliformes / 100 ml}$

$N_p = 1060 \text{ coliformes / 100 ml}$

Porcentaje de remoción:

$\% \text{ Remoción} = (1 - N_p / N_o) \times 100 = 98.69 \%$

2.7.3 Remoción de carga orgánica - tratamiento secundario.-

La carga orgánica a la salida de cada laguna primaria es:

$$C_{\text{DBO}} = 129.9 \text{ Kg.DBO/día}$$

Carga Superficial en el afluente

$$C_{\text{DBO}} = 129.29 \text{ Kg DBO/día}$$

$$\frac{\text{-----}}{\text{-----}} = \frac{\text{-----}}{\text{-----}} = 87.95 \text{ Kg DBO/Ha/Día}$$

$$\text{Area} = 1.47 \text{ Ha.}$$

Tomaremos como dato:

$$CS_a = 90 \text{ Kg DBO/Ha/día}$$

Carga superficial removida

$$CS_{\text{remov.}} = -0.80 + 0.765 * CS_a = 68.05 \text{ Kg.DBO/Ha/día}$$

Carga superficial remanente

$$CS_{\text{reman.}} = 90 - 68.05 = 21.95 \text{ Kg.DBO/Ha/día}$$

$$CS_{\text{reman.}} = 21.95 * 1.47 \text{ Ha} = 32.27 \text{ Kg.DBO/día}$$

Eficiencia

$$\text{Efic.} = (68.05 / 90) * 100 \% = 75.61 \%$$

CAPITULO III
PROCESO CONSTRUCTIVO
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESAGÜES

3.1 INTRODUCCIÓN.-

En el presente capítulo, desarrollaremos el proceso que se siguió en la construcción de las lagunas de estabilización de la ciudad de Tacna (LET), poniendo mayor énfasis en los trabajos de movimiento de tierras e impermeabilización.

La construcción de las LET en su I Etapa, fue una obra ejecutada por Convenio entre la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tacna (EMAPA) y la Municipalidad Provincial de Tacna (MPT), encargando la primera los trabajos de movimiento de tierras e impermeabilización de las lagunas a la MPT, dado que esta contaba con la capacidad técnica y operativa para ejecutar dichos trabajos.

Las obras de arte y trabajos en concreto armado, fueron ejecutadas por EMAPA bajo la modalidad de Administración Directa.

En virtud del Convenio No. 016-94 celebrado entre la MPT y EMAPA, los primeros ejecutaron las siguientes partidas de la obra:

1.0 MOVIMIENTO DE TIERRAS

- 1.01 Excavación masiva en T.N. c/maquinaria
- 1.02 Suministro de material propio para diques
- 1.03 Suministro de material de préstamo para diques
- 1.04 Relleno y compactación de diques
- 1.05 Peinado de taludes
- 1.06 Eliminación de material excedente

2.0 REVESTIMIENTO CON MATERIAL IMPERMEABILIZANTE FONDOS

- 2.01 Suministro de agregado grueso - fino seleccionado
- 2.02 Colocación de protección agregado grueso - fino $e=0.15$ m.
- 2.03 Suministro y colocación material impermeabilizante $e=0.05$ m.

3.0 REVESTIMIENTO CON ASFALTO TALUDES

3.01 Carpeta asfáltica e=1.5 pulgadas

En adelante desarrollaremos las partidas señaladas, incluyendo las relacionadas a estos trabajos y no contempladas en el presupuesto contratado.

3.2 MOVIMIENTO DE TIERRAS Y REVESTIMIENTOS - L.E.T.-

1.0 TRABAJOS PRELIMINARES

1.1 Limpieza y desforestación.-

La limpieza y desforestación consisten en limpiar el área señalada en planos, hasta 3 metros más allá del pie del talud exterior de las lagunas. Se eliminan los árboles, obstáculos ocultos, arbustos y otra vegetación, basura y todo el material inconveniente, incluye el desenraizamiento y el retiro de todos los materiales inservibles que resulten de la limpieza y desforestación. Se remueve de 30 a 40 cm. del suelo natural existente o el espesor necesario hasta encontrar una rasante que se considerará como fundación del dique o laguna.

1.2 Almacén y caseta de guardianía.-

La MPT habilitó, con carácter de provisional y una vez realizada la entrega del terreno, las instalaciones básicas para una perfecta organización y dirección de la obra.

Se entregó a la Supervisión un ambiente adecuado para cumplir con sus funciones así como un comedor, vestuario e instalaciones higiénicas para el personal de obra.

1.3 Trazo y replanteo de obra.-

Inicialmente, nos encargamos de replantear el íntegro del terreno asignado a la Nueva Planta de Tratamiento de Desagües de la Ciudad de Tacna, la cual se ubica al Sur-Oeste de la ciudad entre el Km. 3.2 y 5.2 de la Carretera

a Boca del Río (Anexo No. 05, Gráfico 01), basados en las visuales que para tal efecto se mostraban en los planos de estudios.

El lado paralelo a esta carretera mide 2 003.18 m. Los siguientes lados (siguiendo el sentido horario) miden 803.34 m; 780.96 m; 632.69 m; 1200.93 y 3001.97m. respectivamente. Los límites indicados encierran un área total de 362.25 Has.

Luego, se volvió a ejecutar un levantamiento topográfico en la zona de construcción de las cuatro lagunas, con curvas de nivel a cada metro, con la finalidad de llevar un mejor control de los avances de obra. Se colocaron B.M. auxiliares en diferentes puntos del terreno, especialmente a 30 m. de los ejes principales de las lagunas.

Debemos tener en cuenta que el emisor principal ya estaba construido, es decir, teníamos un punto con una cota de arranque definida a partir de la cual se daría inicio al canal principal, estructuras de medición y canal de distribución de las lagunas, con lo cual se definió las cotas de las lagunas de estabilización. Fueron importantes entonces los nuevos planos de replanteo de curvas de nivel, dado que con estas se vio la necesidad de realizar una ligera rotación al alineamiento de las lagunas con la finalidad de reducir el volumen del movimiento de tierras a ejecutar en esta primera etapa y en las futuras a construir (Anexo No. 05, Gráfico 02).

El criterio que se debe seguir para la construcción de las lagunas de estabilización es procurar un movimiento de tierras compensado, es decir, que la excavación produzca el material necesario para la construcción de los diques. En otras palabras, el corte debe compensar el relleno.

Pero existe otro criterio tan o más importante que el mencionado, y es el costo de las actividades involucradas. Para definir el trazo es necesario tener en cuenta que el costo del m³ de excavación y de eliminación de material excedente es mucho más económico que el costo de las partidas involucradas en la conformación de los diques de las lagunas (suministro de material propio para diques, suministro de material de préstamo para diques, relleno y compactación de diques). Por esta razón, se buscó en todo

momento tener un perfil de corte similar al mostrado en los Gráficos No. 03 y No. 04 del Anexo No. 05.

2.0 MOVIMIENTO DE TIERRAS

2.1 Excavación masiva terreno normal.-

Las excavaciones se ejecutan con el objeto de obtener los niveles deseados para el fondo, así como para formar las secciones del proyecto.

Una vez que todo el área de la laguna fue trazada, estacada y nivelada, se dio inicio a la excavación hasta la cota del piso señalada en los planos.

Debe existir secuencia constructiva a fin de garantizar que el material de relleno para la formación de taludes con material propio de la excavación, se obtenga luego de la limpieza y desforestación y no queden dentro del relleno materiales como árboles, arbustos, vegetación, basura y otros que puedan comprometer la estabilidad de los diques con el paso de los años.

La partida consiste en la excavación y explanación de la laguna, en la excavación y retiro del material inapropiado para la formación de los diques y en la excavación y selección del material apropiado para los mismos.

No se debe permitir la excavación y el empleo de material contiguo a la zona estacada para la laguna, comprendida entre los 30 metros a partir del pie interior del dique de la laguna.

El grado de acabado en la explanación de taludes y fondo de la laguna deberá ser aquél que pueda obtenerse ordinariamente mediante el uso de una motoniveladora, un cargador frontal o con palas a mano, según los casos.

Para los trabajos en las LET se contó con un tractor D7-F y un tractor D8-H, los mismos que tuvieron rendimientos diferentes, como se espera de su capacidad.

Para los trabajos de excavación en la trinchera de lodos, la M.P.T. dispuso una retroexcavadora de oruga de 126 H.P.

Para un mejor rendimiento de los tractores se procuró un control topográfico detallado de los avances diarios, con lo cual el Residente de Obra podía en todo momento conocer el avance y, de ser el caso, disponer las medidas correctivas necesarias. Asimismo, es importante que la distancia de acarreo

sea la menor posible, en nuestro caso la distancia mayor fue de 50 m., con lo cual se obtuvieron importantes avances.

2.2 Suministro de material de préstamo para diques

Esta partida consistió en la extracción y empleo de material de préstamo, de acuerdo a las especificaciones técnicas para la formación de terraplenes y taludes o ejecución de rellenos en particular.

Se empleó en la obra material de préstamo para la formación de los diques en relleno, empleando material limo arcilloso con baja plasticidad que actuó como "liga" y en un porcentaje no menor del 15% del total del relleno.

Se inició el suministro de material de préstamo de una cantera ubicada a 5 Km. de la obra, la que se desestimó debido a que no cumplía los requerimientos granulométricos del expediente técnico.

Luego se explotó una cantera de material fino ubicada a aproximadamente 12 Km. de la obra (al ingreso del Asentamiento 5 y 6 de La Yarada), con la cual se tuvo un ciclo de aproximadamente 45 minutos por volquete.

En el Anexo No. 07 Certificado No. 0084 se aprecia el Ensayo de Granulometría de esta última cantera, clasificándose como limo de baja plasticidad.

En trabajos de este tipo el préstamo procede cuando no se encuentra cantidad suficiente de material adecuado proveniente de la excavación de la laguna de acuerdo con las alineaciones, rasantes y dimensiones marcadas en los planos.

Se debe tener en cuenta que la parte superior de los terraplenes y el relleno de los cortes sobre excavados debe ser construido con material de préstamo selecto para acabados o material escogido y reservado para este fin desde la excavación.

2.3 Relleno y compactado de diques para lagunas.-

2.3.1 Relleno con material propio.-

Los rellenos forman parte importante en trabajos de este tipo y si su construcción no es cuidadosamente ejecutada puede que sufran fallas,

asentamientos, corrimientos, etc. haciendo que toda la obra ejecutada resulte defectuosa y peligre su integridad, por lo que aquí hay que tener especial atención.

Los diques separadores y perimétricos de cada una de las lagunas, se ejecutaron con el material del sitio o área de trabajo de acuerdo con las especificaciones y de conformidad con los alineamientos, rasantes, secciones transversales y dimensiones indicadas por los planos. Se empleó material de préstamo en un mínimo del 15% del volumen total de relleno.

El material empleado en el relleno es básicamente el proveniente de la excavación, por cuanto reúne las características requeridas en el Expediente Técnico de la obra.

En el momento de la formulación del presupuesto se ejecutaron calicatas con una profundidad de 2.5 metros en el terreno asignado a la obra, habiéndose definido 4 estratos bien marcados (Anexo No. 06, Esquema 01) con espesores de 0.15 m., 0.35 m., 0.20 m., y 1,80 m. respectivamente. Se realizaron los análisis granulométricos correspondientes (Anexo No. 06, Curva granulométrica a y b) encontrando un suelo con clasificación SM para la capa 1 y 3, y GP para el resto, determinándose que dicho material era adecuado para la construcción de los rellenos de diques, empleando la mayor proporción posible del suelo SM como liga del agregado grueso.

En el Anexo No. 07 se aprecia el Certificado de Laboratorio No. 0022, con los resultados del Ensayo de Plasticidad del material de la zona de excavación, que muestra un L.L. de 16.8% y 0% de L.P. y I.P.

Debido a que la cantidad de piedras grandes es mínima con respecto al volumen del material acumulado, se procedió a realizar la selección de este material en forma manual, ejecutándose con el material extendido en la zona de relleno. Para asegurar este trabajo se tuvo alrededor de 7 peones por motoniveladora, realizando la selección del material grueso.

Se debe tener en cuenta que todo trabajo de limpieza y desforestación debe ser ejecutado en el área de los terraplenes antes de que se empiece la construcción de ellos.

Parte del material conveniente proveniente de las excavaciones, fue empleado

en la formación de terraplenes y taludes, realizándose una perfecta homogenización con el resto de agregados, previamente seleccionados y empleando motoniveladoras y personal suficiente para estos trabajos.

En el Anexo No. 07, se adjunta el Certificado No. 00074, Ensayo de Granulometría del material empleado en el relleno de diques, el 94-08-10, observándose que la curva se ajusta a lo requerido dentro de los husos granulométricos recomendados para subrasante.

El aprovechamiento de este material, además de reunir las exigencias necesarias para la construcción de una estructura de tierra (dentro de los materiales existentes en la zona), implica la ejecución del respectivo movimiento de tierras el cual es necesario para lograr un nivel uniforme del relleno y fondo de cada una de las lagunas.

El uso de taludes 4:1 ejecutado reúne los requisitos necesarios tendientes a garantizar la estabilidad de dichos diques, ya que estos diseños involucran adecuados coeficientes de seguridad contra las fallas por cimentación de los diques, desestabilización de taludes y tubificación.

El talud de tierra se acabó hasta presentar una superficie razonable llana y de acuerdo con los planos del proyecto, tanto en el aspecto de alineamiento, como en las secciones transversales.

2.3.2 Compactación.-

Habiéndose alcanzado el nivel del fondo de lagunas y diques, en cada caso después de haber realizado el corte necesario, se procedió a escarificar, estabilizar granulométricamente (eliminándose los fragmentos mayores de 4") y compactarse los 0.50 m. por debajo de la superficie del fondo, hasta lograr una densidad no menor del 100% de la máxima obtenida con el Proctor Modificado.

El material para la formación de los diques en relleno se colocó en el terraplén empleando cargadores frontales de 3.5 y 4.0 yd³, así como volquetes de 5, 6 y 10 m³ de la M.P.T., los mismos que eran colocados buscando formar capas horizontales de 30 a 40 cm. de espesor en todo el ancho de la sección, esparcidas suavemente con motoniveladora de 162 H.P. o similares.

Los rellenos por capas horizontales deben siempre ser ejecutados en una longitud que haga factible los métodos de acarreo, mezcla, riego o secado y compactación usuales.

A fin de asegurar que piedra o roca en terraplenes de tierra no excedan de 10 cm. medidos en su espesor máximo, se contó con personal que acompañaba a las motoniveladoras (alrededor de 7 peones por cada una) y realizaba una selección manual de este material.

Cada capa del dique o terraplén debió ser humedecida a un contenido de humedad necesaria (humedad óptima) para asegurar la compactación máxima. Se hicieron ensayos de laboratorio de Proctor modificado, obteniéndose una humedad óptima del 8% y una densidad máxima del orden de 2.06 gr/cm³.

En el Anexo No. 07 se adjunta los Certificados de Laboratorio No. 00162 y No. 00164, Ensayos de Compactación por el Método Proctor Modificado, observándose los resultados señalados.

Para lograr esta humedad se empleó tanques cisternas de 2200, 2500, 3500 y 5000 Gln. de la M.P.T. los mismos que tuvieron como fuente de abastecimiento la Planta de Tratamiento de Agua de Alto Lima, ubicada a 25 Km. de la obra y algunas veces el canal Uchusuma a 5 Km. de la obra.

Resumiendo, tenemos entonces que los volquetes acumulaban en el terraplén el mejor material propio proveniente de la excavación, luego la motoniveladora esparce el material de relleno a lo largo y ancho necesarios de acuerdo a planos. Sobre este material extendido se colocó el material ligante de préstamo procediendo a un primer batido u homogenización en seco.

Seguidamente las cisternas aplican la cantidad de agua necesaria para llevar la humedad del material de relleno lo más cerca posible de la humedad óptima, calculando el número de pasadas de la cisterna según el volumen de material depositado.

Para asegurar un material uniforme, se mezcla el material usando la motoniveladora, habiéndose calculado un promedio de seis a ocho "vueltas" o "pasadas" al material como las necesarias para que en nuestro trabajo, el material de relleno quede uniforme y homogéneo. La piedra o roca mayor de

10 cm. se extrae en forma manual por la poca cantidad de este material, habiéndose observado que con siete a diez obreros por motoniveladora se lograba el objetivo de eliminar el material excedente, disminuyendo grandemente los costos, comparándolo con el zarandeo mecánico que también se suele emplear para los mismos objetivos.

Luego, cada capa de material de relleno fue compactada mediante equipo pesado, empleándose rodillos lisos vibratorios de 11 Tn.

El material de cada capa se compactó hasta lograr como mínimo el 95% de la densidad obtenida en laboratorio, mediante el ensayo de Proctor modificado, lográndose esto luego de 5 a 7 pases con el rodillo vibratorio por capa de 30 cm., lográndose 1500 m³ por jornada.

Cualquier irregularidad o depresión que se presenta después de la compactación de cada capa, debe ser corregida debiendo añadir o retirar material, hasta que la superficie sea llana y uniforme.

2.3.3 Control.-

Para la aceptación de la colocación del material en los diques de las lagunas, se exigió una media de la totalidad de los ensayos de densidad de campo no menor del 95 % en relación a la máxima lograda según el Proctor modificado. Se permitía, asimismo, que solamente un 5 % del total de pruebas se sitúen por debajo del 95 % de la máxima indicada. Ello significa que se acepta un "límite de calidad" del 5 % del máximo, menor que la media.

Es importante señalar que en los casos en que no se alcanza el mínimo requerido, se incrementa el número de pasadas del rodillo, procurando dar la humedad óptima al material (por evaporación o por regado de las cisternas). En el Anexo No. 07, se aprecia los Certificados de Laboratorio No. 347 y 350, con resultados de la Densidad de Campo encontrada en el proceso de formación de los diques de relleno.

2.3.4 Afirmado.-

Este trabajo se ejecuta después que el terraplén está completamente terminado y todas las estructuras y tuberías han sido instaladas y rellenas.

Todo el material blando o inestable que no es factible de compactar o que no sirve para el propósito señalado debe ser removido.

El material afirmado estará formado por partículas o fragmentos de piedra o grava dura y durables y un relleno de arena u otro material mineral finamente dividido. La porción del material retenido en una malla No. 4 se denomina agregado grueso y aquella porción que pase por la malla No. 4 será llamado relleno.

2.4 Peinado de taludes.-

Todas las áreas que forman la laguna, excavaciones, taludes, áreas de transición, deben ser uniformemente terminadas, tal como se indican en los cortes de los planos. El terminado será razonablemente alisado, compactado y libre de toda irregularidad y será el que se obtiene con motoniveladora, cargador frontal u otro equipo similar. El terminado no variará en 3 cm. del indicado en los planos.

En los taludes de las lagunas de estabilización, se tuvo para el terminado o peinado de taludes la participación primero del tractor D7F y D8H, quienes cortaron el material excedente en los diques en corte,

Seguidamente se tuvo un corte más fino empleando cargadores frontales de 3.5 ó 4 yd³. los cuales ejecutaron los cortes en el talud 1:4 desde la parte superior de la corona hacia abajo.

El acabado final, lo dio el paso de la motoniveladora de 145 y 162 H.P., la que no tuvo inconvenientes para poder ejecutar el trabajo en el talud inclinado. Además, para este trabajo se contó con una cuadrilla de obreros que en forma manual terminó el trabajo. Como se exigía una compactación previa a la colocación del imprimado de taludes, se optó por realizar dicho trabajo en forma manual con pisonés de concreto y con el rodillo liso de 1.5 Tn. en posición inclinada, ayudado con otra unidad que le evite el volteo o su deslizamiento (volquete y tractor de arado).

2.5 Eliminación de material excedente.-

En el Convenio de la referencia, se definió como zona de eliminación del

material excedente la zona límite de propiedad de EMAPA, definiéndose en 500 m. la distancia a la zona de eliminación.

Se realizaron campañas de eliminación de material excedente, para lo cual se contó con el concurso de cargadores frontales de 3.5 y 4.0 yd³., así como volquetes de 5, 6 y 10 m³. de la M.P.T., los mismos que tuvieron rendimientos y/o ciclos variables, debido sobre todo a desperfectos en las máquinas, un sistema de eliminación que al inicio de obra no fue el más adecuado y a las dificultades propias de la obra, en cuanto a la distancia al punto de entrega o descarga del material.

La zona de eliminación inicial se ubicó a unos 300 m. de la laguna primaria No. 01, fuera de los linderos de la P.T.D.

Se definió una zona de eliminación de material a la cual llegaban los volquetes y volteaban la tolva en forma no ordenada, logrando que en poco tiempo la zona de eliminación quede reducida y el desorden creado originaba un lento desplazamiento de los volquetes y muchas veces su atollamiento.

Se decidió por eso buscar otra zona de eliminación en la cual el material se fue colocando ordenadamente, formando un pequeño cerro con la ayuda de un tractor que emparejaba la corona y facilitaba el traslado de los volquetes.

Es importante que las vías de acceso cuenten con el mantenimiento adecuado (cisternas y motoniveladora) a fin de mejorar el rendimiento de los volquetes y el tiempo de duración de los ciclos.

3.0 REVESTIMIENTOS.-

3.1 Revestimiento de fondos

La impermeabilización del fondo de las Lagunas, se ejecutó mediante la colocación de una capa de material fino (con similares características que el ligante que se empleó como material de préstamo en el relleno) de 5 cm. de espesor, sobre el fondo nivelado de las lagunas. El material impermeabilizante siempre debe estar libre de materia orgánica o basura, además estará pulverizado de tal modo que esté graduada en la forma siguiente:

	Porcentaje que pasa
Tamiz ¼"	100%
Tamiz No. 40	80%

Esta capa de material impermeabilizante se colocó en el fondo de la laguna con camiones volquete. Luego fue esparcido con la motoniveladora y finalmente humedecida y compactado con el rodillo liso vibratorio en todo el área de la laguna.

Sobre la capa de material impermeabilizante, a fin de protegerla del lavado o remoción tanto por la acción de las aguas como al momento de la limpieza de lagunas, se colocó una capa protectora de 0.15 m. de espesor.

Como material de protección se empleó el material existente en la zona, proveniente de la excavación, de características granulométricas similares a las empleadas en la construcción del dique, excluyendo las partículas mayores de 2" en su dimensión mayor.

La forma de colocación en el fondo de la laguna es similar a la del material impermeabilizante.

3.2 Revestimiento de taludes

Inicialmente, se proyectó que los taludes de las lagunas de estabilización deberían ser impermeabilizados empleando un revestimiento con una capa de concreto asfáltico de 1.5" de espesor. Se colocaría una base granular graduada de un espesor de 0.10 m. sobre los taludes previamente peinados y compactados hasta los límites o niveles indicados en los planos. Sobre la base granular perfectamente compactada y nivelada se colocaría una capa de imprimado con un riego asfáltico de curado medio o rápido, a un régimen comprendido entre 0.4 a 0.6 galones por metro cuadrado. Sobre la capa de imprimado iría una capa de asfalto de un espesor de 1". La preparación de la mezcla asfáltica, el esparcido y compactado se realizarán con la maquinaria más adecuada para estos fines y cumpliendo todos los requisitos de su colocación en carreteras.

Luego se debe realizar el sellado de la carpeta asfáltica empleando una capa de 0.6 gln. de cemento asfáltico por metro cuadrado.

Este proceso constructivo fue dejado de lado durante la ejecución de la obra. Se optó por eliminar la colocación de la carpeta asfáltica y darle un tratamiento con una bi-capa de asfalto para la impermeabilización de los taludes de las lagunas. Esto debido a la calidad de experimentación que tuvo la construcción de estas lagunas, los primeros 02 pares de un total de 12 proyectadas y por la poca experiencia que se tiene en el país con este tipo de revestimiento. También tuvo mucho que ver la dificultad existente para que la maquinaria necesaria para la colocación de la carpeta asfáltica pueda trabajar en un talud 1:4, como se muestra en las lagunas, particularmente la pavimentadora y los rodillos liso y neumático.

Por tal razón, se eliminaron de las actividades a ejecutar lo relacionado a la base granular de 10 cm. y la colocación de la carpeta asfáltica de 1" de espesor, resultando un menor costo por ejecución de obra.

Sobre los taludes debidamente peinados con motoniveladora de 162 H.P. y compactados con el rodillo liso de 1.5 Tn., se colocó una capa de imprimado con un riego asfáltico de curado medio o rápido, a un régimen comprendido entre 0.4 a 0.6 galones por metro cuadrado, dependiendo si la superficie a imprimir está más "abierta" o más "cerrada", y en una proporción de 8 partes de asfalto líquido RC-250 y 2 partes de kerosene industrial.

Este asfalto líquido se colocó mediante un camión imprimador, el cual cuenta con una barra y una manguera extendidora para lograr un recubrimiento adecuado en los taludes de los diques. El material asfáltico debe ser aplicado en forma continua, a fin de que la membrana no presente poros ni oquedades, teniendo especial cuidado en la distribución de este material en las zonas correspondientes al encuentro del pie del talud del dique con el fondo de la laguna, recomendándose para evitar irregularidades en la aplicación del asfalto que se redondee dicho encuentro.

Luego de la imprimación se ejecutó el arenado de la misma, procediéndose después a la colocación de la segunda capa de imprimado o sello de la impermeabilización en taludes.

3.3 OBRAS DE ARTE Y CONCRETO ARMADO - L.E.T.

Como señalamos en líneas anteriores, la ejecución de la obra “**Lagunas de Estabilización – Planta de Tratamiento de Desagües de la ciudad de Tacna – I Etapa**” se dividió en dos partes, lo correspondiente a movimiento de tierras e impermeabilización que fue ejecutado por convenio con la M.P.T. y lo correspondiente a obras de arte y concreto armado, ejecutado por EMAPA bajo la modalidad de Administración Directa.

Se realizaron una serie de trabajos los que describiremos a continuación:

3.3.1. Canal principal, estructura de medición y cámara de rejas.-

La construcción del canal principal involucra la ejecución de la cámara de rejas, canal by-pass y medidor Palmer Bowlus. El ritmo de avance de estos trabajos y de los canales ejecutados posteriormente, fue bastante lento, empleándose el personal mínimo sobre todo por el retraso en la entrega del movimiento de tierras ejecutado por la M.P.T.

El canal principal tiene una longitud de 63.62 m., habiéndose construido en tres tramos de aproximadamente 21 m. cada uno, entre los cuales se colocó juntas con Water Stop P.V.C. de 6”, y juntas de dilatación a cada 2.40 m.

Primeramente se realizó la excavación del terreno conglomerado en forma manual y empleando la retroexcavadora Massey Ferguson de EMAPA. Se niveló y compactó el fondo del canal, para colocar luego la armadura correspondiente a la losa de fondo y muros del canal. Esta armadura consistió en fierro corrugado de diámetro 3/8” espaciados cada 25 ó 30 cm en ambos sentidos. Luego se vació el concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$ correspondiente a esta losa de fondo, dejándose el acabado pulido del piso para el final de la obra. Seguidamente se inició el encofrado caravista de muros, con un espesor de 15 cm. y una altura de aproximadamente 1.60 m. en el primer tramo y 1.30 m. en el segundo y tercer tramo. Es importante indicar que en el primer tramo se incluye la cámara de rejas y canal by-pass y en el segundo tramo el medidor de caudales Palmer Bowlus construidos.

Concluido el encofrado caravista de muros, se procedió al vaciado de concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$. Para este trabajo, al igual que en el resto de muros del canal

se empleó una vibradora de concreto de 5 H.P. y diámetro 2", además de las mezcladoras de concreto de 11 p3 y 7 p3 propiedad de EMAPA.

En aguas servidas, los gases orgánicos y gases ácidos así como los sulfatos y sulfuros que contienen las aguas, hacen que el concreto expuesto presente un rápido deterioro si no se toman las medidas necesarias para evitarlo.

En ese sentido, lo recomendable era emplear Cemento Tipo II o Tipo V, que tienen un mejor comportamiento en obras de este tipo, pero por razones de disponibilidad en el mercado local se tuvo que emplear Cemento Tipo I, de uso general.

Con la finalidad de asegurar la calidad de la obra, se puso mucho mayor interés en los otros factores que afectan la calidad del concreto, como ser la proporción de agregados, la relación agua/cemento para una mejor durabilidad, la consolidación adecuada que se dio con la vibración permanente del concreto colocado, el curado posterior del concreto, la preparación y puesta en obra de la mezcla, etc. Todos estos factores determinaron que a la fecha, 5 años después de su construcción, las estructuras no presenten ningún indicio de deterioro o desperfectos menores o mayores de ningún tipo.

Los agregados empleados en el concreto fueron provenientes de la excavación de las lagunas zarandeados en obra buscándose la combinación de agregados a fin de que se cuente con una curva dentro de los husos granulométricos recomendados por el ACI (Anexo No. 07, Curva Granulométrica del 94.08.12).

3.3.2 Canal de distribución y canal de aguas tratadas.-

Luego de concluido el canal principal y al no estar terminados los diques para continuar con el canal de distribución, se construyó el canal de recolección de aguas tratadas (canal de desagüe), el cual tiene las siguientes dimensiones: $b=0.40$ m., $h=0.45$ m., espesor de muros y losas = 15 cm., pendiente variable de acuerdo a la topografía del terreno, considerando las mínimas que planteaba el Expediente Técnico.

Este canal se construyó en tramos de aproximadamente 27 m. con juntas

water stop P.V.C. de 6" entre cada tramo, con armadura de 3/8" a cada 30 cm en ambos sentidos y concreto $f'c=175 \text{ Kg/cm}^2$. La secuencia constructiva tuvo el mismo procedimiento que en los canales anteriormente descritos.

Concluido este canal de desagüe se ejecutó el canal de distribución, el cual tuvo las siguientes dimensiones:

- Laguna Primaria No. 01: $b = 1.20 \text{ m.}$, $h = 0.90 \text{ m.}$, $S_{prom} = 1.22 \text{ m/Km.}$

- Laguna Primaria No. 02: $b = 1.10 \text{ m.}$, $h = 0.80 \text{ m.}$, $S_{prom} = 1.29 \text{ m/Km.}$

Ambos tuvieron características similares al canal principal.

3.3.3 Caja afluente, de interconexión y salida de lagunas.-

Luego se construyeron las 03 cajas de ingreso a cada laguna primaria, las 03 cajas de interconexión entre cada laguna primaria y secundaria y las 3 cajas de salida de lagunas secundarias, las que se ejecutaron de acuerdo a lo señalado en el Expediente Técnico, con la diferencia de que los planos de estudio indicaban la colocación de baffles y compuertas de madera en cada una de estas cajas, pero se prefirió colocar compuertas de P.V.C. de 4 y 8 m.m. de espesor, por su mayor durabilidad en contacto con el agua.

Se colocaron 120 m. de tubería A.C. diámetro 10" en los ingresos, interconexiones y salidas de lagunas. Se construyó una losa de concreto simple en los taludes y a la salida de las cajas afluentes y de interconexión entre lagunas, con un espesor de 10 cm. y 10 m. de longitud cada una.

3.3.4 Estructura de desagüe de lagunas primarias.-

Se realizó la colocación de 48 m. de tubería A.C. diámetro 8" en el desagüe de las lagunas primarias No. 01 y No. 02.

Para el funcionamiento de este desagüe se construyó dos cajas de concreto armado para ayudar a la evacuación de las aguas de las lagunas cuando se requiera realizar mantenimiento y/o ante alguna eventualidad. Estas cajas de concreto armado o arquetas, tienen para su control de niveles dos filas de planchas de P.V.C. de 4 mm. de espesor y dimensiones 0.40 x 0.20 m. Entre ellas se colocó material cohesivo saturado, el mismo que debe controlar las filtraciones que pudieran ocurrir por esta caja de desagüe.

Para la colocación de la tubería A.C. diámetro 8" se hizo la excavación de la zanja en el dique, empleando la retroexcavadora de EMAPA, realizándose el relleno y compactación en capas de 15 cm. con material cohesivo saturado y empleando una compactadora tipo plancha de 7 H.P.

3.3.5 Caseta de Guardianía y Laboratorio de la Planta de Tratamiento de Desagües.-

Esta construcción consta de cuatro ambientes, a saber: laboratorio, caseta de guardianía, depósito y servicios higiénicos, los que ocupan en total un área techada de 45.80 m². Se construyeron los muros con bloquetas de concreto vibradas, con un espesor de 15 cm., las cuales se arriostraron con columnas y vigas chatas y peraltadas, con características diferentes y que mostramos en los planos de replanteo de obra que se adjuntan.

En cuanto a los acabados de obra, se colocaron cuatro puertas de madera machiembrada y cinco ventanas de carpintería metálica de diversas dimensiones, con las medidas de seguridad que el caso requiere. Los muros tienen como revestimiento un acabado tarrajado de 1.5 cm. de espesor con mezcla 1:5 cemento:arena, sobre lo cual se colocó pintura base. Las instalaciones eléctricas y sanitarias de la construcción se encuentran a nivel de puntos no habiéndose realizado los acabados al no contarse en las instalaciones con los servicios de agua ni electricidad, y por no encontrarse presupuestados en la I Etapa de la obra.

3.3.6 Puente.-

Adicionalmente, se construyó un puente de concreto armado con $f'c=210$ Kg/cm² y $f_y=4200$ Kg/cm², con una luz de 1.70 m. y ancho de 4.00 m. Este puente sirve para el acceso de vehículos ligeros y pesados, hasta de 24 Tn., tanto para la inspección rutinaria de los trabajos en la planta, como en caso de limpieza de las lagunas.

La obra concluyó satisfactoriamente el 10 de Marzo de 1995, con los últimos resanes y limpieza de la zona.

CAPITULO IV
PROGRAMACIÓN DE OBRA
LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE LA CIUDAD DE TACNA

4.1 INTRODUCCIÓN.-

En el presente capítulo, analizaremos la programación y presupuesto de la obra "Lagunas de Estabilización de la Ciudad de Tacna", poniendo mayor énfasis en los trabajos de movimiento de tierras e impermeabilización de fondos y taludes de lagunas. Según el Convenio No. 016-94 celebrado entre la MPT y EMAPA, los primeros ejecutaron el siguiente presupuesto de obra:

PRESUPUESTO DE OBRA

Partida No.	Descripción	Und	Cantidad	Precio Unitario	Sub-total
01.00	Movimiento de tierras				
01.01	Excavación masiva T.N. c/maquinaria	M3	106,567.67	1.31	139,603.65
01.02	Suministro material propio p/ diques	M3	16,186.47	3.30	53,415.35
01.03	Suministro material préstamo p/diques	M3	2,856.43	9.11	26,022.08
01.04	Relleno y compactación de diques	M3	19,042.90	3.44	65,507.58
01.05	Peinado de taludes	M2	20,101.02	0.53	10,653.54
01.06	Eliminación material excedente 500 m.	M3	86,596.31	2.05	177,522.44
02.00	Revest. c/mat. Impermeabiliz. Fondos				
02.01	Sumn. Agregado grueso-fino seleccion.	M3	8,385.00	1.62	13,583.70
02.02	Coloc. Protec.agregado grueso-fino e=.15	M3	8,385.00	0.89	7,462.65
02.03	Sumn. Y coloc. Mat. Impermeab. E=.05 m	M3	2,795.00	8.53	23,841.35
03.00	Revestimiento con asfalto taludes				
03.01	Carpeta asfáltica e=1.5 pulgadas	M2	20,101.02	10.30	207,040.51

Costo Directo 724,652.85

Gastos Generales (15%) 108,697.93

Costo Total 833,350.78

I.G.V. (18%) 150,003.14

TOTAL GENERAL SI. 983,353.92

En adelante desarrollaremos las partidas señaladas, analizando los rendimientos obtenidos en obra y comparándolos con el proyecto original.

4.2 ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y COSTOS UNITARIOS DE OBRA.-

4.2.1 Movimiento de tierras.-

a) **Excavación masiva en terreno normal con maquinaria**

Del Expediente Técnico, observamos que se proyectó un rendimiento de 650 m³/8h (81.25 m³/hora) para un tractor D7 de 200 H.P.. Asimismo, se consideró el aporte de 1/10 de Capataz y 1 peón con herramientas para esta partida, obteniendo un costo de S/. 1.31/m³ de material excavado en el presupuesto base.

Los trabajos de excavación masiva se iniciaron el 94.06.15 con la participación de un tractor tipo oruga Cat. D7-F, el mismo que trabajó en obra hasta el 94.07.21. Realizó excavaciones en la laguna primaria No. 01, secundaria No. 01 y 02, obteniendo rendimientos bastante aceptables, incluso de 105 m³/hora y más, estimando como buen promedio los 90.1 m³/hora registrados en el Cuadro No. 01. Esto se logró sobre todo porque el terreno de excavación que se encontró fue un material suelto (suelo limo-arenoso en la superficie y conglomerado poco cementado en capas inferiores) y porque la distancia de acarreo fue de alrededor de 45 a 50 m.

RENDIMIENTOS TRACTOR D7-F

Cuadro No. 01

Fecha	H.M. trabajadas	Volumen excavado (m3)	Rendimiento (m3/H.M.)	Costo horario (S./H.M.)	Costo unitario (S./m3)
94/06/15	2.00	175	87.5	100.84	1.15
94/06/16	9.83	632	64.3	100.84	1.57
94/06/17	6.75	639	94.7	100.84	1.06
94/06/20	8.00	779	97.4	100.84	1.04
94/06/24	8.00	726	90.8	100.84	1.11
94/06/27	9.00	1,035	115.0	100.84	0.88
94/06/28	10.50	911	86.8	100.84	1.16
94/07/01	4.00	582	145.5	100.84	0.69

94/07/02	8.42	439	52.1	100.84	1.93
94/07/04	10.17	830	81.6	100.84	1.24
94/07/05	11.00	746	67.8	100.84	1.49
94/07/07	10.83	915	84.5	100.84	1.19
94/07/09	6.00	461	76.8	100.84	1.31
94/07/12	11.00	1,263	114.8	100.84	0.88
94/07/13	4.00	472	118.0	100.84	0.85
94/07/14	11.00	821	74.6	100.84	1.35
94/07/15	10.75	1,296	120.6	100.84	0.84
TOTAL	141.25	12,722	90.1	100.84	1.12

El 94.07.13 ingresó a obra un tractor tipo oruga Cat. D8-H , trabajando hasta el 94.09.03. Realizó excavaciones en las lagunas primaria y secundaria No. 02 principalmente. Encontró terreno de excavación similar a lo indicado líneas arriba aunque también terreno calichoso (cementado con sales) obligando al empleo del ripper. Alcanzó rendimientos incluso del orden de los 177 m³/hora, estimando como rendimiento promedio razonable los 136.10 m³/hora que se muestra en el Cuadro No. 02.

RENDIMIENTOS TRACTOR D8-H

Cuadro No. 02

Fecha	H.M. trabajadas	Volumen excavado (m ³)	Rendimiento m ³ /H.M.	Costo horario S./H.M.	Costo unitario S./m ³
94/07/13	1.00	168	168.0	131.81	0.78
94/07/14	9.83	1,402	142.6	131.81	0.92
94/07/15	7.50	924	123.2	131.81	1.07
TOTAL	18.33	2,494	136.1	131.81	0.97

Por otra parte, debemos mencionar que para los trabajos de excavación en la trinchera de lodos, la M.P.T. dispuso desde el 94.07.15 hasta el 94.08.23 una

retroexcavadora de oruga Guria de 126 H.P., la cual alcanzó rendimientos incluso de 65 m³/H.M. pero un promedio mucho menor.

De la evaluación presentada, podemos concluir que con el tractor D8-H se tuvo mejores rendimientos y un costo horario favorable en alrededor del 13 % del costo unitario, con relación al tractor D7-F.

En esta parte es importante hacer una comparación de los rendimientos obtenidos por los tractores que operaron en la obra, con relación a los rendimientos mínimos publicados por el M.T.C. (Anexo No. 08, Normas Legales de Octubre 1987) y en "Costos y Tiempos en carreteras" de Walter Ibañez. En ellos se observa que para un tractor sobre orugas de 200 H.P. que corresponde a un D7-G, con un máximo de 5 años de antigüedad trabajando en material suelto, se espera un rendimiento de 810 m³/8 horas, o bien, 101.25 m³/H.M., es decir, 12% más que lo observado en obra.

El tractor D7-F tenía una antigüedad de alrededor de 10 años y las tablas señaladas le asignan una disminución del 40% en su rendimiento estándar, lo que vemos es sumamente conservador.

Para el mismo tractor, en roca suelta, se estima 550 m³/8 horas ó 68.75 m³/H.M., habiendo considerado el Expediente Técnico 650 m³/8 H.M. como un rendimiento promedio.

Esto nos da idea del ahorro que se tuvo al exigir mayores rendimientos al tractor y efectuar un control riguroso de los avances diarios de la maquinaria. La distancia de acarreo también es importante para este análisis.

En cuanto al análisis de costos presupuestado para la II Etapa de la obra (en la actualidad la empresa de agua potable de Tacna ya ejecutó la III Etapa de obras y cuenta con 6 pares de lagunas de estabilización en funcionamiento), en base a la experiencia obtenida se elevó el rendimiento del tractor D7 a 750 m³/8h (93.75 m³/H.M.), según lo considerado en las tablas mencionadas líneas arriba, asimismo, se consideró en mano de obra el aporte de 1/10 de Capataz, 2 oficiales (1 como controlador de maquinaria y el otro considerándolo como controlador de cotas y niveles de excavación).

Con estas modificaciones el costo unitario solo aumentó a S/. 1.32/m³ de excavación para la II Etapa de la obra.

b) Suministro de material propio para diques

El material empleado en el relleno es básicamente el proveniente de la excavación, por cuanto reúne las características requeridas en el Expediente Técnico de la obra. Se tomaron diversas muestras de este material a las que se les practicó el Análisis granulométrico respectivo, como se muestra en el Anexo No. 07, Certificado No. 0074. Estos resultados nos muestran que el material de relleno empleado cumple los requisitos mínimos de una sub-rasante.

Debido a que la cantidad de piedras grandes es mínima con respecto al volumen del material acumulado, se procede a realizar la selección de este material en forma manual, ejecutándose con el material extendido en la zona de relleno. Para asegurar este trabajo se tiene alrededor de 8 peones por motoniveladora, realizando la selección del material grueso.

Esta partida de suministro de material propio para relleno consistía en el traslado del material de excavación acumulado en las lagunas hacia la zona de selección, que se proyectó en zona contigua a las lagunas pero que por lo señalado anteriormente, en nuestro caso fue cada uno de los diques que forman las lagunas.

Se consideró en el presupuesto el aporte de 1 cargador frontal de 2.25 yd³. y 2 volquetes de 8 m³. para un rendimiento de 380 m³. por jornada de 8 horas. Asimismo, el aporte de 1/10 de capataz, 2 peones para el control de maquinaria y una zaranda metálica para el zarandeo de material. Todo esto a un costo de S/. 3.30/m³

La selección del material para relleno fue ejecutada por medios manuales obteniéndose con esto resultados satisfactorios para los requerimientos de la obra, no habiendo sido necesario el zarandeo del agregado.

Es por este motivo que para la II Etapa de las obras se replanteó este análisis de costos, acordándose un rendimiento de 380 m³/8 horas, con el aporte de 1/10 de capataz y 8 peones que realizaron la selección del material propio para rellenos con el material extendido en el dique. Con esto el costo considerado fue de S/. 1.14/m³.

El suministro del material se consideró en la partida de relleno y compactación

de diques.

c) Suministro de material de préstamo para diques

Se inició el suministro de material de préstamo de una cantera ubicada a 5 Km. de la obra, la que se desestimó debido a que no cumplía los requerimientos granulométricos.

Luego se explotó una cantera de material fino ubicada a aproximadamente 12 Km. de la obra (al ingreso del Asentamiento 5 y 6 de La Yarada), con la cual se tiene un ciclo de aproximadamente 45 minutos por volquete.

El costo del material de préstamo considerado en el presupuesto fue de S/. 9.11/m³, precio de lista del material, aumentando en la II Etapa de obras con el incremento del precio considerando el índice INEI No. 04.

Se tuvo con esto un costo de S/. 10.66/m³.

d) Relleno y compactación de diques

Es una de las actividades críticas de la obra, tanto por la duración en su ejecución, por su complejidad (intervienen una serie de maquinarias), como por su importancia en la estructura de las lagunas.

Consistió esta partida en la colocación, regado hasta la humedad óptima, batido, extendido y posterior compactado del material de relleno de diques, empleando maquinaria diversa.

El rendimiento de las motoniveladoras de 125 H.P. se calculó en el orden de los 200 m³/jornada, debido sobre todo a que debe homogenizarse el material grueso con el fino de préstamo, además de lograr la humedad óptima en este material de relleno. Para tales fines se realizó un promedio de 6 u 8 "vueltas" al material.

El rendimiento de las cisternas depende de la fuente de captación, teniéndose tiempos bastante variables pues esta toma se ha realizado algunas veces en el canal Uchusuma a 5 Km. de la obra y otras desde la Planta de Agua de Alto Lima, a 25 Km. de la obra.

El rodillo liso vibratorio de 11 Tn. empleado tiene un rendimiento de aproximadamente 1500 m³. por jornada, dándose entre 5 y 7 pasadas por

capa de 30 cm.

En el presupuesto base se consideró el aporte de 1 cargador frontal de 2.25 yd³., 2 volquetes de 8 m³., 2 motoniveladoras de 125 HP, un rodillo liso de 9-10 Tn., un tanque cisterna de 2200 gln., 1/10 de capataz y 2 peones con herramientas para lograr 760 m³/jornada de 8 horas., obteniendo un costo unitario de S/. 3.44/m³.

Para la II Etapa y en base a la experiencia obtenida se consideró para 380 m³. de avance en la jornada, para 01 motoniveladora de 125 H.P., 1/3 de rodillo liso de 9-10 Tn., 1 cargador frontal de 3.5 yd³., 2 volquetes de 6 m³., 2 tanques cisternas de 2000 gln., así como 1/10 de capataz y 6 peones en labor de control de maquinaria y ayuda en el funcionamiento del sistema, con lo cual se obtiene un costo de S/. 4.79/m³ de material en el relleno y compactación de diques.

e) Peinado de taludes

Se consideró en la I Etapa de obra un rendimiento de 1000 m²/8 h., con 1 motoniveladora, 1/10 de capataz, 1 operario y 1 peón, obteniendo un costo de S/. 0.53/m² de talud.

En la II Etapa de la construcción de las Lagunas de Estabilización se consideró el mismo rendimiento de 1000 m². pero se incluyó el regado y compactado del talud, ya que se varió lo concerniente a la impermeabilización de taludes (no se hizo revestimientos en esta II Etapa).

Con esto el costo unitario aumentó a S/. 1.24/m², considerando 1 motoniveladora de 125 HP, el aporte de 1/2 tanque cisterna de 2000 gln., 1/2 rodillo liso vibratorio de tiro de 1.5 Tn. y un tractor de tiro de 63 H.P..

Asimismo, en cuanto a la mano de obra, debido a que se requiere la presencia casi permanente del capataz se consideró este recurso con una incidencia de 0.5 y dado que el rastrillado y compactado manual que se hace en la superficie del talud es sumamente minucioso, se incrementó a 8 peones los considerados en el costo.

f) Eliminación de material excedente

En el Convenio de la referencia, se eligió como zona de eliminación del material excedente la zona límite de propiedad de EMAPA, definiéndose en 500 m. la distancia a la zona de eliminación.

Del Expediente Técnico, observamos que se proyectó un rendimiento de 720 m³/8h (90 m³/hora) para un cargador frontal de 3.5 yd³. y 3 volquetes de 5 m³., no considerando mano de obra ni herramientas de asistencia, obteniendo en el presupuesto base un costo de S/. 2.05/m³ de material eliminado.

Existe una ecuación que se tomó como base para estimar el tiempo para el ciclo de volquetes, como sigue:

Tiempo de ciclo de volquetes (acarreo, carga y descarga)

$$T_c = \frac{(t_{car} + t_{desc}) + ((D * 60) * (1/V_1 + 1/V_2))}{0.80} \quad (\text{minutos})$$

$$N_{vol} = \frac{\text{Prod.} * T_c}{60 * C_{vol}} \quad (\text{unidades})$$

donde:

T_c	=	Tiempo ciclo de volquete (minutos)
t_{car}	=	tiempo de carga (minutos)
t_{descar}	=	tiempo descarga (minutos)
D	=	distancia (Km.)
V_1	=	Velocidad ida (Km/hora)
V_2	=	Velocidad vuelta (Km/hora)
0.8	=	Factor de eficiencia
N_{vol}	=	Número de volquetes
C_{vol}	=	Capacidad del volquete (m ³)
60	=	Factor de conversión horas a minutos
Prod.	=	Producción de planta o equipo (m ³ /hora)

En el desarrollo de la obra se realizaron campañas de eliminación de material excedente, para lo cual se contó con el concurso de cargadores frontales de 3.5 y 4.0 yd³., así como volquetes de 5, 6 y 10 m³. de la M.P.T., los mismos que tuvieron rendimientos y/o ciclos variables, debido sobre todo a desperfectos en las máquinas, un sistema de eliminación que al inicio de obra no fue el más adecuado y a las dificultades propias de la obra, en cuanto a la distancia al punto de entrega o descarga del material. La zona de eliminación se ubicó a unos 300 m. de la laguna primaria No. 01, fuera de los linderos de la P.T.D.

Se han computado diversos tiempos de carga, ida, descarga y vuelta para las diversas máquinas empleadas, pudiendo hablar de los siguientes valores:

Cargador frontal de 3.5 yd³. y volquetes de 6 m³.

Tiempo de carga	1.01 minutos	(03 paladas)
Tiempo de ida	2.50 minutos	(250-300 metros de distancia)
Tiempo de descarga:	2.00 minutos	(demora en bajar la tolva volquetes 6 m ³ .)
Tiempo de vuelta	2.25 minutos	
	7.76 minutos/ciclo	

Cargador frontal de 4.0 yd³. y volquetes de 10 m³.

Tiempo de carga	1.80 minutos	(05 paladas)
Tiempo de ida	2.35 minutos	(250-300 metros de distancia)
Tiempo de descarga:	1.00 minutos	
Tiempo de vuelta	<u>2.15</u> minutos	
	7.30 minutos/ciclo	

Esto se tuvo en cuenta en la II Etapa de obras, con lo cual la Partida de eliminación de material tuvo un rendimiento de 864 m³/8 horas, con un cargador frontal de 3.5 yd³ y 3 volquetes de 6 m³, así como un controlador de maquinaria.

Con esto, el nuevo costo de la partida disminuyó a S/. 2.01/m³.

4.2.2 Revestimiento con material impermeabilizante en fondos.-

a) Suministro de agregado grueso-fino seleccionado

La partida consistía en suministrar el material extraído de la excavación trasladándolo hacia cada laguna para su extendido.

Del Expediente Técnico, observamos que se proyectó un rendimiento de 760 m³/8h (95 m³/hora) para un cargador frontal de 2.25 yd³ y 2 volquetes de 8 m³, así como un peón para el control, obteniendo un costo de S/. 1.62/m³ de material suministrado en el fondo de cada laguna, según presupuesto base. Para la II Etapa de obras el rendimiento se aumentó a 864 m³/8 horas (108 m³/hora), pero considerando ahora el aporte de un cargador frontal de 3.5 yd³ y 3 volquetes de 6 m³. En cuanto a la mano de obra, se consideró 1/2 capataz y 1 oficial para el control de la maquinaria. Con esto, el nuevo costo unitario ascendió a S/. 2.04/m³.

b) Colocación de la protección con agregado grueso-fino e=0.15 m.

La colocación de la capa protectora de 0.15 m. consistió en el esparcido del agregado grueso sobre la capa de material fino del fondo de la laguna.

Se consideró en el Expediente Técnico un rendimiento de 520 m³/8 horas con el aporte de una motoniveladora y 1 peón con herramientas, a un costo de S/. 0.89/m³

Para la II Etapa de obras se consideró un incremento en el rendimiento hasta 1000 m³/8 horas, empleando para ello 1 motoniveladora de 125 H.P. y el aporte de 1/2 tanque cisterna de 2000 gln. y en mano de obra 1/5 de capataz y 3 peones con herramientas. Con esta variación el costo descendió a S/. 0.69/m³ de material extendido.

c) Suministro y colocación de material fino e=0.05 m.

Del Expediente Técnico, observamos que se proyectó un rendimiento de 182 m³/8 horas de suministro y colocación de material fino en el fondo de las lagunas, con el aporte por m³. de material colocado, de 1.59 m³ de material fino impermeabilizante, 1 rodillo liso de 9-10 Tn., 1 motoniveladora de 125

H.P. 2 peones con herramientas, a un costo S/. 8.53/m³.

En la II Etapa de obras se consideró un rendimiento de 500 m³ con el aporte de 1.59 m³. de material fino impermeabilizante, 1 motoniveladora de 125 H.P., 1 cisterna de 2000 Gln., y 1/2 rodillo liso de 9-10 Tn.

En cuanto a la mano de obra, consideramos 1/10 de capataz y 4 peones con lo cual el costo asciende a S/. 9.95/m³.

4.2.3 Revestimiento con asfalto en taludes.-

a) Carpeta asfáltica e=1.5 pulgadas

Inicialmente el revestimiento de taludes de lagunas se consideró ejecutar empleando una carpeta asfáltica similar a las empleadas en pavimentos. Luego, según lo señalado en el Capítulo anterior, se cambió a la colocación de una bi-capa de asfalto, en una mezcla de asfalto líquido RC-250 con kerosene, en una proporción de 7:3 u 8:2.

El Expediente Técnico contempló la conformación de una base granular de 10 cm., la imprimación con asfalto:gasolina 8:2, carpeta asfáltica e=1 1/2" y el sellado de carpeta a un régimen de 0.6 Gln./m². Esto arrojaba un costo de S/. 10.30/m² de carpeta colocada.

En el tratamiento con bi-capa las partidas a considerar son: mejoramiento de la sub-rasante, imprimación en taludes, arenado de imprimación, apisonado y barrido en taludes, imprimado con asfalto:kerosene 8:2 y arenado de esta última capa.

El costo de este tratamiento con bi-capa asciende a S/. 3.69/m² con lo cual el costo de la partida se reduce significativamente.

El rendimiento en esta partida está condicionado a la capacidad del tanque imprimador. En obra se tuvo un tanque fabricado por la M.P.T., con una capacidad de 1,600 Gln., con lo cual se lograban alrededor 2,500 m²/día, dado que son alrededor de 4 horas que demora el asfalto en calentar dentro del tanque y otras 2 que demora el trabajo de esparcido o vaciado del tanque sobre los taludes.

4.3 PROGRAMACIÓN DE OBRA.-

Con los rendimientos arriba descritos, y con los metrados de obra, podemos efectuar una programación de obra real, la cual debería cumplirse contando con los recursos mínimos necesarios ya señalados.

La I Etapa de obras contempló un período de ejecución sumamente teórico, solamente 3 meses para la ejecución de las partidas de movimiento de tierras e impermeabilización.

Proponemos una programación hasta de 6 meses, como se muestra en el Cronograma de Ejecución de Obra valorizado siguiente:

CRONOGRAMA DE EJECUCION DE OBRA VALORIZADO

OBRA : LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE LA CIUDAD DE TACNA

PRESUPUESTO : S/. 983,353.92

Item	Descripción	Und.	Cantidad	Costo Unitario	Presupuesto	Cuadrilla	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
1.00	<u>MOVIMIENTO DE TIERRAS</u>											
1.01	Excavación masiva T.N. C/maq. L.E.	m3	106,567.67	1.31	139,603.65	2.00	33,493.65	53,055.00	53,055.00			
							*****	*****	*****			
1.02	Suministro material propio p/diques	m3	16,186.47	3.30	53,415.35	1.00		13,353.84	26,707.68	13,353.84		
								*****	*****	*****		
1.03	Suministro material préstamo p/diques	m3	2,856.43	9.11	26,022.08	1.00		13,011.04	13,011.04			
								*****	*****			
1.04	Relleno y compactado diques/lagunas	m3	19,042.90	3.44	65,507.58	1.00		16,376.89	32,753.79	16,376.89		
								*****	*****	*****		
1.05	Peinado de taludes	m2	20,101.02	0.53	10,653.54	1.00				10,653.54		

1.06	Eliminación de material excedente	m3	86,596.31	2.05	177,522.44	1.00		35,504.49	35,504.49	35,504.49	35,504.49	35,504.49
								*****	*****	*****	*****	*****
2.00	<u>REVESTIMIENTO DE FONDOS</u>											
2.01	Sumn. Agregado grueso-fino selecc.	m3	8,385.00	1.62	13,583.70	1.00					9,055.80	4,527.90
											*****	*****
2.02	Coloc. capa protección agreg. e=0.15 m	m3	8,385.00	0.89	7,462.65	1.00					4,975.10	2,487.55
											*****	*****
2.03	Sumn. y coloc. Mat. imperm. e=0.05 m	m3	2,795.00	8.53	23,841.35	1.00					23,841.35	

3.00	<u>REVESTIMIENTO DE TALUDES</u>											
3.01	Carpeta asfáltica e=1.5 pulg.	m2	20,101.02	10.30	207,040.51	1.00					103,520.25	103,520.25
											*****	*****
	Costo directo			S/.	724,652.85		33,493.65	131,301.26	161,031.99	75,888.76	176,896.99	146,040.19
	Gastos Generales (15%)			S/.	108,697.93		5,024.05	19,695.19	24,154.80	11,383.31	26,534.55	21,906.03
	Costo Total			S/.	833,350.78		38,517.70	150,996.45	185,186.79	87,272.07	203,431.54	167,946.22
	I.G.V. (18%)			S/.	150,003.14		6,933.19	27,179.36	33,333.62	15,708.97	36,617.68	30,230.32
5	TOTAL GENERAL			S/.	983,353.92		45,450.88	178,175.81	218,520.41	102,981.05	240,049.22	198,176.54

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE LA CIUDAD DE TACNA

5.1 CONCLUSIONES.-

- 5.1.1 La ciudad de Tacna viene experimentando un crecimiento poblacional importante, por encima del promedio nacional, por lo que la necesidad de incrementar y mejorar los servicios básicos de saneamiento debe ser prioritaria para las autoridades responsables.
- 5.1.2 En este sentido, la construcción de plantas de tratamiento de desagües, de cualquier tipo o tecnología, es importante pues contribuye al cuidado de la salud pública, la preservación del medio ambiente, el abastecimiento alimenticio (se evita el rehuso de aguas servidas crudas en agricultura), componentes necesarios para mejorar el nivel de vida de la población en general.
- 5.1.3 Nuestro objetivo prioritario en el tratamiento de las aguas residuales es la remoción de bacterias, parásitos y virus patógenos, observándose que los efluentes de las lagunas de estabilización, basados en su tiempo de retención y en mecanismos naturales químicos y biológicos, logran una remoción total de estos microorganismos, permitiendo su uso en cualquier actividad agropecuaria, incluso hasta la acuicultura.
- 5.1.4 Las grandes áreas de terreno necesarias son el principal limitante para optar por el diseño de lagunas de estabilización, pero se comprueba que este es el tratamiento más sencillo, económico y eficiente que puede lograrse en las aguas residuales domésticas y algunos desechos industriales.
- 5.1.5 Los trabajos de movimiento de tierras como el que nos ocupa, generalmente involucran una importante participación de maquinaria cuyo costo horario puede ser bastante alto, por lo que es necesario contar permanentemente con un control adecuado de los rendimientos que se obtienen en campo, compararlos con los contemplados en el presupuesto de obra y poder tomar las medidas correctivas oportunamente, de ser

5.1.13 La programación y ejecución de las Lagunas de Estabilización se realizó de una forma adecuada, con el inconveniente de que no se contó con la maquinaria necesaria el tiempo de ejecución de la obra, lo que hubiese posibilitado un menor período de ejecución de obra.

5.2 **RECOMENDACIONES.-**

5.2.1 Se observó que la mala aplicación de fórmulas determinó que la capacidad esperada de la planta de tratamiento de desagües no fue de 35 l.p.s. sino más bien de 20 l.p.s., lo que evidentemente en cualquier análisis económico con respecto a otras alternativas de tratamiento, o en una evaluación beneficio/costo, nos daría resultados o indicadores errados, por lo que es necesario al momento de diseñar cualquier infraestructura y con un costo importante para una empresa de recursos limitados como son las empresas de saneamiento, se hagan los estudios definitivos con la minuciosidad requerida.

5.2.2 Si bien es cierto el concreto empleado en la obra viene mostrando buena durabilidad después de 5 años de funcionamiento, es recomendable el uso de cemento que pueda comportarse mejor ante la agresividad de las aguas servidas, recomendándose el uso del Tipo V o, en su defecto, el tipo II.

5.2.3 La cámara de rejillas se construyó con barras de fierro de 2"x1/2", recomendándose optar por otro material más resistente a las aguas servidas, como la fibra de vidrio o el PVC.

5.2.4 El uso del PVC en las diferentes estructuras de ingreso, interconexión, salida y en las arquetas de desagüe de las lagunas, contribuye a un incremento en la durabilidad de la obra, comparada con otros productos tradicionalmente usados (fierro, madera, etc.), por lo que se recomienda su utilización.

5.2.5 El uso de material impermeabilizante en las arquetas de desagüe debe ser correctamente ejecutado, a fin de que estas estructuras cumplan con el objetivo para el cual fueron diseñadas, que es lograr un descenso gradual del nivel de agua en las lagunas en caso estas se quieran vaciar.

5.2.6 El diseño del canal principal de ingreso a la planta de tratamiento, se

formula con el caudal máximo horario al año 2005 (1203.86 l.p.s.),
debiendo considerarse que al ser una obra a ejecutar por etapas los
caudales iniciales no serán los mayores, pudiendo producirse
sedimentación de sólidos recomendándose seleccionar las secciones y
particularmente la pendiente necesaria para evitar esto.

ANEXOS

ANEXO No. 01

DETERMINACION DE LIMITES DE ATTERBERG

ANEXO N° 01

DETERMINACION DE LOS LIMITES DE ATTERBERG

Las propiedades plásticas de los suelos arcillosos o limosos pueden ser estudiadas aproximadamente por medio de pruebas simples. Las más usuales se denominan límites de consistencia o de Atterberg.

Un suelo arcilloso, con un alto contenido de agua se comporta como líquido; al perder agua va aumentando de resistencia hasta tener un estado plástico, fácilmente moldeable; al continuar el secado llega a adquirir un estado semisólido. Al continuar la pérdida de agua pasa al estado sólido.

Los cambios de estado se producen gradualmente y los límites fijados arbitrariamente entre ellos se denominan límite líquido, límite plástico y límite de contracción. El primero fija el cambio entre el estado líquido y el plástico, el segundo entre el plástico y el semisólido y finalmente, el tercero, el cambio entre el estado semisólido, quebradizo, y el sólido de gran resistencia. Este último límite es de poco interés práctico por lo cual no se mencionará más en estas especificaciones.

El límite líquido es el contenido de agua tal que para un material dado, fija la división entre el estado casi líquido y el plástico.

El límite plástico es el contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido.

La definición arbitraria standard que se han dado a estos límites es la siguiente: el límite líquido (L_w) es el contenido de agua de un suelo (expresado en porcentaje en peso seco) que posee una consistencia tal que una muestra con una ranura, al someterse al impacto de varios golpes fuertes, se cierra sin que el suelo resbale sobre su apoyo. En la determinación de este límite definido arbitrariamente influye la técnica de operación y el factor personal.

El dispositivo diseñado por A. Casagrande, ha eliminado la influencia del factor personal en dicha prueba, proporcionando un medio mecánico para producir un impacto standard. Así que el L_w podría definirse como el contenido de agua que permite cerrar la ranura con 25 golpes.

Para llevar a cabo la prueba con este dispositivo, se determina el número de golpes necesarios para cerrar la ranura hecha en la muestra de suelo, con diferentes contenidos de agua. Se ha encontrado empíricamente que la curva que se obtiene

trazando una gráfica en papel semilogarítmico, con el contenido de agua en la escala aritmética y el número de golpes en la logarítmica, es una línea recta. Esta curva, se llama "curva de fluidez".

El contenido de agua que corresponde en esta curva a 25 golpes es el límite líquido. El límite plástico (P_w) de un suelo se define como el contenido de agua (expresada en porcentaje del peso seco) con el cual se agrieta un cilindro de material de 3 mm. de diámetro al rodarse con la palma de la mano sobre una superficie lisa.

Equipo:

Dispositivo de A. Casagrande para límite líquido, incluyendo la cuchilla para hacer la ranura.

Espátulas

Cápsulas de porcelana

Malla No.40

Recipientes con tapas para sacar muestras

Mortero

Horno a temperatura constante de 105°C.

Balanza que pueda pesar con 0.001 gr. de aproximación.

Ajuste del Aparato para el Límite Líquido.-

El aparato debe ser ajustado antes de usarse para que la copa tenga una altura de caída de 1 cm. exactamente. Esta distancia se mide con una solera que tiene un espesor de 1cm.

- 1) En la copa del aparato se marca una cruz con lápiz en el centro de la huella que se forma al golpearse con la base.
- 2) Se da vuelta a la malla hasta que la copa se levante a su mayor elevación y tomando como punto de referencia la cruz marcada se verifica la distancia entre ésta y la base con la solera de calibración.
Se aflojan los tornillos de cierre y se gira el tornillo de ajuste hasta que la distancia sea exactamente de 1cm.

Procedimiento

Las pruebas de consistencia se hacen solamente con la porción de suelo que pase a través de la malla N°. 40.

Esta porción se obtiene ya sea pasando el material por la malla 40, en seco, o bien

por un proceso de lavado más lento, pero mucho más preciso.

Para determinar cual proceso conviene, se seca al horno una muestra húmeda de material y se presiona con los dedos. Si se desmorona fácilmente y los granos pueden separarse (lo que indica que el material es areno-limoso) se usa el método de separación en seco. En cambio, si la muestra ofrece considerablemente resistencia y los granos no pueden separarse (arcillas) se debe hacer la selección por medio de lavado.

Preparación de la Muestra

Método Seco.-

- 1) Del material que pasa la malla número 4 se desmenuza 150 gr. en un mortero, sin llegar a romper los granos.
- 2) Se pasa el material a través de la malla número 40 desechando el que quede retenido.
- 3) Se pone en una cápsula el material que ha pasado por la malla.
- 4) Se agrega agua, y con una espátula se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta suave y espesa.

Método Húmedo.-

Cuando conviene aplicar este método se sigue el mismo procedimiento que se usa en el análisis granulométrico por vía húmeda, con la diferencia de que en vez de utilizar la malla número 200 se utiliza la número 40 y que al evaporar el agua del recipiente se deja que el material se seque hasta que tenga la consistencia de una pasta suave, logrando lo cual se pasa a una cápsula.

De la parte ya preparada por cualquiera de los dos métodos se separa una pequeña porción para el ensayo de límite plástico y el resto se utiliza para el ensayo de límite líquido.

Procedimiento para la Prueba del Límite Líquido

- 1) Se coloca una parte del material de la cápsula (de 50 a 80 grs.) en la copa del aparato; se trabaja con la espátula hasta lograr una pasta suave y luego se aplana hasta que su superficie quede horizontal.
- 2) Se coloca la punta del ranurador encima de la pasta de manera que la herramienta quede perpendicular a la superficie de la copa.
- 3) Se hace una ranura a lo largo de la pasta y por el centro de ella. Al mismo

tiempo, se inclina el ranurador para que permanezca perpendicular a la superficie inferior de la copa. Para arcillas con poco o nulo contenido de arena, la ranura deberá hacerse por medio de un movimiento suave y continuo.

Cuando se trata de arcillas arenosas, limos con poca plasticidad y algunos suelos orgánicos, el ranurador no podrá cerrarse a través de la pasta sin averiar los lados de la ranura. Para estos suelos, se cortará la ranura con una espátula y se chequearán las dimensiones con el ranurador.

El ranurador deberá limpiarse con un trapo, antes de que seque el material adherido.

- 4) Después de asegurarse de que la copa y la base estén limpias y secas, se da vuelta a la manija a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpe requerido para que se cierre el fondo de la ranura en una distancia de 1cm. Se anota el número de golpes en el registro respectivo.
- 5)
 - a) Se pone, aproximadamente, 10 gr. de la porción de la muestra que está próxima a la ranura, en un recipiente.
 - b) Se cierra el recipiente.
 - c) Se pesa a una aproximación de 0.001 gr. y una vez destapada el recipiente, se introduce en un horno con el fin de secar la porción de muestra.
- 6) Se repite el mismo procedimiento para obtener 2 ó 3 puntos de la curva de escurrimiento con la condición de que los golpes requerido están entre 20 y 35. Después, se cambia la consistencia de la pasta de modo que los golpes requerido están entre 5 y 15 con el fin de obtener otros 2 ó 3 puntos de la curva.

Lo más conveniente es obtener primero los puntos correspondientes a un número de golpes cercano a 35 y después agregar agua para obtener una consistencia correspondiente a un número menor de golpes. Deberá agregarse material adicional de la muestra para las determinaciones de contenido de agua.

Una vez que los datos están anotados en el formulario será fácil el dibujo de la curva de escurrimiento.

Para el método de determinación del límite Líquido por un sólo punto, el

contenido de humedad de la muestra se aproxima hasta que el número de golpes necesarios para cerrar el fondo de la ranura, esté entre 20 y 30. Se toma una muestra para conocer el contenido de humedad y se anota el número de golpes que se ha empleado. El límite líquido se determina por un punto de diagrama de límite líquido.

Procedimiento del Ensayo del Límite Plástico

- 1) Se toma aproximadamente la mitad de la muestra inmediatamente después de su preparación y se cilindra con la mano sobre una superficie limpia y lisa, como la de una hoja de papel, o la de un vidrio, hasta formar un cilindro de 3 mm. de diámetro y de 6 a 10 cm de largo.
- 2) Se amasa la tira y se vuelve a cilindrar, repitiendo la operación tantas veces como se necesita para reducir gradualmente la humedad por evaporación, hasta que el cilindro se empieza a endurecer.
- 3) El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agriete al ser rodillado hasta que tenga aproximadamente 3mm. de diámetro. Si hay duda de cuando se alcanzó el Pw., repítase la misma operación con la otra mitad de la muestra.
- 4) Una vez alcanzado el límite plástico, se parte el cilindro y se ponen los pedazos en un recipiente con tapa.
- 5) Se determina el contenido de agua secándolo en un horno a 105 °C en la forma indicada en el procedimiento para la obtención de límite líquido; luego se anotan los datos en un formulario especial.

Registro

Se anotan los datos en el registro respectivo y después de hacer los cálculos necesarios se procederá a hacer lo siguiente:

- 1) Se encuentra la relación entre el porcentaje de humedad y el número de golpes por medio de papel semilogarítmico, dibujando el número de golpes como ordenada en la escala logarítmica y el porcentaje de humedad como abscisa en la escala aritmética.
- 2) Se unen los puntos entre 10 y 20 golpes con los puntos entre 25 y 35 golpes por medio de una línea recta.
- 3) El contenido de humedad que corresponde en esta línea a 25 golpes se define como límite líquido.

Precauciones para el Ensayo

- 1) Para que la determinación del límite líquido sea uniforme hay que descansar la base sobre cuatro hule, ya que la diferencia en rigidez del lugar de apoyo de la base ocasionaría discrepancia en los resultados.
- 2) Asegurarse de que la base donde golpea la copa esté perfectamente seca y limpia de polvo ó tierra, pues de lo contrario la energía del golpe sería amortiguada.
- 3) La muestra colocada en el recipiente con tapa deberá pesarse inmediatamente, pues aunque está bien cerrada, siempre produce cierta evaporación que altera el contenido de agua.

De la curva fluidez, del límite Lw y del Límite plástico Pw pueden determinarse los siguientes índices importantes:

a) El índice de plasticidad (Iw) que es igual a la diferencia numérica entre Lw y Pw.

$$Iw = Lw - Pw$$

b) El índice de fluidez (Fw), que es igual a la pendiente de la curva de escurrimiento. Numéricamente es igual a la diferencia entre el contenido de agua a los 10 y a los 100 golpes o entre 1 y 10 golpes.

c) El índice de tenacidad (tw), que es el cociente que resulta de dividir el índice plástico entre el índice de fluidez.

Con un estudio comparativo de los límites y los índices, se puede hacer la distinción entre las arcillas y los suelos no plásticos, así como su clasificación de acuerdo con la plasticidad del material.

ANEXO No. 02

**PRUEBA DE COMPACTACION CON
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD**

ANEXO N° 02

PRUEBA DE COMPACTACION CON OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

La densidad a la cual se compacta el suelo, siguiendo un método de compactación dado, varía con el contenido de humedad. El contenido de humedad para el cual se obtiene el más alto peso unitario se llama **OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD** para dicho método de compactación. Generalmente el óptimo contenido de humedad es menor que el límite plástico y disminuye aumentando la compactación.

El método de compactación que se emplea en el laboratorio y que se describe más adelante, produce generalmente casi la misma densidad que se obtiene con el empleo de equipos pesados de construcción. Se conoce con el nombre de **MÉTODO MODIFICADO POR LA AMERICAN OF STATE HIGHWAY OFFICIALS.**

APARATOS NECESARIOS

Balanza de torsión	Criba de ¼"
Balanza de 8 brazos	Espátula
Cajas de metal	Rodillo de pastelero
Moldes de compactación	Regla de acero
Apisonador de compactación	Horno
Estufa	

PREPARACION DE LA MUESTRA

Compactación en Obra

- 1) Seque al aire una muestra representativa que contenga de 2 a 2.5 Kg. (4.5 a 5.5 libras) de material que pasa la malla de ¼".
- 2) Desmenuce los terrones de material fino con el rodillo o cualquier superficie plana.
- 3) Tamice el material en una malla de 1.4"

Compactación en el Laboratorio

- 1) Mezcle cuidadosamente la muestra con suficiente cantidad de agua como para tener una pasta que se desmenuce cuando se suelta después de apretarla con la mano.
No haga esta mezcla inicial demasiado húmeda.
- 2) Divida esta pasta húmeda en 5 porciones aproximadamente iguales.
- 3) Pese el molde en la balanza de torsión con una aproximación de 5 gramos;

- ajuste el plato de base y el collar y coloque el conjunto sobre un apoyo firme.
- 4) Ponga una porción de la pasta húmeda en el molde y nivele su superficie con la mano.
 - 5) Coloque el apisonador con su guía dentro del molde y sobre el material, levante el mango hasta que llegue al tope de la guía y suéltelo, permitiendo que caiga sobre la muestra.
 - 6) Cambie la posición de la Guía y deje caer de nuevo el apisonador. Repita este proceso, cubriendo sistemáticamente toda la superficie de la muestra, con 25 golpes del apisonador.
 - 7) Quite del molde el apisonador; ponga otra porción de muestra y compáctela como se ha dicho antes. Repita este proceso con todas las demás porciones. **NOTA:** Cada una de las capas apisonadas tendrá más o menos una pulgada de alto y toda la muestra compactada penetrará en el collar $\frac{1}{2}$ " como mínimo. La cantidad de muestra que se necesita para lograr este propósito se determinará por ensayo y varía con las diferentes clases de suelos.
 - 8) Quite el collar y corte ligeramente la muestra con un cuchillo, reduciendo su nivel al borde del molde de compactación. Controle finalmente este nivel con una regla.
 - 9) Quite el plato y pese el molde con la muestra compactada, con una precisión de 5 gramos.
 - 10) Para determinar el contenido de humedad, tome dos muestras (de 10 a 25 gramos cada una); una de arriba y otra del fondo de molde. (En los cálculos definitivos se emplea el promedio de estos dos resultados).
 - 11) Retire del molde, el suelo compactado; pulvericelo de nuevo con el rodillo y colóquelo en una cacerola. **NOTA:** El bastidor y la gata del equipo de prueba CBR, se puede usar para empujar el suelo compactado y sacarlo del molde, aunque la muestra pueda extraerse con la mano.
 - 12) Agregue de 60 cc. (para suelos arenosos) a 120 cc. (para arenas limosas o arcillosas) de agua y vuelva a mezclar cuidadosamente.
 - 13) Repita desde el paso 3 hasta el 11.
 - 14) Haga varios experimentos, agregando cada vez más agua, hasta que el peso

de la muestra compactada comience a disminuir.

CÁLCULOS:

Peso unitario húmedo = 0.066 x peso húmedo de la muestra (grs.) = 0.666 x 1,825
= 120.5 Lb./pie Cúbico.

$$\text{Ps.Unt.Sec.} = \frac{100 \times \text{ps.unt.húm.}}{100 - \text{cont.húm.(\%)}} = \frac{100 \times 120.5}{100 - 7.4} = 112.2 \text{ Lb/pie}^3$$

CURVA OPTIMA DE HUMEDAD

Se dibuja en un papel milimetrado tomando como abscisas los contenidos de humedad y como ordenadas los pesos unitarios.

El óptimo contenido de humedad es el contenido de humedad en la cúspide de la curva del peso unitario seco.

Por esta razón se modifica el procedimiento de prueba en el laboratorio, variando el número de capas, la altura de caída del apisonador o el número de golpes del mismo, con el fin de obtener una densidad equivalente.

MODIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA PARA CONDICIONES ESPECIALES

El procedimiento de prueba indicado anteriormente puede no producir las mismas densidades que el empleo del equipo de construcción. Por Ej.: un equipo transportable por aire produce densidades bajas mientras que un grupo pesado produce densidades elevadas.

La prueba del Proctor Standard se usa generalmente para la compactación en el laboratorio de bases estabilizadas con cemento.

El molde se llena con 3 capas, dando 25 golpes por capa, con un apisonador de 5.5 libras de peso y 12" de altura de caída. Para usar un equipo fijo, diremos que un apisonador de 10 libras de peso y 6.5" de altura de caída, produce una compactación equivalente. Si el suelo que se está sometiendo a prueba es una arena fina y uniforme, el apisonador puede causar un sollevamiento; en el sitio que se está compactando. en este caso se debe apisonar primero con golpes suaves, para

MOLDE COMPACTACION Y COLLAR

El diámetro y la altura del molde son los mismos. Volumen exacto 1/30 de pié cúbico.

PLATO DE BASE

Las dimensiones del plato de base no son importantes; pero el plato mismo debe tener una depresión en la cual encaje exactamente el molde.

ANEXO No. 03

ENSAYO DE COMPACTACION METODO DE PROCTOR MODIFICADO

ANEXO N° 03

ENSAYO DE COMPACTACION METODO PROCTOR MODIFICADO

A. GENERALIDADES

Un suelo se puede compactar a distintos pesos volumétricos, variando su contenido de agua, para un método de compactación dado el contenido de agua para el cual se obtiene el peso volumétrico máximo o el máximo peso unitario seco, se llama "humedad óptima".

Para determinar el máximo peso unitario seco de un suelo se compacta una muestra representativa del mismo, dentro de un cilindro de acero de capacidad conocida.

Dividiendo el peso del material seco entre la capacidad del cilindro, se encuentra el peso volumétrico, Segundo una parte de la muestra se determina el contenido de agua o humedad de la misma.

La operación de compactación se ejecuta 5 ó 6 veces, aumentando de una a otra la cantidad de agua en la muestra, de manera que se establezca la relación entre el peso del material seco por unidad de volumen y el contenido de agua. El mayor peso volumétrico que se obtenga será el máximo peso unitario seco y el contenido de agua correspondiente, la humedad óptima.

El ensayo de compactación que aquí se describe ha sido el adoptado por el cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos y basado en el método de The American Association of Highway Officials, con el cual se obtiene un máximo peso unitario seco y una humedad óptimo muy similares a los que se obtienen en el terreno con el equipo de construcción pesado que hoy se usa. Este método es conocido con el nombre de "Proctor Modificado".

B. EQUIPO

Balanza (sensibilidad 0.1 gr.)

Balanza (Cap.20 Kgs., sensibilidad 1 gr.)

Recipientes para tomar muestras de humedad

Molde de 5" de altura x ϕ 6" junto con su extensión y placa de soporte.

Pison cilíndrico de compactación (junto con su guía) de 18" de caída y 10 lbs. de peso.

Horno (105 °C - 110 °C)

Tamiz 1/4" y 3/4"

Rodillo de madera

Regla de madera con filo para enrasar la muestra

Rociador de agua (pulverizador tipo FLIT)

C. PREPARACION DE LA MUESTRA

- 1) Una muestra representativa de 35 Kg. aproximadamente, suficiente para todo el ensayo de compactación, deberá ser cuidadosamente secada al aire.
- 2) Terrenos constituidos por partículas de suelo deben ser rotos de manera que pasen el tamiz N° 4, de tal manera que las partículas individuales que los constituyen sea cual fuere su tamaño, no se rompan.
- 3) El material seco y pulverizado deberá ser tamizado a través de un tamiz de 3/4 de pulgada, todo el material retenido en el tamiz de 3/4" debe ser retirado y reemplazado con una porción igual de material, comprendida entre el N° 4 y 3/4" en tamaño. El material debe ser enteramente mezclado para dar un material uniforme.

D. PROCEDIMIENTO

- 1) El material preparado, secado al aire será pesado y separado en 5 ó 6 porciones de 5,500 a 6,000 gr. c/u. una muestra separada del material deberá ser usada para cada determinación el material no deberá ser usado más de una vez.

La cantidad deseada de agua debe ser añadida a la primera muestra de tal manera que la humedad sea uniforme distribuida a través de toda la muestra. Una bomba de mano de aspersion (similar a las que se usan para insecticidas), que produzca una llovizna fina de agua es lo ideal para humedecer el suelo.
- 2) Se pesa el molde de compactación en la balanza (20 Kgs. de capacidad) con una aproximación de 1 g., luego se le coloca la placa de soporte y la extensión del molde.
- 3) Se pone una parte de la muestra preparada en el molde y se nivela con la mano. El espesor de cada capa que se compacta debe ser tal que después

de compactada tenga aproximadamente un espesor de 1". Colocar el molde sobre el suelo de concreto o en un pedestal de concreto.

- 4) La segunda muestra o en un pedestal con agua hasta obtener un contenido de humedad aproximadamente el 2% mayor que la primera muestra. Para arcillas pesadas aumentar el contenido de humedad aproximadamente el 3%.
- 5) Se repiten los pasos 2 a 11.
- 6) Se hacen varias determinaciones agregando a cada muestra más agua hasta que el peso de la muestra compactada empiece a disminuir.

E. CALCULO

$$\begin{aligned} \text{Peso Unitario Húmedo} &= \frac{\text{Peso húmedo de la muestra Compactada}}{\text{Volumen del molde}} \\ \text{Peso Unitario Seco} &= \frac{100 \times \text{peso unitario húmedo}}{100 + \text{contenido de humedad (\%)}} \end{aligned}$$

F. CURVA DE COMPACTACION

Se dibuja una curva en papel milimetrado aritmético con el contenido de humedad como abcisa y el peso unitario seco como ordenada, la humedad óptimo y el máximo peso unitario seco son la humedad y el peso unitario seco correspondiente al pico de esta curva.

ANEXO No. 04

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO

ANEXO N°04

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO

A. GENERALIDADES

OBJETO

La determinación del peso unitario, también llamada prueba de densidad, tiene por objeto controlar la compactación de afirmados y terraplenes en la construcción de presas de tierra y/o caminos.

DEFINICIONES

Peso unitario húmedo o densidad húmeda, es el peso por pie cúbico de material húmedo colocado.

Peso unitario seco o densidad seca, es el peso por pie cúbico de material sólido colocado.

B. PROCEDIMIENTO DEL HOYO

OBTENCION DE LA MUESTRA

1. Limpie todo el material suelto en un área aproximada de 60 cms. de diámetro. Nivele esta superficie cuidadosamente y llene, si es necesario, los lugares bajos con material de las vecindades. Apisone este material con una tabla o cualquier otro objeto chato.
2. Trace en el terreno un círculo de 20 a 25 cms de diámetro.
3. Lave cuidadosamente con agua esta arena y luego sequelo en la estufa.
4. Deje caer la arena en un molde de compactación (volumen 1/30 de pie cúbico) de una altura de más o menos 10 cms por encima de su superficie conservando el chorro de caída, uniforme y delgada.
5. Nivele la superficie con un escantillón cuidando de no sacudir el molde o hacer vibrar la arena.
6. Pase la arena contenida en el molde y calcule su peso unitario como se indica en el cálculo de más abajo.
Se debe usar el promedio de varias pruebas aisladas.
7. Coloque la arena en un recipiente a prueba de aire hasta que se seque.

La arena debe estar perfectamente seca o los resultados serán erróneos.

CALCULO DEL PESO UNITARIO DE LA MUESTRA

Peso de la arena en el molde 1,418 gr. ó $1418/454 = 3.12$ lb.

Peso unitario de la arena $3.12 \times 30 = 93.6$ libras por pie cúbico.

DETERMINACION DEL VOLUMEN DEL HUECO USANDO ARENA CALIBRADA

1. Pese el recipiente con la arena en una balanza de resortes.
2. Use el embudo o lata para vaciar la arena en el hoyo desde una altura de 4" por encima de su superficie. Conserve el chorro de caída delgado y continuo distribuyendo la arena sobre toda el área del hoyo.
3. Nivele la superficie de la arena con la del terreno, teniendo cuidado de no compactarla y coloque en el embudo o lata de excedo de material.
4. Vuelva a posar el recipiente con la arena.

NOTA: Comúnmente se recupera la arena del hueco, pero debe ser cernida lavada y secada de nuevo antes de volverla a usar.

CALCULO DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA

Peso antes de llenar el hueco 27.4 Lb.

Peso después de llenar el hueco 5.61 Lb.

Peso de la arena del hueco (dif) 2188 Lb.

Volumen de la muestra = $\frac{\text{Peso de la arena del hueco}}{\text{Peso unitario de la arena}}$

21.8

Peso unitario de la arena = $\frac{21.8}{93.6} = 0.233$ pie cúbico

DETERMINACION DEL PESO SECO DE UNA MUESTRA DE SUELO

El suelo extraído del hueco se coloca en una bandeja, se seca en la estufa (en una atmósfera seca, se puede secarlo al aire) y se pesa en una balanza de resortes.

Si hay dificultad para secar toda la muestra, se pesa la muestra humedad y se determina el contenido de humedad de una parte representativa del suelo; luego se determina el peso seco como se indica enseguida.

CALCULO DE LA MUESTRA

Peso húmedo de la muestra 28.1 Lb.

Contenido de hum. de la muestra 7.8%

$$\begin{aligned} \text{Peso de la muestra} &= 100 \times \frac{\text{Peso húmedo de la muestra}}{100 + \text{contenido de humedad}(\%)} \\ &= 100 \times \frac{28.1}{100 + 7.8} = 26.1 \text{ Lb} \end{aligned}$$

CALCULO DE PESOS UNITARIOS

El peso unitario seco se calcula dividiendo el peso de la muestra seca entre su volumen el cual ya ha sido determinado (Ver Cálculo de la muestra)

El peso unitario húmedo se calcula determinando primero el peso del agua contenida en un pie cúbico de la muestra y agregado enseguida el resultado al peso unitario seco, tal como se indica en el cálculo de la muestra.

CALCULO DE LA MUESTRA

Peso de la muestra seca 26.1 Lb.

Volumen de la muestra extraída 0.233 pie 3

$$\begin{aligned} \text{Peso Unitario Seco} &= \frac{\text{Peso de muestra seca}}{\text{volumen de muestra}} = \frac{26.1}{0.233} = 112.0 \text{ Lb/pie}^3 \end{aligned}$$

Contenido de humedad 7.8%

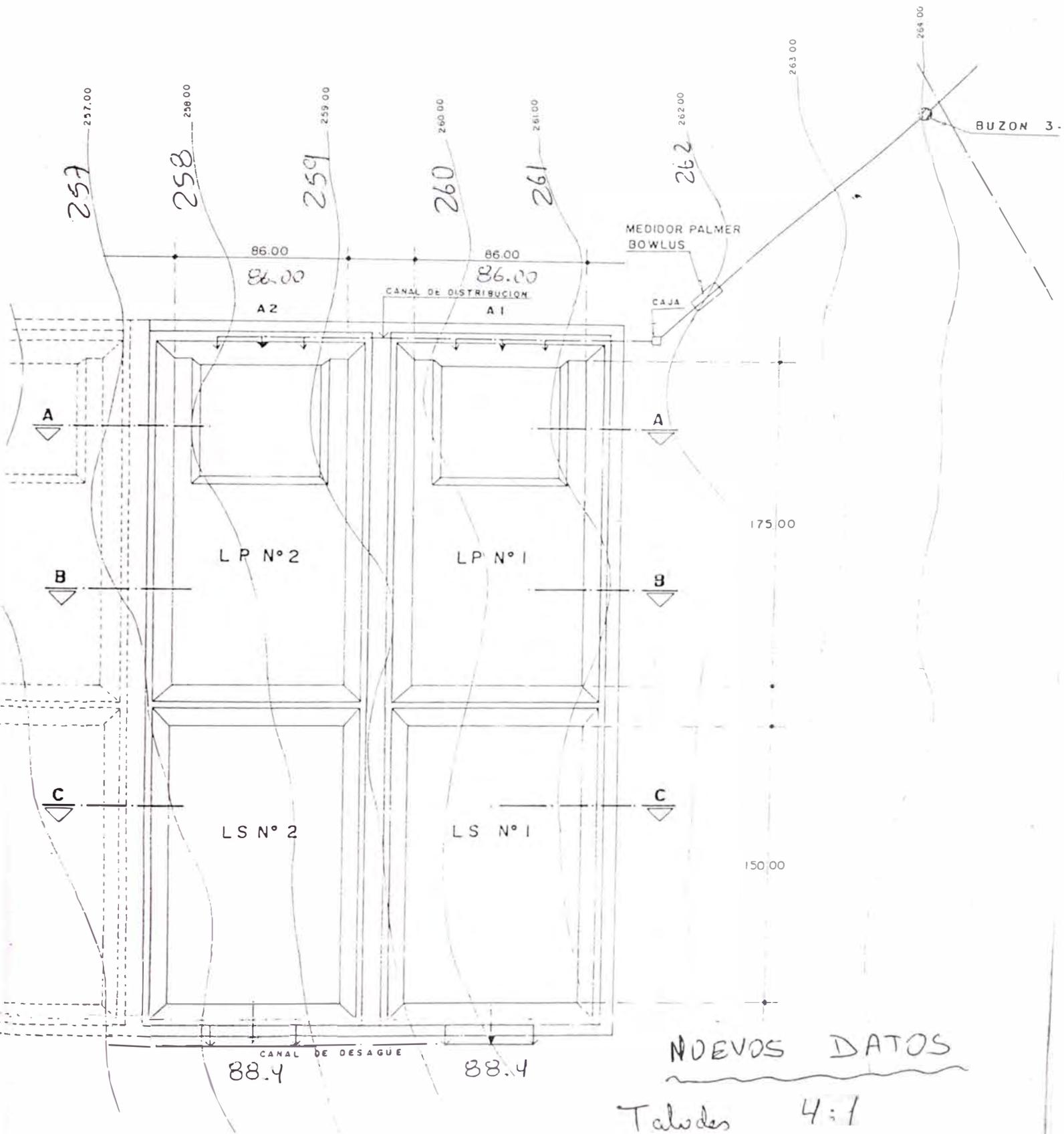
Peso del agua x pie³ Contenido de humedad(%) x P.U.seco

$$\begin{aligned} \text{de muestra no alterada} &= \frac{\text{Contenido de humedad}(\%) \times \text{P.U.seco}}{100} \\ &= \frac{7.8 \times 112.0}{100} = 8.7 \text{ Lb.} \end{aligned}$$

Peso U. húmedo = peso unit. seco + peso del agua = 112 + 8.7 = 120 Lb/pie 3

ANEXO No. 05

**LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE TACNA
PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y CORTES**



LAGUNAS DE ESTABILIZACION

ESC. 1/2,000

NOEVOS DATOS

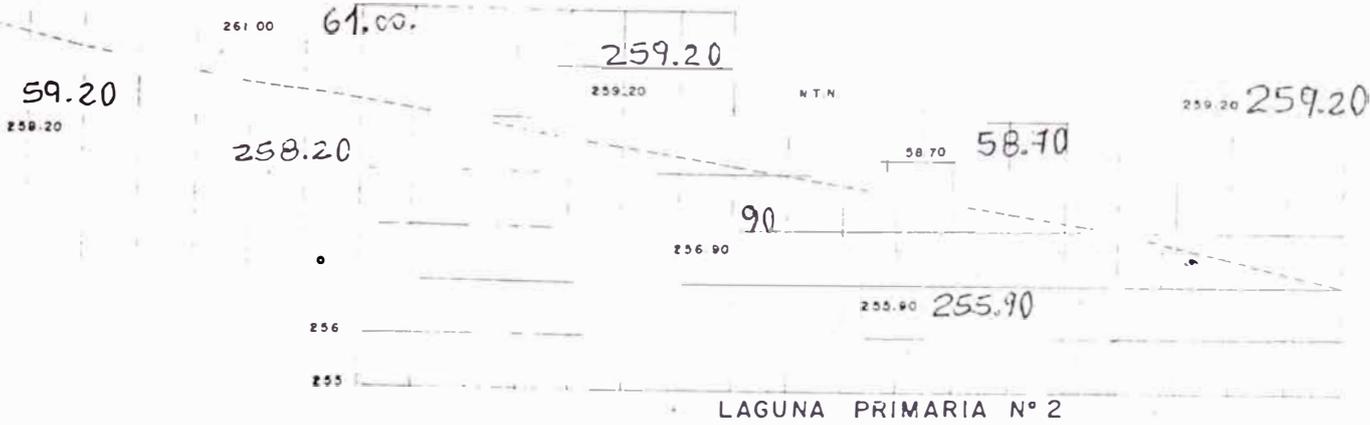
Taludes 4:1
LAG. PRIM. (Fondo)
 86 x 175 m

LAG. SEC. (fondo)
 88.4 x 150

V-1	V-2	86	V-3
-----	-----	----	-----

61.50

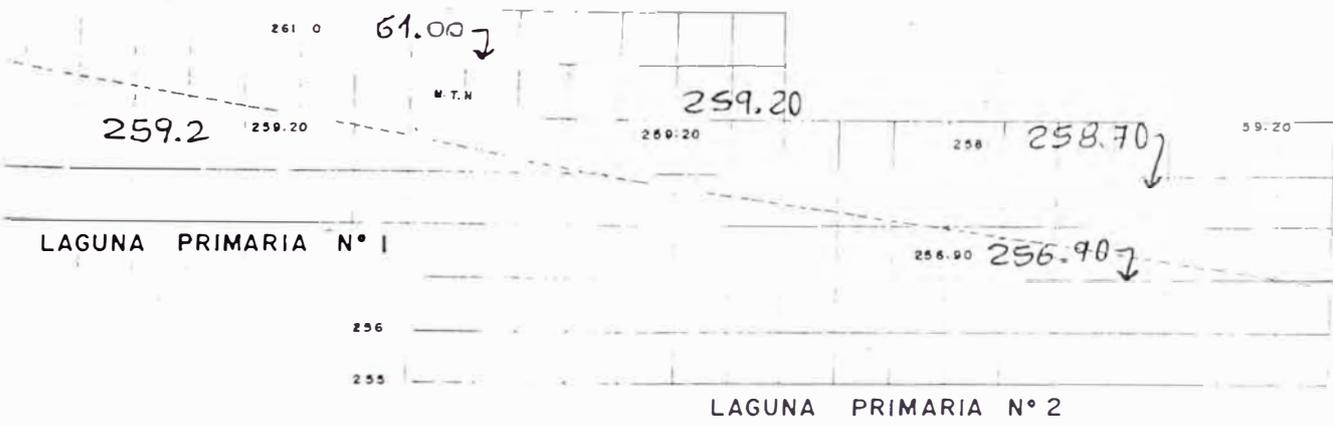
261.50



CORTE A - A

61.50
1.50

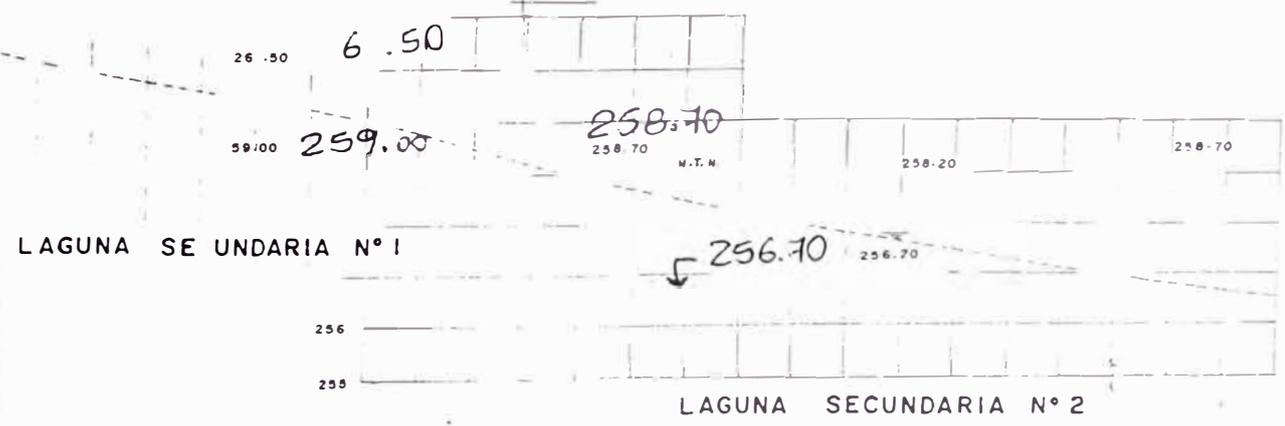
261.00



CORTE B - B

61.00
1.00

261.00



ANEXO No. 06

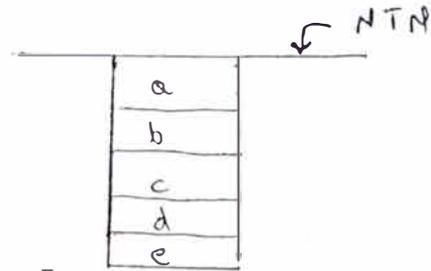
CURVAS GRANULOMETRICAS DEL TERRENO DE FUNDACION

Calicata N° 01

H = 2.50 m

Espesores :

a =	0.15 m
b =	0.35 m
c =	0.20 m
d =	0.70 m
e =	1.10 m

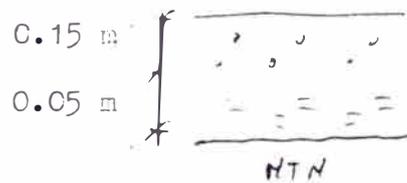


Características del revestimiento

FONDO

Hormigón de excavación

Suelo limo areno

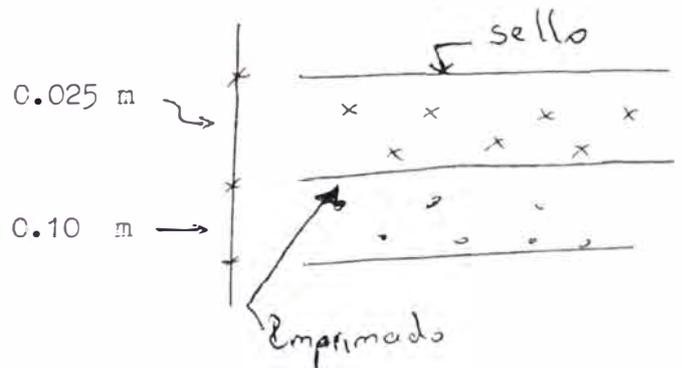


TALUDES

Carpeta asfáltica

Imprimado

Base Granular



Sello : 0.6 gln asfalto/ m²

Imprimado: Asfalto:kerosene 7 : 3

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

CURVA GRANULOMETRICA

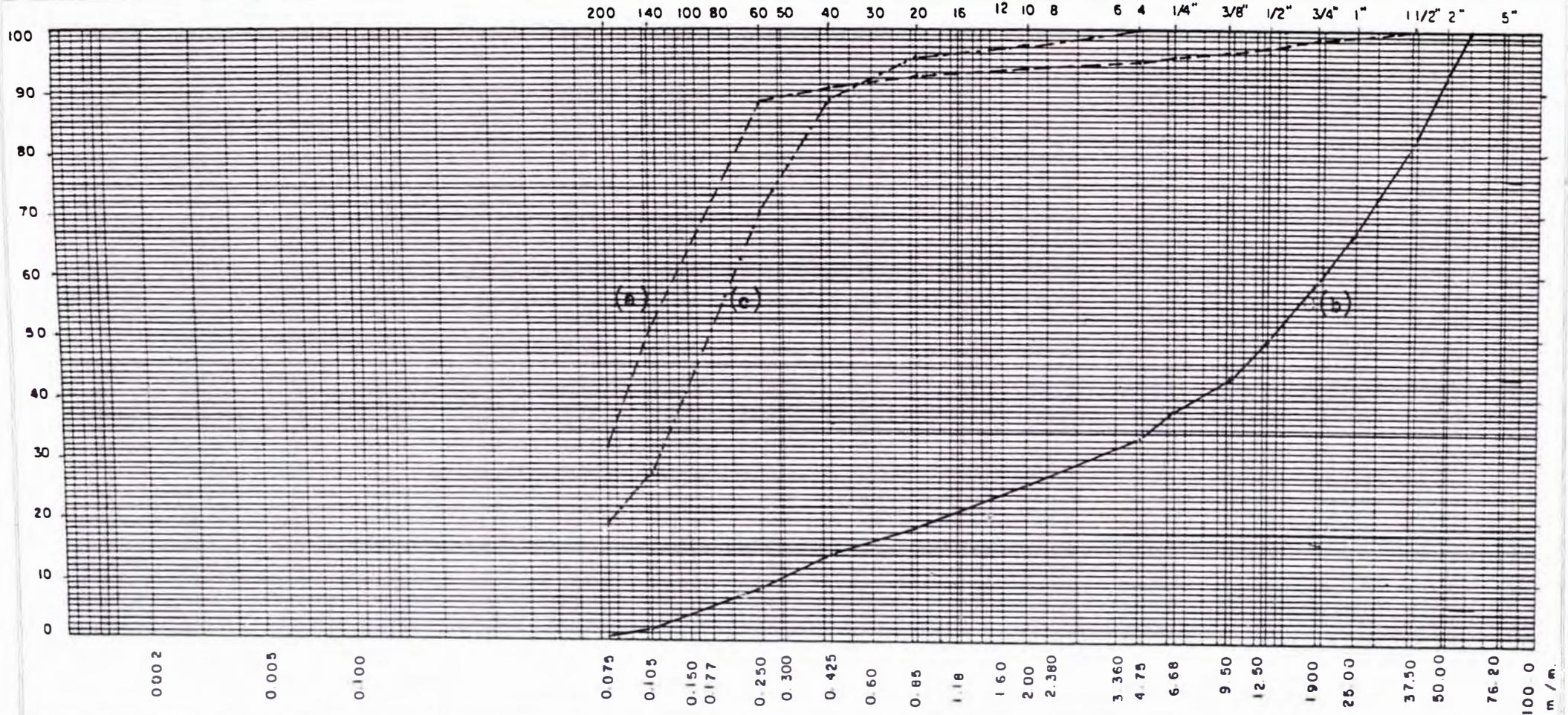
PROYECTO: Lagunas de Estabilización - Planta de Tratamiento de Desagües - EMAPA

MUESTRA: Calicata N.01

ETAPA DE CONSTRUCCION: Estudio de Suelos

INFORME: R.P.Q.

FECHA: Marzo-94



ANALISIS GRANULOMETRICO (% que pasa la malla N.)

Muestra	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N.4	N.10	N.20	N.40	N.60	N.140	N.200	IP	CIAS IP
C-1-a			100	99.03	98.36	97.08	96.21	95.47	94.73	93.78	92.36	90.47	80.50	51.25	30.98	N.P	SM
C-1-b	100	92.38	81.91	67.49	58.96	49.79	43.81	38.13	33.31	25.52	18.86	14.13	8.79	1.87	0.53	N.P	GP
C-1-c									100	97.30	95.60	88.60	70.50	27.40	1.40	N.P	SM

Julio Sarmiento R.
 JULIO SARMIENTO LAZO

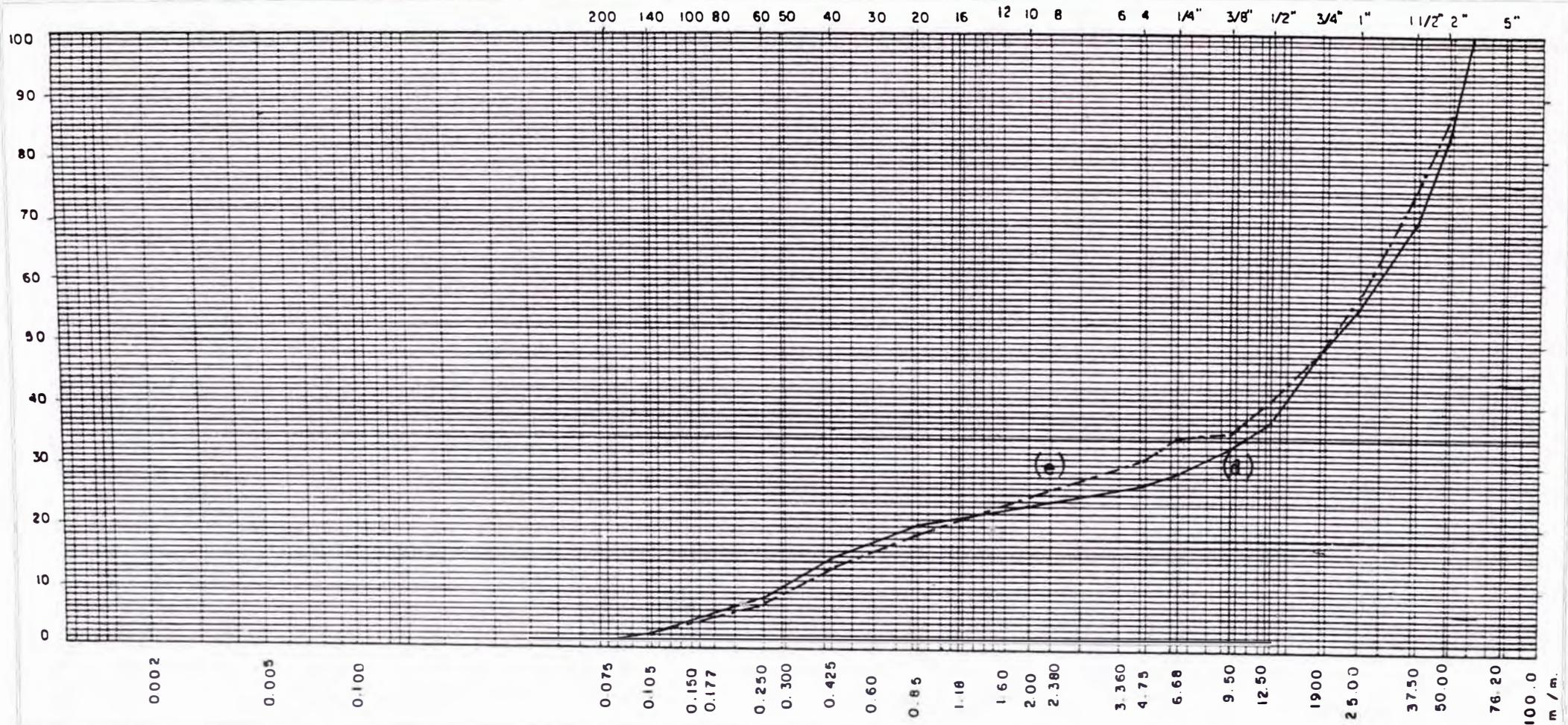
[Signature]

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

CURVA GRANULOMETRICA

PROYECTO: Lagunas de Estabilizacion - Planta de Tratamiento de Desagues - EMAPA
 ETAPA DE CONSTRUCCION: Estudio de Suelos
 INFORME: R.P.Q.

MUESTRA: Calicata N.01
 FECHA: Marzo - 94



ANALISIS GRANULOMETRICO (% que pasa la malla N.)

Muestra	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N.4	N.10	N.20	N.40	N.60	N.140	N.200	IP	CLASIF
C-1-d	100	83.22	69.81	55.85	49.07	37.41	32.91	28.99	26.71	23.29	20.19	14.68	7.72	2.10	0.90	N.P	GP
C-1-Oficina Sup Regional	100	85.90	75.95	57.81	49.08	40.92	35.60	34.87	31.14	24.78	18.86	13.02	7.67	2.13	0.94	N.P	GP

[Handwritten signature]

ANEXO No. 07

CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE SUELOS



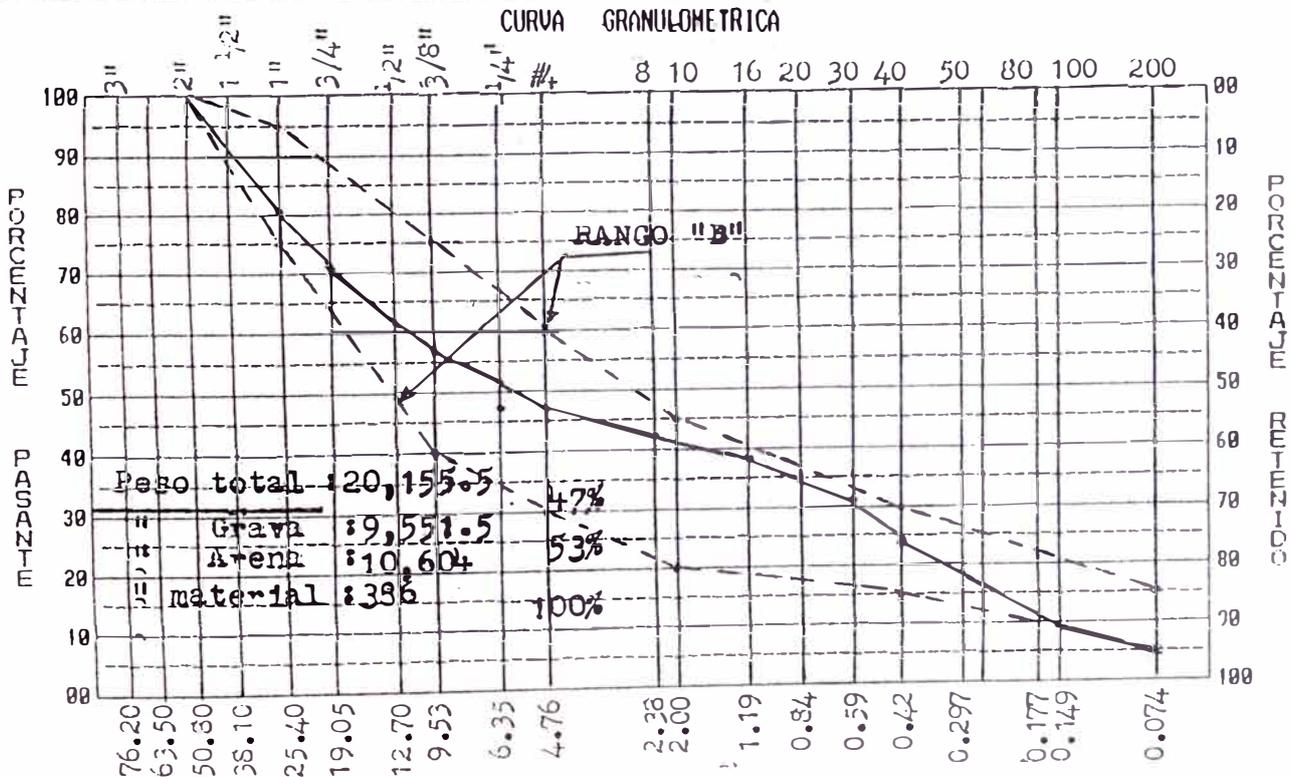
ENSAYO DE GRANULOMETRIA

Nº 00074

PROYECTO : Posas de oxidación OBRA : Posas primarias y secundarias MUESTRA: Nº 4
 ETAPA DE CONSTRUCCION: Estudios SOLICITANTE : Ingº ROMERO FECHA : 10-08-94

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO						CARACTERISTICAS FISICO MECANICAS	
> # 4			< # 4			PROFUNDIDAD =	T.M. =
MALLA	%PAS.	ESPEC.	MALLA	%PAS.	ESPEC.	H.NAT. >#4 =	ABSORCION
1	80.6		#8	43.64		H.NAT. <#4 =	># 4 =
3/4	72.35		#16	38.26		PLASTICIDAD	<# 4 =
1/2	61.76		#30	31.03		L. LIQUIDO =	INTEMPERISMO
3/8	56.88		#40	24.91		I. PLASTICO =	># 4 =
1/4	51.27		#50	19.10		L. CONTRACCION =	<# 4 =
# 4	47.72		#100	8.53		PESOS ESPECIFICOS	CLASIFICACION
			#200	4.33		># 4 =	SUSC =
						<# 4 =	AASHTO =

EXPLORACION*ESTUDIO DE: SUB RASANTE



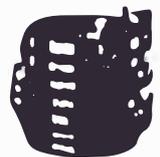
OBSERVACIONES: Muestra tomada de la sub rasante de la corona parte Interior



C. LA TOR TA

ASIST. LABORATORIO

ING. JEFE LABORATORIO



ENSAYO DE GRANULOMETRIA

00084

CTO : OBRAS HIDRAULICAS OBRA Laguna de estabilización MUESTRA: ligante
 DE
 ION: BASE SOLICITANTE : Ing. MALAGA FECHA : 09-09-94

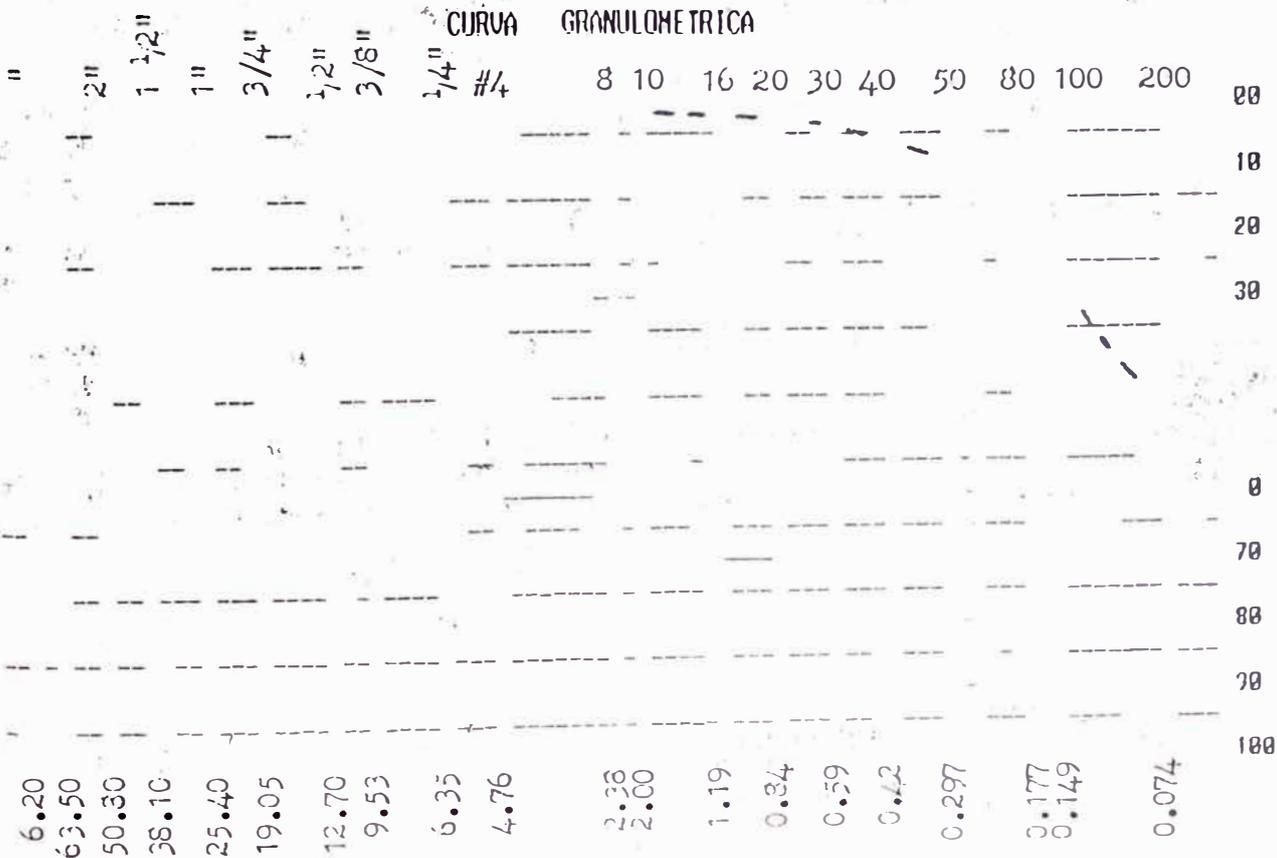
ISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

# 4	< # 4
%PAS.	ESPEC.
	MALLA
	%PAS.
	ESPEC.
	4 100
	# 3 .4
	6
	0 6.

CARACTERISTICAS FISICO MECANICAS

PROFUNDIDAD =	--	T.M. =	--
H.NAT. >#4 =	--	ABSORCION	
H.NAT. <#4 =	--	># 4 =	--
PLASTICIDAD		<# 4 =	--
L. LIQUIDO =	--	INTEMPERISMO	
I. PLASTICO =	--	># 4 =	--
L. CONTRACCION =	--	<# 4 =	--
PESOS ESPECIFICOS		CLASIFICACION	
># 4 =	--	SUSC =	ML
<# 4 =	--	AASHTO =	--

RACION*ESTUDIO DE:

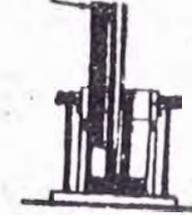


RETENIDO PORCENTAJE



ERVACIONES: Material clasificado como limo de baja plasticidad.



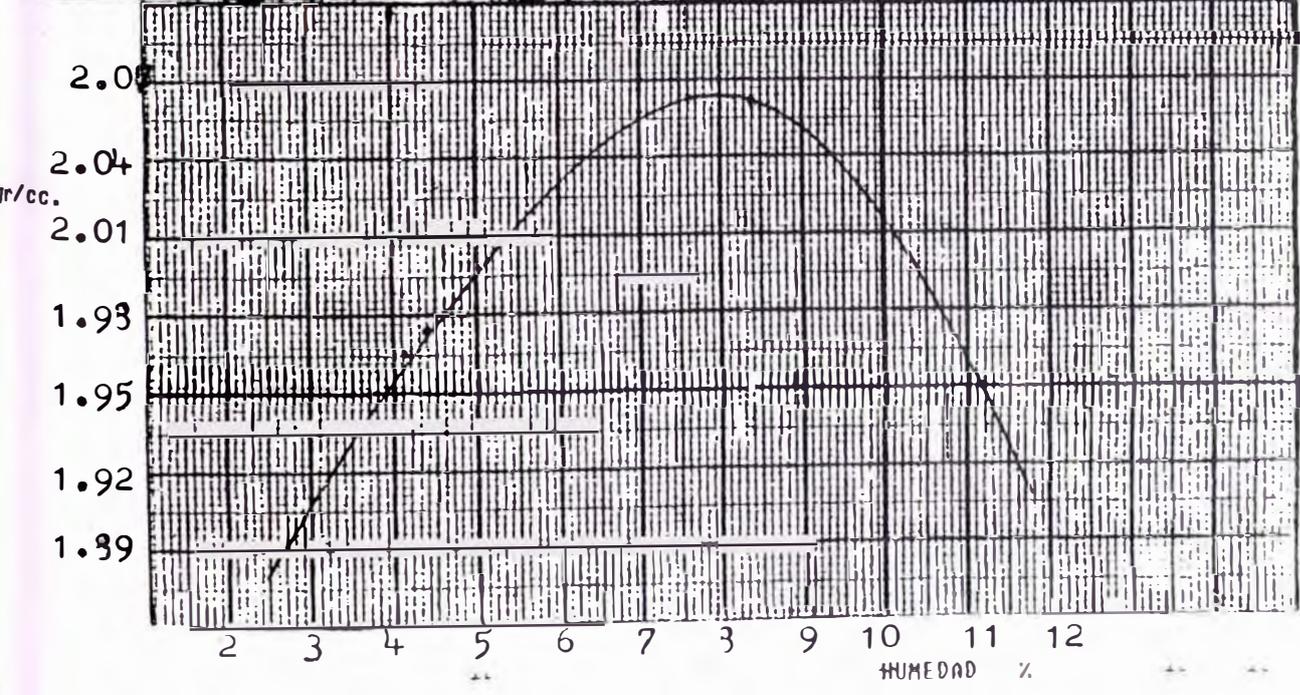


ENSAYO DE COMPACTACION

Nº 00 162

PROYECTO : Obras Hidraulicas OBRA : Lagunas de Estabilización MUESTRA: Nro. 02
 ETAPA DE CONSTRUCCION: Base SOLICITANTE : Ingº Malaga FECHA : 27-03-94

MOLDE Nro.	01					METODO :	Proctor Modificado				
PESO DEL MOLDE :	641					VOLUMEN DEL MOLDE :	2116				
Nro. DE ENSAYOS	01	02	03	04	05						
PESO SUELO HUM. + MOLDE	10539	10302	11174	11024							
PESO SUELO HUM. COMPACTADO	4093	4361	4733	4583							
DENSIDAD HUMEDA	1.94	2.06	2.24	2.17							
Nro. DE TARA	#1	#1	#7	#8							
PESO SUELO HUM. + TARA	61.2	51.60	59.2	299.1							
PESO SUELO SECO + TARA	59.9	49.9	55.5	279.0							
PESO DE LA TARA	11.6	11.4	11.4	198.3							
PESO DEL AGUA	1.3	1.7	3.7	10.1							
PESO DEL SUELO SECO	49.3	38.5	44.1	90.2							
HUMEDAD	2.69	4.42	8.39	11.20							
DENSIDAD SECA	1.39	1.97	2.06	1.95							
DENSIDAD MAXIMA :	2.06		gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA :		8.00		%			



OBSERVACIONES : La muestra fue tomada por personal de laboratorio

[Signature]
 TEC. LABORATORISTA



[Signature]
 ASIST. LABORATORIO TACNA ING. JEFE LABORATORIO

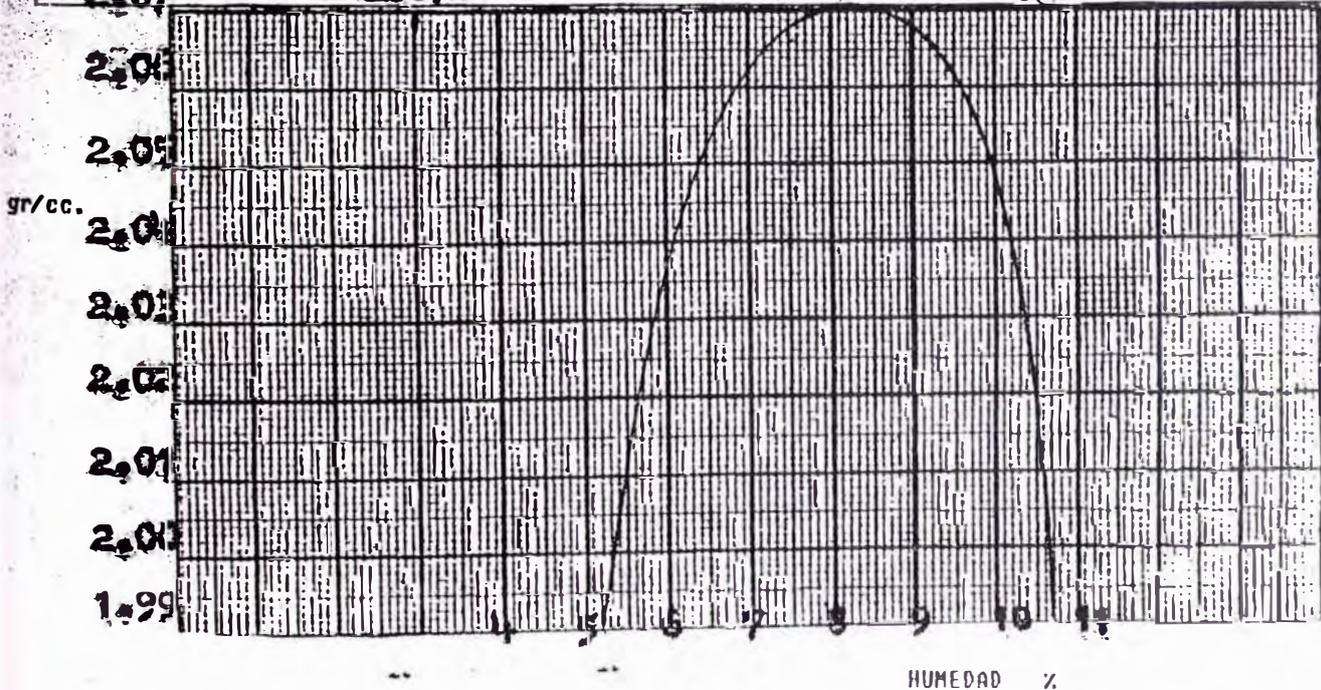


ENSAYO DE COMPACTACION

Nº 00164

PROYECTO: Obras Hidráulicas OBRA: Laguna de Estabilización MUESTRA: Eje 4
ETAPA DE CONSTRUCCION: Base SOLICITANTE: Ing. MALAGA FECHA: 19-9-94

MOLDE Nro.	01					METODO:	Modificado					
PESO DEL MOLDE:	644					VOLUMEN DEL MOLDE:	2116					
Nro. DE ENSAYOS	01	02	03	04	05							
PESO SUELO HUM. + MOLDE	10373	11171	11166									
PESO SUELO HUM. COMPACTADO	4432	4730	4725									
DENSIDAD HUMEDA	2.09	2.22	2.23									
Nro. DE TARA	# 10	# 1	# 7									
PESO SUELO HUM. + TARA	50.0	50.0	50.0									
PESO SUELO SECO + TARA	51.9	51.7	51.8									
PESO DE LA TARA	11.6	11.6	11.4									
PESO DEL AGUA	2.1	3.3	4.2									
PESO DEL SUELO SECO	40.3	40.1	40.4									
HUMEDAD	5.2	8.2	10.4									
DENSIDAD SECA	1.99	2.07	2.02									
DENSIDAD MAXIMA:	2.07					gr/cc.	HUMEDAD OPTIMA:	8.2				
								%				

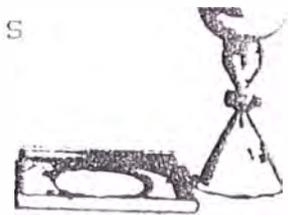


OBSERVACIONES: Material muestreado In Situ

[Signature]
TEC. LABORATORISTA



[Signature]
ASIST. LABORATORIO JEF. LABORATORIO



DENSIDAD DEL SUELO IN SITU

PROYECTO : Obras Hidráulicas OBRA : Laguna de Estabilización MUESTRA : Eje "2" (B-C)
 ETAPA DE CONSTRUCCION : Base SOLICITANTE : Ingeniería FECHA : 13-10-94

Nº 00347

LADO	Izq.	Eje	Der.	Der.	Izq.	Der.
PROGRESIVA O CARGA						
PROFUNDIDAD cm.	15	15	15	15	15	15
N. LATA	03	03	03	03	03	03
PESO DE LA LATA gr.	210	210	210	210	210	210
PESO DE MUESTRA HUM. + LATA gr.	4417	4235	4350	5109	5337	5034
PESO DE MUESTRA HUM. NETO gr.	4207	4025	4140	4899	5177	4824
PESO DE ARENA + FRASCO gr.	V O L U M E N			P O n		
PESO DE ARENA EN EL CONO gr.	A C E I T E			P E S A D O		
PESO DE ARENA EN LA CAVIDAD gr.	A C E I T E			P E S A D O		
DENSIDAD DE LA ARENA gr/cc.	A C E I T E			P E S A D O		
VOLUMEN EN LA CAVIDAD cc.	2000	1800	2000	2000	2250	2000
PESO SUELO HUM. + TARA gr.						
PESO SUELO SECO + TARA gr.						
PESO DE LA TARA gr.						
NUMERO DE LA TARA						
PESO DEL AGUA gr.						
PESO SUELO SECO gr.						
HUMEDAD %	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0
DENSIDAD HUMEDA gr/cc.	2.10	2.24	2.07	2.45	2.30	2.44
DENSIDAD SECA gr/cc.	1.98	2.11	1.95	2.29	2.15	2.28
DENSIDAD MAX. PROCTOR gr/cc.	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06
PORCENTAJE DE COMPACTACION %	96%	102%	95%	111%	104%	111%

CORRECCION POR DIAMETRO > 3/4"

PESO DE GRAVA > 3/4" gr.						
VOLUMEN DE GRAVA > 3/4" cc.						
% DE COMPACTACION CORREGIDO %						

OBSERVACIONES : Los porcentajes de compactación se encuentran dentro de los rangos específicos.

TEC. LABORATORISTA

ASIST. LABORATORIO



ING. JEFE LABORATORIO



DENSIDAD DEL SUELO IN SITU

PROYECTO : Obras Hidráulicas OBRA : Laguna de Estabilización MUESTRA : _____
 ETAPA DE _____
 CONSTRUCCION : Base SOLICITANTE : Ing° Málaga FECHA : 21-10-94

(B-C)
Lado N- 4

(L1-2)
Eje "A"

Nº 00350

LADO	Der.	Izq.	Der.	Eje	
PROGRESIVA O CARGA					
PROFUNDIDAD cm.	15	15	15	15	
N. LATA	03	03	03	03	
PESO DE LA LATA gr.	210	210	210	210	
PESO DE MUESTRA HUM. + LATA gr.	4530	4570	5050	5090	
PESO DE MUESTRA HUM. NETO gr.	4320	4360	4840	4330	
PESO DE ARENA + FRASCO gr.					
PESO DE ARENA Q' QUEDA + FRASCO	V O L U M E N P O R				
PESO DE ARENA EN EL CONO gr.					
PESO DE ARENA EN LA CAVIDAD gr.	A C H I T E P E S A D O				
DENSIDAD DE LA ARENA gr/cc.					
VOLUMEN EN LA CAVIDAD cc.	2000	2000	2100	2200	
PESO SUELO HUM. + TARA gr.					
PESO SUELO SECO + TARA gr.					
PESO DE LA TARA gr.					
NUMERO DE LA TARA					
PESO DEL AGUA gr.					
PESO SUELO SECO gr.					
HUMEDAD %	10.0	10.0	8.0	8.0	
DENSIDAD HUMEDA gr/cc.	2.16	2.18	2.30	2.22	
DENSIDAD SECA gr/cc.	1.96	1.98	2.13	2.06	
DENSIDAD MAX. PROCTOR gr/cc.	2.06	2.06	2.06	2.06	
PORCENTAJE DE COMPACTACION %	95%	96%	103%	100%	

CORRECCION POR DIAMETRO > 3/4"

PESO DE GRAVA > 3/4" gr.					
VOLUMEN DE GRAVA > 3/4" cc.					
% DE COMPACTACION CORREGIDO %					

OBSERVACIONES : El primer y segundo puntos se requiere mejorar su compactación.

TEC. LAB ORISTA

ASIST. LABORATORIO



ING. JEFE LABORATORIO

Nº 00024

PROYECTO : _____ OBRA Embalse (MAPA) MUESTRA: bagollo
 ETAPA DE Estudio de
 CONSTRUCCION: terreno de fundación SOLICITANTE Ing. M. ... FECHA : 05.07.91

ENSAYO DE PESOS UNITARIOS

ARENA - GRAVA

	SUELTO				VARILLADO			
PESO DEL MOLDE	0441	0441	0441	0441				
VOLUMEN DEL MOLDE	2110	2110	2110	2110				
PESO DEL MOLDE + MUESTRA	9335	9750	9703	9797				
PESO DE LA MUESTRA NETA	3394	3325	3267	3352				
PESO UNITARIO	1.576 gr/cc.							

GRAVA

	SUELTO				VARILLADO			
PESO DEL MOLDE								
VOLUMEN DEL MOLDE								
PESO DEL MOLDE + MUESTRA								
PESO DE LA MUESTRA NETA								
PESO UNITARIO								

OBSERVACIONES : material muestreado en el mismo terreno (terreno de fundación.

ENSAYO DE % DE ABSORCION

MUESTRA	ARENA	GRAVA
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARA		
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARA		
PESO NETO DE LA MUESTRA HUMEDA		
PESO NETO DE LA MUESTRA SECA		
PESO DE LA TARA		
% ABSORCION (%)		



OBSERVACIONES :

[Signature]
TEC. LABORATORISTA

[Signature]
ASIST. LABORATORIO
JEFE LABORATORIO





ENSAYO DE PLASTICIDAD

Nº 00022

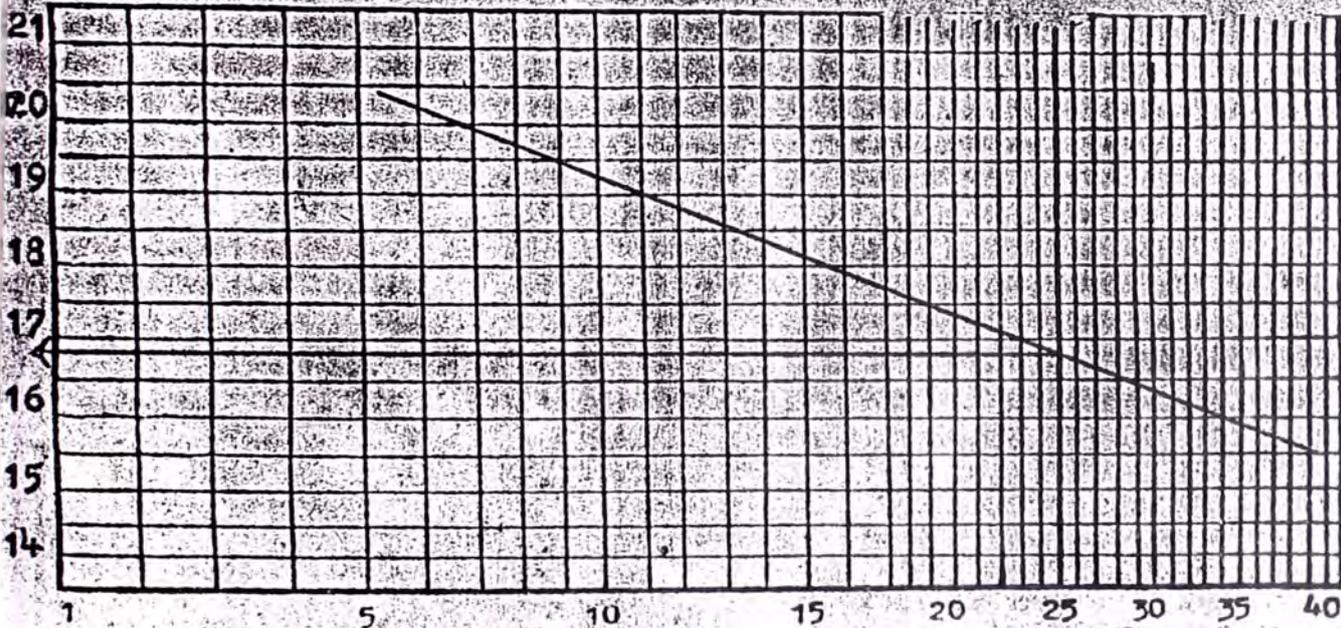
PROYECTO : _____ OBRA : Embalse (EMAPA) MUESTRA : Magollo
 ETAPA DE Estudio de
 CONSTRUCCION : Terreno de Fundacion SOLICITANTE : Ing. M. M. G. FECHA : 05.07.94

LIMITE LIQUIDO

L. PLASTICO

Nro. DE GOLPES	3	12	20
Nro. DE TARA	T-11	# 7	T-13
PESO SUELO HUM. + TARA	17.4	23.9	17.3
PESO SUELO SECO + TARA	15.3	21.9	15.4
PESO DE LA TARA	4.6	11.3	4.4
PESO DEL AGUA	2.1	2.0	1.9
PESO DEL SUELO SECO	10.7	10.6	11.0
HUMEDAD	19.6	18.9	17.3

L. L. 16.8 %	L. P. N.P. %	I. P. N.P. %
--------------	--------------	--------------



OBSERVACIONES : Material muestreado In Situ No Plastico.

TEC. LAB RATORISTA

ASIST. LABORATORIO

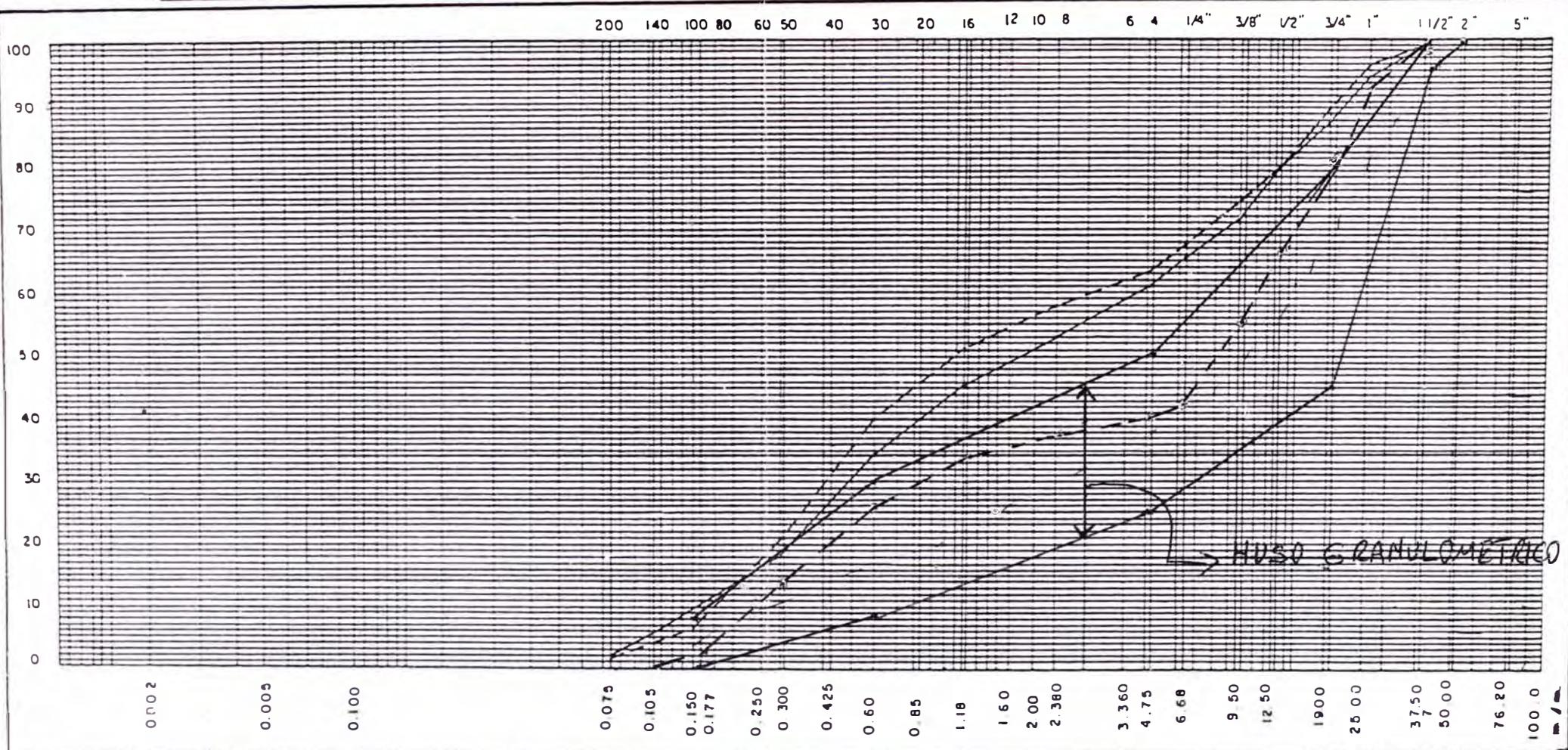
ING. JEFE LABORATORIO



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO

CURVA GRANULOMETRICA

PROYECTO: LAGUNA DE ESTABILIZACION-PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESAJE-1era. ETAPA MUESTRA: LAS QUE INDICA
 ETAPA DE CONSTRUCCION: ANALISIS DE AGREGADO - CONCRETO INFORME: R.P.Q. FECHA: 12-08-94



Muestra	ANALISIS GRANULOMETRICO (% que pasa la malla N.)															M.P.	LEYENDA
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N.4	N.8	N.16	N.30	N.50	N.100	N.200		
C-1		100	98.99	95.77	88.76	79.75	74.22	67.74	63.28	57.96	51.24	40.09	21.18	6.51	1.49	---	
C-2		100	99.46	94.16	86.90	79.85	71.79	65.42	60.85	53.16	45.43	34.21	18.22	6.57	1.74	---	

Instituto Nacional de Desarrollo
 de Tacna

de Tacna
[Signature]
 Sr. Roberto Palomino

ANEXO No. 08

RENDIMIENTOS PROMEDIO DE EQUIPO MECANICO

Camión Cisterna 4x2 Agua	122	2,000 Glns	13,000	329.0
Camión Cisterna 4x2 Combs)	178-210	3,000 Glns	19,000	287.0
Camión Cisterna 4x2 ASF)	122	2,000 Glns	13,000	351.0
Camión Concretero 4x2	178-210	2,000 Glns	13,000	351.0
Camión Concretero 6x4	178-210	4 m3	19,000	509.0
Camión Plataforma 4x2	300	6 m3	26,000	223.0
Camión Plataforma 6x2	122	8 Ton	13,000	278.0
Camión Plataforma 6x4	178-210	12 Ton	19,000	450.0
	300	19 Ton	26,000	
Camión Semitrayer 4x2	330	35 Ton	42,600	513.0
Camión Semitrayer 6x4	330	40 Ton	54,420	260.0
Camión Volquete 4x2	120-140	4 m3	11,500	296.0
Camión Volquete 4x2	140-210	6 m3	15,000	400.0
Camión Volquete 4x2	210-280	8 m3	19,000	498.0
Camión Volquete 6x4	330	10 m3	26,000	676.0
Dumper 6x4	146	9.0-11.5 m3	32,200	784.0
Dumper 6x6	210	9.6-12.5 m3	38,400	380.0
Camión Imprimador 6x2	178-210	1,800 Glns	16,745	

ANEXO No. 2

APLICACION DEL RENDIMIENTO STANDAR O PROMEDIO DE EQUIPO MECANICO

Los rendimientos standar disminuirán por antigüedad, en el mismo porcentaje que disminuye el Costo del Alquiler de Equipo Mecánico.

Hasta 5 años	00o/o
De 5 a 9 años	30o/o
Más de 9 años	40o/o

RENDIMIENTO STANDAR DE EQUIPO MECANICO			Rendimiento standar por día de 8 horas						
Equipo	Modelo	Potencia H.P.	Tipo de Trabajo	COSTA	SIERRA Hasta 2,300m.	2,300 a 3,800m.	Más de 3,800m.	SELVA	
TRACTOR	D9L	460	EXCAVACION (m3/d)	Material Suelto	2350	2010	1650	1340	1540
				Roca Suelta	1610	1540	1280	1080	1320
	Roca Fija	1300		1240	1030	870	1060		
	Material Suelto	1250		1070	880	710	820		
	Roca Suelta	860		820	680	580	700		
	Roca Fija	690		660	550	460	560		
	Material Suelto	1180		1010	820	670	770		
	D8L	335							
	D8K	300							

S	Modelo	Potencia H.P.	Capacidad	Tipo de Trabajo	Rendimiento standar por día de 8 horas				
					COSTA	SIERRA Hasta 2,300m.	2,300 a 3,800m.	Más de 3,800m.	SELVA
D7G	200	D. Media—60m. Rendimiento en Banco		Roca Fija	650	620	510	430	530
				Material Suelto	810	690	570	460	530
				Roca Suelta	550	530	440	370	450
				Roca Fija	450	420	350	300	360
D6D	140			Material Suelto	470	400	360	310	310
				Roca Suelta	320	310	280	250	260
				Roca Fija	260	250	220	190	220

Rendimiento standar por día de 8 horas

SIERRA

Hasta 2,300m. 2,300 a 3,800m. Más de 3,800m.

Equipo	Modelo	Potencia H.P.	Capacidad	Tipo de Trabajo	COSTA	SIERRA Hasta 2,300m.	2,300 a 3,800m.	Más de 3,800m.	SELVA	
CARGADOR FRONTAL	CAT.930	100	1.72 m3	TRANSP. DE MATERIAL (M3/D) (CAMION 7 M3)	Material Suelto	760	700	620	550	600
				Roca Suelta	680	610	550	480	520	
				Roca Fija	610	550	490	430	470	
	CAT.9508	155	2.40 m3.	TRANSP. DE MATERIAL (M3/D) (CAMION 10 M3)	Material Suelto	1040	950	840	750	810
				Roca Suelta	920	840	740	660	710	
				Roca Fija	820	750	690	610	640	
CAT.966D	200	3.10 m3.	TRANSP. DE MATERIAL (M3/D) (CAMION 10 M3)	Material Suelto	1290	1180	1050	930	1000	
			Roca Suelta	1110	1010	900	800	860		
			Roca Fija	970	880	790	700	750		

Rendimiento standar por día de 8 horas

SIERRA

Hasta 2,300m. 2,300 a 3,800m. Más de 3,800m.

Equipo	Modelo	Potencia H.P.	Capacidad	Tipo de Trabajo	COSTA	SIERRA Hasta 2,300m.	2,300 a 3,800m.	Más de 3,800m.	SELVA			
RETRO- EXCA- VADORA	215	90	0.70 m3.	Material Suelto	720	600	570	450	500			
				Roca Suelta	420	370	350	290	340			
				Roca Fija C/Volad.	290	270	250	200	240			
			0.90 m3.	Material Suelto	840	700	660	520	580			
				Roca Suelta	490	430	410	330	390			
				Roca Fija C/Volad.	330	310	290	230	270			
	225	125	1.1 m3.	EXCAVACION (M3/D) Rendimiento en Banco	Material Suelto	1050	980	900	710	740		
				Roca Suelta	620	590	550	450	500			
				Roca Fija C/Volad.	430	400	380	330	360			
				235	195	1.30 m3.	Material Suelto	1240	1150	1060	840	870
							Roca Suelta	730	700	650	530	590
							Roca Fija C/Volad.	500	480	450	390	420
Material Suelto	1430	1330	1230	970	1000							

ANEXO No. 09

FOTOS DE OBRA



Foto No. 01: Tractor D7-F en excavación masiva de Lagunas de Estabilización



Foto No. 02: Tractor D8-H en corte de taludes Laguna Primaria No. 01



Foto No. 03: Acumulación de material de relleno en dique de laguna



Foto No. 04: "Batido" de material de relleno con motoniveladora de 125 H.P. y selección manual de piedra mayor de 4"



Foto No. 05: Eliminación de material excedente con cargador frontal de 4.0 yd³ y volquetes de 10 m³.



Foto No. 06: Peinado de taludes con motoniveladora de 162 H.P. y, al fondo, verificación de pendiente con escuadra de madera



Foto No. 07: Compactación de diques de lagunas con Rodillo liso vibratorio de 11 Tn.



Foto No. 08 : Prueba de densidad de campo en taludes de lagunas



Foto No. 09: Compactado en taludes de lagunas con rodillo liso de 1.5 Tn. y tractor de tiro para evitar volteo



Foto No. 10: Primera capa de asfalto líquido, impermeabilización de taludes lagunas



Foto No. 11: Canal principal, cámara de rejillas y canal bypass concluidos.



Foto No. 12: Canal de distribución No 2, caída de laguna 1 a 2 y caja de ingreso a laguna No. 02

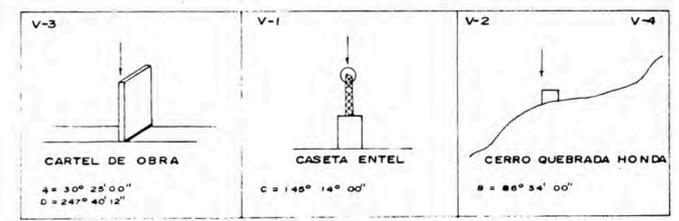
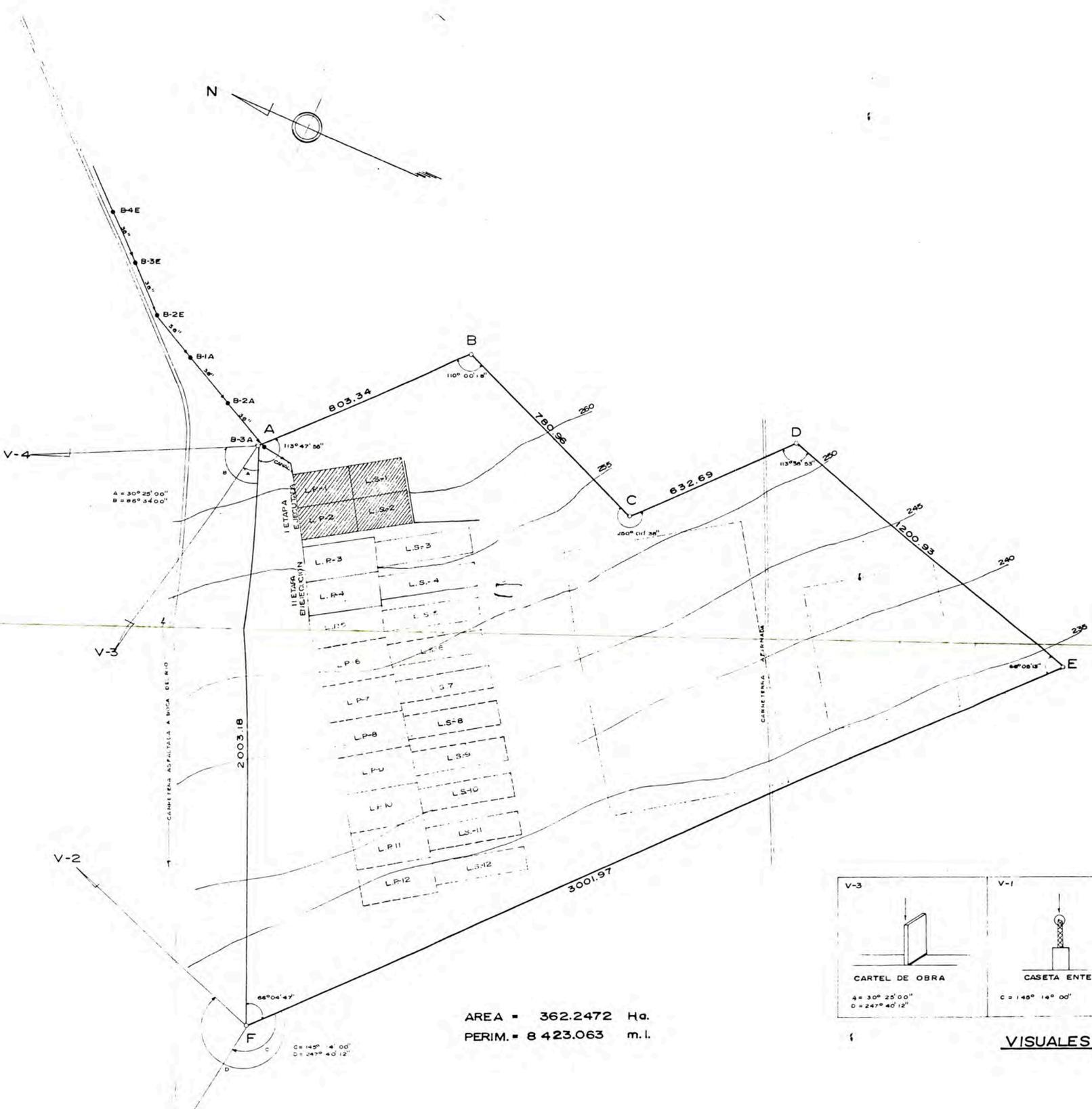
ANEXO No. 10

PLANOS DE REPLANTEO DE OBRA

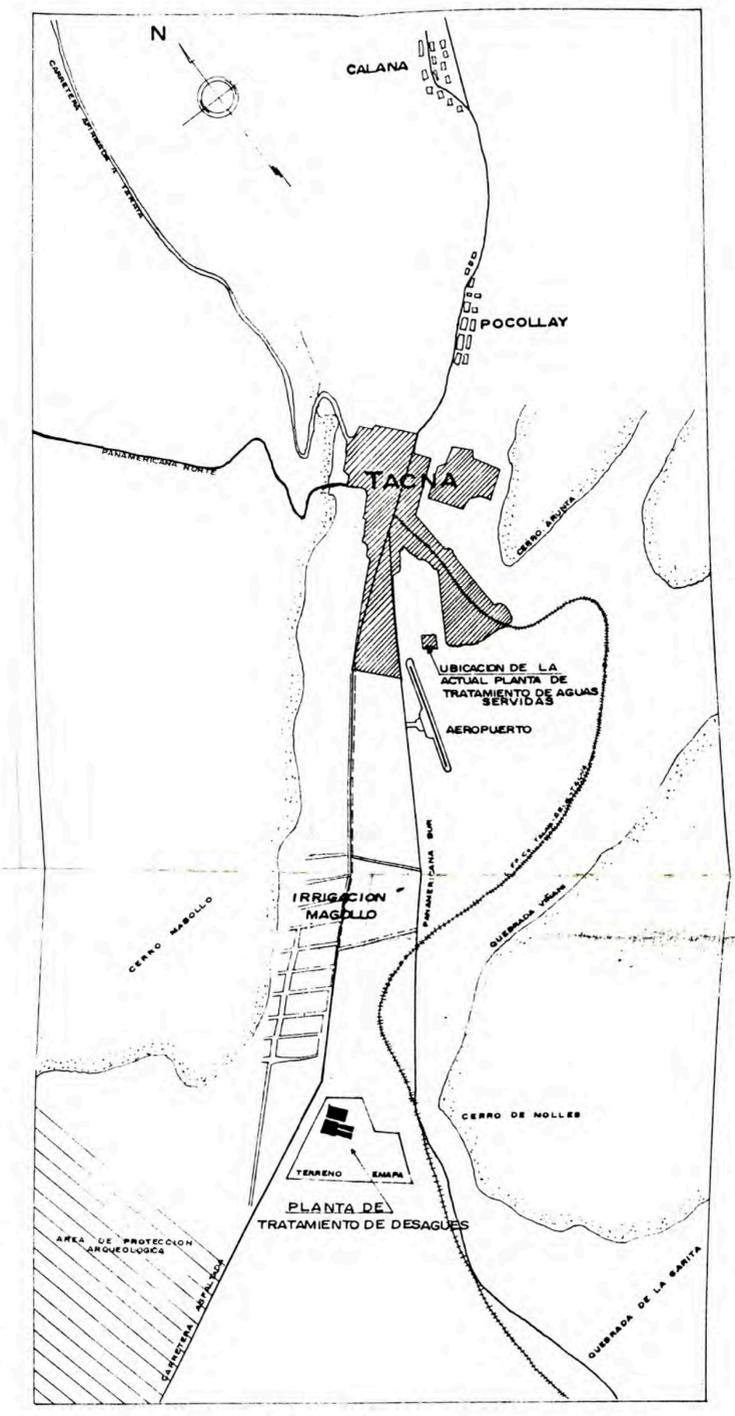
BIBLIOGRAFIA

LAGUNAS DE ESTABILIZACION DE LA CIUDAD DE TACNA

- 1.- Expediente Técnico de Obra: "Lagunas de Estabilización - Planta de Tratamiento de Desagües de la Ciudad de Tacna - I Etapa"
EMAPA Tacna, 1994
- 2.- Expediente Técnico de Obra: "Lagunas de Estabilización - Planta de Tratamiento de Desagües de la Ciudad de Tacna - II Etapa"
EMAPA Tacna, 1994
- 3.- Expediente de Liquidación de Obra: "Lagunas de Estabilización - Planta de Tratamiento de Desagües de la Ciudad de Tacna - I Etapa"
EMAPA Tacna, 1995
- 4.- Alternativas de funcionamiento del actual sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna
CEPIS, 1994
- 5.- Proyecto de Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Tacna
EMAPA Tacna, 1992
- 6.- Aspectos prácticos de Construcción de Lagunas de Estabilización
Ing. Ricardo Rojas Vargas, CEPIS, 1990
- 7.- 1er. Curso Taller "Diseño, Construcción, Operación, Evaluación y Mantenimiento de Lagunas de Estabilización"
CEPIS, 1994
- 8.- 2do. Curso Taller sobre lagunas de Estabilización "Diseño, Construcción, Operación, Evaluación y Mantenimiento"
CEPIS, 1995
- 9.- Apuntes de obra: "Lagunas de Estabilización - Planta de Tratamiento de Desagües de la Ciudad de Tacna - I Etapa"



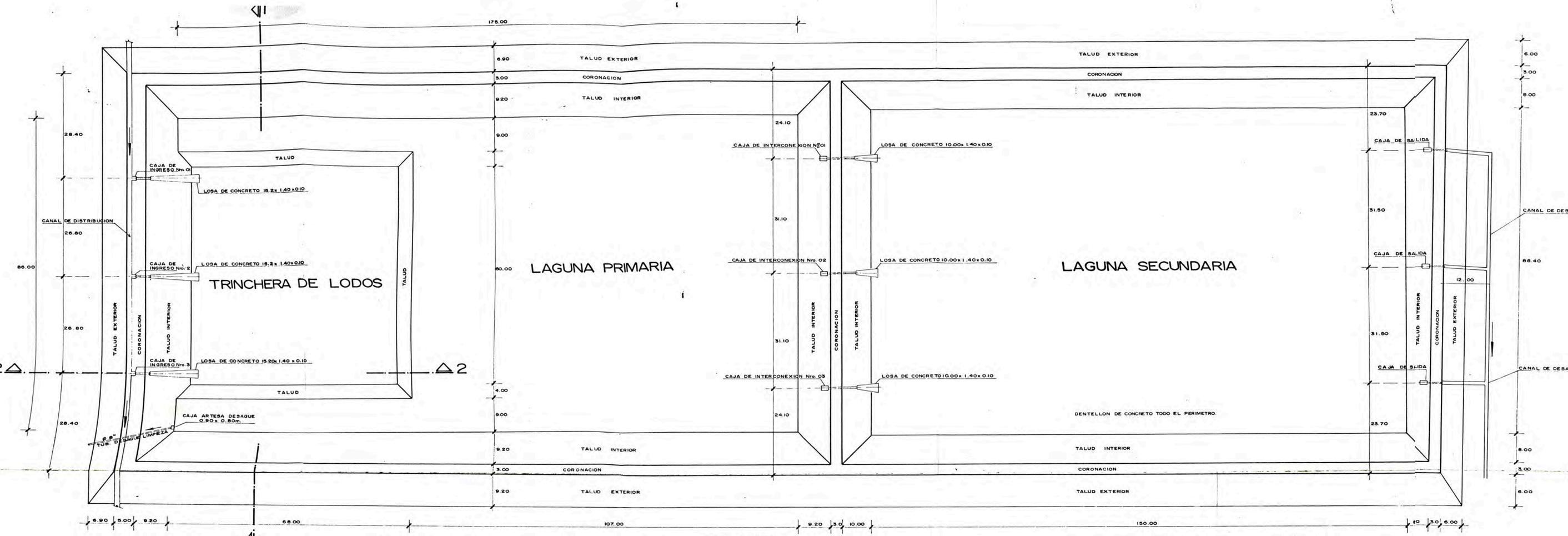
VISUALES



NOTA: EL PRESENTE PLANO DE REPLANTEO CORRESPONDE A LOS TRABAJOS REALIZADOS POR EMAPA. OTROS DETALLES VER EN PLANO DE TRABAJOS REALIZADOS POR M.P.T. POR CONVENIO.



GERENCIA DE INGENIERIA DIVISION DE OBRAS		emapa EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE TACNA	
TOP: F. O. B.	DIB: R. C. H. H.	PLANO DE REPLANTEO:	
RESIDENTE: L. ALVAREZ S.	ELABORO: B. ING. L. ALVAREZ S.	LAGUNAS DE ESTABILIZACION	
ESC: INDICADA	SUPERVISOR: B. ING. J. GUIBO M.	PLANO DE REPLANTEO PERIMETRICO - UBICACION	
FECHA: ABRIL - 1995	APROB: ING. G. OLIVAS A.		
DPTO: TACNA	PROV: TACNA	DISTRITO: TACNA	TOTAL PLANO: 07 PLANC N°: R. L. E.-01
		PROYECTO:	



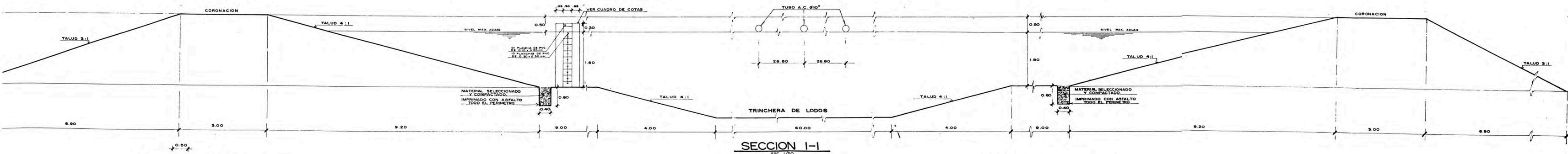
CUADRO DE COTAS

	L.P.1	L.P.2	L.S.1	L.S.2
CORONA	260.65	258.75	260.15	258.25
NIVEL DE AGUA	260.15	258.25	259.65	257.75
CAJA DE INGRESO Nro. 01	260.23	258.36	—	—
CAJA DE INGRESO Nro. 02	260.19	258.33	—	—
CAJA DE INGRESO Nro. 03	260.16	258.29	—	—
CAJA DE INTERCONEXION Nro. 01	—	—	259.71	257.81
CAJA DE INTERCONEXION Nro. 02	—	—	259.71	257.81
CAJA DE INTERCONEXION Nro. 03	—	—	259.71	257.81
CAJA DE DESAGUE	260.46	258.56	—	—

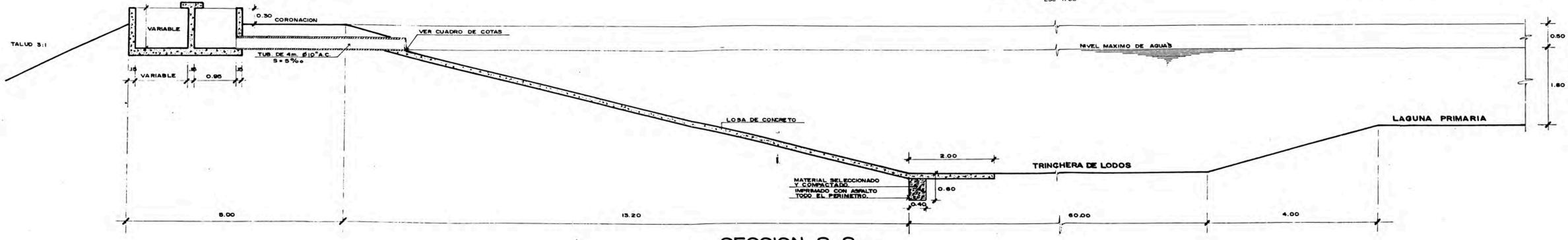
LEYENDA

L.P.1 = LAGUNA PRIMARIA Nro. 01
 L.P.2 = LAGUNA PRIMARIA Nro. 02
 L.S.1 = LAGUNA SECUNDARIA Nro. 01
 L.S.2 = LAGUNA SECUNDARIA Nro. 02

PLANTA
 ESC. 1/500



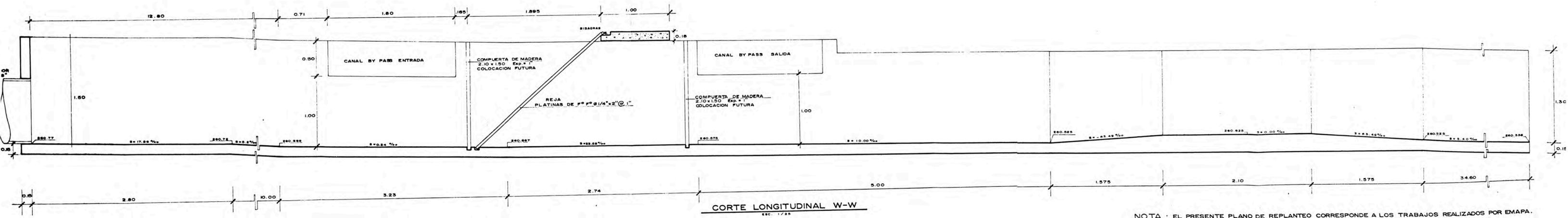
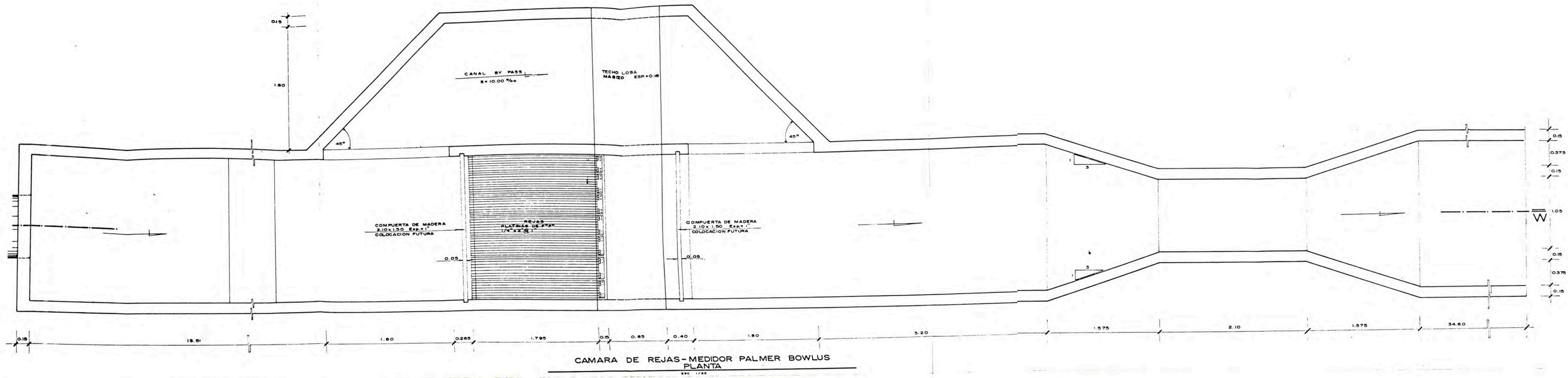
SECCION I-I
 ESC. 1/50



SECCION 2-2
 ESC. 1/50

NOTA: EL PRESENTE PLANO DE REPLANTEO CORRESPONDE A LOS TRABAJOS REALIZADOS POR EMAPA. OTROS DETALLES VER EN PLANO DE TRABAJOS REALIZADOS POR M.R.T. POR CONVENIO.

GERENCIA DE INGENIERIA DIVISION DE OBRAS		emapa EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE TACNA
TOPOGRAFO: FIDEL OVEDO B.	DIBUJO: TEC. W. CCALLI G.	
RESIDENTE DE OBRA: B. ING. L. ALVAREZ B.	ELABORO: B. ING. L. ALVAREZ B.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESAGUES DE TACNA. LAGUNAS DE ESTABILIZACION I ETAPA PLANO DE REPLANTEO INGRESO A LAGUNA PRIMARIA: PLANTA Y CORTES
ESCALA:	SUPERVISO: B. ING. J. GUIBO M.	
FECHA: ABRIL 1, 1995	APROBO: ING. G. OLIVAS A.	
DEPARTAMENTO: TACNA	PROVINCIA: TACNA	
	DISTRITO: TACNA	TOTAL DE PLANOS: 07 PLANO Nro. R-02
		PROYECTO Nro.



NOTA: EL PRESENTE PLANO DE REPLANTEO CORRESPONDE A LOS TRABAJOS REALIZADOS POR EMAPA. OTROS DETALLES VER EN PLANO DE TRABAJOS REALIZADOS POR M.P.T. POR CONVENIO.



GERENCIA DE INGENIERIA DIVISION DE OBRAS		emapa EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE TACNA
TOPOGRAFO: FIDEL OVIEDO B.	DIBUJO: TEC. W. CCALLI G.	
RESIDENTE DE OBRA: B. ING. L. ALVAREZ S.	ELABORO: B. ING. L. ALVAREZ S.	PLANO DE: REPLANTEO LAGUNAS DE ESTABILIZACION CAMARA DE REJAS - CANAL BY PASS
PREPARO:	SUPERVISO:	