

UES BIBLIOTECA CENTRAL
INVENTARIO: 10120665

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO DEL SISTEMA DE EVACUACION PLUVIAL
EN LAS AREAS HIDROGRAFICAS QUE AFECTAN
LOS DESARROLLOS URBANOS VALLE NUEVO,
MATAZANO Y SANTA LUCIA**



TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

**TOMAS DE JESUS MARTINEZ FLORES
GUILLERMO MANUEL NOYOLA ARIAS
FIDEL ALFONSO OLMEDO LOPEZ**

PREVIA OPCION AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

NOVIEMBRE DE 1985

SAN SALVADOR

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA

T
551.302
M385e

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR: DR. MIGUEL ANGEL PARADA

SECRETARIO GENERAL: DRA. ANA GLORIA CASTANEDA PADILLA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO: ING. MANUEL ANTONIO CAÑAS LAZO

SECRETARIO: ING. RENÉ MAURICIO MEJÍA MÉNDEZ

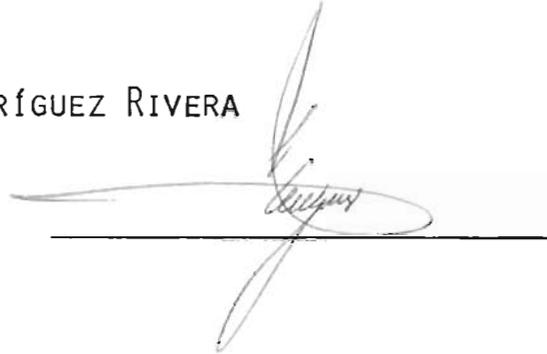
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR: ING. ROBERTO OSWALDO SALAZAR
MARTÍNEZ.

TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADOR:

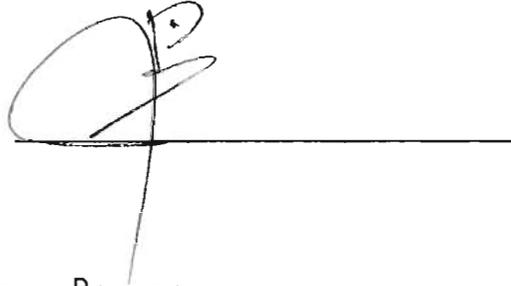
ING. RAÚL RODRÍGUEZ RIVERA



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Raúl Rodríguez Rivera', is written over a horizontal line.

ASESORES:

ING. HERNÁN ROMERO CHAVARRÍA



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hernán Romero Chavarría', is written over a horizontal line.

ING. ANGEL EULOGIO ROMERO



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Angel Eulogio Romero', is written over a horizontal line.



A G R A D E C I M I E N T O S

NUESTROS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS A LOS INGENIEROS: RAÚL RODRÍGUEZ RIVERA, COORDINADOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN; HERNÁN ROMERO CHAVARRÍA, ASESOR; ANGEL E. ROMERO, ASESOR "AD HONOREM"; POR SU VALIOSA ORIENTACIÓN, COLABORACIÓN Y ESFUERZO PARA EL BUEN DESARROLLO Y FELIZ TÉRMINO DEL PRESENTE TRABAJO; Y A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA FORMA NOS BRINDARON SU COLABORACIÓN DESINTERESADA, SIN LA CUAL NO HUBIERA SIDO POSIBLE ALCANZAR NUESTROS OBJETIVOS.

TOMÁS, GUILLERMO Y FIDEL.

DEDICO EL PRESENTE TRABAJO A :

DIOS TODOPODEROSO: POR BRINDARME SU ILUMINACIÓN Y ESPERANZA.

MIS PADRES: JUAN JOSÉ MARTÍNEZ P.
EMMA LYDIA FLORES DE MARTÍNEZ

QUIENES ME DIERON MI SER, Y QUE CON ABNEGACIÓN Y SACRIFICIO SE ESFORZARON EN DARME UNA EDUCACIÓN.

MIS HERMANOS: CECILIA, MARITZA, JUAN JOSÉ Y CARLOS ALBERTO; CON FRATERNAL APRECIO.

MIS ABUELOS: MAMÁ CHABELA
PAPÁ TOMÁS
MAMÁ CHICA
PAPÁ LAYO

DE GRATA RECORDACIÓN CON INFINITO CARIÑO.

Y DEMÁS FAMILIARES Y AMIGOS.

TOMÁS DE JESÚS

DEDICO EL PRESENTE TRABAJO:

A DIOS TODOPODEROSO

QUE POR SU INFINITA BONDAD Y MISERICORDIA ME PROPORCIONÓ LOS MEDIOS INTELECTUALES Y MATERIALES PARA PODER CONCLUIR MI CARRERA.

A SAN FRANCISCO DE ASIS

QUE ME BRINDÓ LUZ, FÉ Y ESPERANZA.

A MIS PADRES

PAQUITA ARIAS DE NOYOLA (Q.D.D.G.)

MANUEL DE JESÚS NOYOLA CARÍAS.

POR SU ABNEGADO ESFUERZO, DEDICACIÓN, CARIÑO, AMOR Y EL APOYO BRINDADO EN TODOS LOS MOMENTOS DE MI VIDA.

A MI HERMANA

NORMA MILAGRO

POR COMPARTIR MIS TRIUNFOS Y FRACASOS A LO LARGO DE MI CARRERA.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

POR SU COLABORACIÓN Y APOYO, Y POR COMPARTIR CONMIGO
LA SATISFACCIÓN DE HABER ALCANZADO LA META QUE ME PRO
PUSE.

GUILLERMO MANUEL.

DEDICATORIA

A MI MADRE: QUE CON SU CARIÑO, ABNEGACIÓN Y COMPRENSIÓN ME ALENTÓ SIEMPRE EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES, COMPARTIENDO CON JÚBILO MIS TRIUNFOS.

A MI PADRE: QUE ME CONDUJO Y ENSEÑÓ A TRAVÉS DE SU EXPERIENCIA Y CONSEJOS, A SOBREPONERME Y FORTALECERME.

A MIS HERMANOS: DE QUIENES HE APRENDIDO, RECIBIENDO CARIÑO Y COMPRENSIÓN Y A QUIENES QUIERO, RESPETO Y COMPRENDO.

A MIS AMIGOS: A QUIENES AGRADEZCO EL TIEMPO COMPARTIDO Y ME ALENTARON EN SEGUIR ADELANTE.

FIDEL ALFONSO.

I N D I C E

Pág. N°

INTRODUCCION.

CAPITULO I: "ANTECEDENTES".

1.1 Ubicación	1
1.2 Planteamiento del Problema	3
1.3 Desarrollo Urbano	5
1.3.1 Cronología	5
1.3.2 Situación Actual	6
1.4 Instrumentos Técnicos y Legales	8
1.4.1 Zonificación	8
1.4.2 Leyes y Reglamentos	11

CAPITULO II: "DESCRIPCION DEL AREA".

2.1 Climatología	21
2.1.1 Precipitación	22
2.2 Hidrología	28
2.2.1 Parámetros Físicos de la Cuenca	28
2.2.2 Coeficiente de Escorrentía	37
2.2.3 Escorrentía	42
2.3 Geología y Tectonismo	43
2.3.1 Geología de El Salvador	44
2.3.2 Litología de El Salvador	44
2.3.3 Geología de San Salvador	45
2.3.4 Tectonismo	50
2.4 Hidrogeología	54

CAPITULO III "METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE DATOS".

3.1 Reconocimiento Preliminar	57
3.2 Trabajo de Campo	58
3.3.1 Levantamiento Topográfico	58
3.3.2 Secciones Transversales	59
3.3.3 Recolección de Muestras	60

	<u>Pág. N°</u>
3.3 Trabajo de Laboratorio	62
3.3.1 Medición de Precipitaciones	62
3.3.2 Granulometría de las Muestras	63
3.3.3 Peso Específico	65
3.4 Trabajo de Oficina	70
3.4.1 Levantamiento Topográfico. .	71
3.4.2 Secciones Transversales . .	80
3.4.3 Gráficos Granulométricos . .	83
3.4.4 Cálculos del Peso Específico	104
3.4.5 Evaluación de Precipitación	110
 CAPITULO IV - "PROCESO, EVALUACION Y CONTROL DE LA SEDIMENTACION Y EROSION HIDRICA".	
4.1 Sedimentación	139
4.2 Erosión	143
4.2.1 Clases de Erosión	144
4.2.2 Tipos de Erosión Hídrico . .	146
4.3 Evaluación de la Erosión Hídrica	151
4.3.1 Ecuación Universal de la pérdida de suelo de Wischmeier	151
4.3.2 Ecuación de Meyer-Peter y Muller	168
4.3.3 Comparación de Métodos de Evaluación	175
 CAPITULO V - "ALTERNATIVAS DE SOLUCION".	
5.1 Propuesta Alternativa de Obras de corrección para el cauce de la Quebrada "El Guaje"	184
5.1.1 Pendientes críticas de esfuerzo inminente para el tratamiento del cauce de la quebrada, paralela a la calle "El Guaje"	193

5.1.2 Propuesta Alternativa complementaria para corregir el problema del Area Hidrográfica	196
5.2 Propuesta Alternativa de la Distribución planificada de la operación de la pedrera	198
5.3 Propuesta Alternativa de corrección definitiva de la problemática de la pedrera	199
CAPITULO VI - "CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES".	
6.1 CONCLUSIONES	201
6.2 RECOMENDACIONES	203
ANEXOS .	
BIBLIOGRAFIA	207

INTRODUCCION

El presente trabajo tiene por finalidad el estudio de la cuenca hidrográfica que afecta los desarrollos urbanos; Valle Nuevo, Matazano, Santa Lucía y zonas aledañas.

Partiendo de la identificación de una serie de características propias de ella, tales como: climáticas, hidrológicas, geológicas, hidrogeológicas y tectónicas, así como las físicas; que se relacionan entre sí, dando como resultado un comportamiento propio de la cuenca. Para el caso que nos ocupa uno de los factores determinantes es la geología del lugar, la cual ha sido perturbada dejando al descubierto una serie de materiales erodables, los que prácticamente se depositan en la zona baja.

El conocimiento de estas características permitirán establecer alguna relación no sólo con otra cuenca donde se haya estudiado este fenómeno, así como obtener resultados aceptables que sean de fácil aplicación.

Cabe agregar que en la parte poniente de los desarrollos urbanos antes mencionados, en la zona media alta, existe una pedrera o cantera explotada inadecuadamente, sin las debidas obras de protección, corrección o regulación, que influye con la aportación de sedimentos, transportados por

la escorrentía superficial, sobre la calle-quebrada "El Guaje", ocasionando problemas de azolvamiento en los sistemas de evacuación pluvial y a la vez provoca inundaciones en las calles, avenidas, pasajes y viviendas de los desarrollos urbanos, sucediéndose en cada período de invierno con el consecuente daño tanto a la propiedad pública como a la privada.

El objetivo práctico más importante, de este trabajo, es desarrollar una mecánica en la obtención de datos de erosión, arrastre y sedimentación, basados en términos de los parámetros hidráulicos y las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que permitan elaborar un plan de control, dentro del límite tolerable de ocurrencia o si fuera posible, eliminar completamente el fenómeno.

Para la evaluación y control de sedimento se utilizaron los métodos: mediciones directas, ecuación universal de la pérdida de suelo y la fórmula de Meyer-Peter y Muller; con el objeto de efectuar una comparación entre cada uno de ellos. Estos utilizan diferentes variables independientes entre sí.

Esperamos que este modesto aporte nuestro pueda sentar las bases para futuras investigaciones en este campo y contribuir a resolver los problemas de esta naturaleza. Lo cual será un honor para nosotros.

CAPITULO I
"ANTECEDENTES"

CAPITULO I

"ANTECEDENTES"

1.1 UBICACION

El área en estudio se encuentra ubicada, al oriente de la ciudad de San Salvador, con las coordenadas geográficas $13^{\circ}42' 00''$ y $13^{\circ}40' 00''$ latitud Norte; $89^{\circ}08'00''$ y $89^{\circ}10'00''$ longitud Oeste, jurisdicción de Ilopango, Departamento de San Salvador (Plano N^o 1), teniendo como límites:

AL NORTE: Fincas Los Hespería, Las Carolinas; Colonia España, terrenos de la Cooperativa Algodonera Salvadoreña Ltd., estos últimos con línea férrea de por medio.

AL ORIENTE: Colonias Venecia, Las Magnolias; Campamento San Luis, Reparto Valle Nuevo, Bosques del Matazano N^o 3, hasta llegar a la margen izquierda del Río Chagüite.

AL SUR: Continúa aguas arriba sobre la margen izquierda del Río Chagüite, hasta la cima del Cerro San Jacinto.

AL PONIENTE: Las instalaciones del Parque de Diversiones del Teleférico San Jacinto.

Con esta descripción se delimita la cuenca hidrográfica que incluye y afecta los Desarrollos Urbanos: Bosques del Matazano N° 1 y 2, Caserío Los Vásquez y Finca El Refugio.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Año tras año y en el período de invierno, en los desarrollos urbanos Santa Lucía, Valle Nuevo, Matazano y desarrollos circunvecinos; vienen soportando el grave problema de las inundaciones, sedimentación y azolvamiento de los sistemas de evacuación pluvial colectores primarios, secundarios y domiciliarios; además de una continua contaminación ambiental.

Cabe agregar que en la parte poniente de los desarrollos urbanos antes mencionados y hacia la zona más alta de la actualmente Cuenca Hidrográfica, existe una pedrera o cantera explotada inadecuadamente. A nivel privado, existe pérdidas económicas porque se permite el desperdicio del material puesto que no existen las obras de protección, corrección o regulación adecuadas para preservar la flora y prevenir la erosión. A nivel público contraviene leyes y reglamentos y representa un riesgo para los habitantes de los desarrollos urbanos afectados.

En el sector bajo del área en estudio se constató que los materiales pétreos que azolvan las tuberías de aguas lluvias, son del tipo característico extraído de la pedrera antes mencionada; a esto hay que agregar que por causas de conveniencia desconocidas la construcción de la calle "El Gua-

je" que constituye el acceso a la pedrera en mención, coincide con el cauce de la quebrada del mismo nombre, funcionando, asimismo, como drenaje de las aguas lluvias provenientes de la cima de la cuenca, arrastrando los materiales resultantes de la explotación de la pedrera; este fenómeno se agrava con el hecho de no existir una distribución adecuada de los diferentes bancos de acopio.

Dadas las características físicas y mecánicas de los suelos de la zona, éstos son muy erosionables y propensos a la tubificación, perdiendo su resistencia al aumentar su grado de saturación, siendo más crítico en el período de invierno, provocando la licuación y socavación de los suelos.

Considerando el agua como el agente más importante que interviene medularmente en el proceso de escorrentía superficial, sedimentación, erosión y estabilización, se puede inferir la necesidad de llevar a cabo un análisis hidrológico del área, el cual nos permita calcular los caudales que convergen hacia los desarrollos urbanos anteriormente citados. Con el propósito de conocer y evaluar las cantidades de material transportado, parte del estudio tratará sobre las características de arrastre y sedimentación tanto de la zona como de los materiales que la componen.

Por otra parte, se experimenta en el lugar una alteración en el ciclo hidrológico, ya que se aprecia un deterioro tanto en el suelo, como en las condiciones de cobertura vegetal, que se ve modificada. Dichos elementos al variar sus características, aumentan o disminuyen la escorrentía superficial. Por otra parte las pendientes del terreno se incrementan debido a la explotación de la pedrera, aproximándose en algunos casos, a la verticalidad, destruyéndose totalmente, la cobertura vegetal que protege el suelo.

1.3 DESARROLLO URBANO

1.3.1 Cronología

Siendo la República de El Salvador, pequeña en su extensión territorial, aproximadamente 21,000 km², de los cuales el Departamento de San Salvador ocupa 886.15 Km²; y tiene una densidad poblacional de 1,119 Hab./Km². El Municipio de San Salvador es uno de los más afectados, con una densidad de 5,982 Hab/Km²,^{1/} debido a la inmigración proveniente del interior del país. Este fenómeno genera un crecimiento físico, cuya cobertura afecta otros Municipios del Area Metropolitana de San Salvador (AMSS) tal como los casos de Ilopango y Soyapango que han inducido el desarrollo de Pro -

1/ Anuario Estadístico 1981-1982, Tomo I. Cuadro III-09.

yectos urbanísticos para la vivienda e industria, aumentando considerablemente las zonas impermeables y las necesidades de material pétreo para la construcción de las diferentes edificaciones. Con base en lo actual descrito, en la década del 60 el Instituto de Vivienda Urbana (IVU) construyó el Centro Urbano Santa Lucía, creando un foco de desarrollo poblacional, el cual fue complementado con zonas industriales, comerciales y de recreación.

En años posteriores el desarrollo poblacional fue incrementado con la creación de colonias aledañas tales como: Bosques del Matazano Nos. 1, 2 y 3, Valle Nuevo, San Cayetano, Venecia y Las Magnolias.

1.3.2 Situación Actual

La fuerte escorrentía superficial ha provocado inundaciones periódicas, transportando materiales sólidos que son depositados en la parte más baja, azolvando los sistemas de evacuación pluvial, con incidencia directa en la vida de los habitantes de esta zona, provocando pérdidas materiales y daño a la propiedad pública y privada.

El material de arrastre es depositado, azolvándose inicialmente las tuberías y produciendo como consecuencia que toda el agua que escurre superficialmente y los materiales

sólidos que transporta, se desborden sobre las calles y avenidas de las urbanizaciones, llegando a condiciones tan críticas, que ha arrastrado vehículos por un trayecto bastante considerable, formándose algunas veces embalses que alcanzan una profundidad de 1.5 a 2.00 metros.

Como respuesta y solución a este problema, el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura (DUA), construyó tragantes especiales, colectores adicionales, en las zonas más críticas y un canal diseñado de poniente a oriente, paralelo a la línea férrea, conocido como canal de "cajas y bolsas". Así mismo se han restituido los taludes naturales en la margen del Río Chagüite, que sufrieron fallas por socavación y deslizamientos; los cuales servían de protección a la urbanización Valle Nuevo. Más recientemente el Centro Nacional de Recursos Naturales (CENREN), a iniciativa del Comité de Emergencia Nacional, y con la colaboración del propietario de la pedrera "El Refugio", que domina el área ha realizado obras de mantenimiento y protección tales como muros de gaviones y palo pique; así como también la reforestación de algunas áreas, con especies de rápido crecimiento, todo esto con el objeto de evitar el arrastre y deterioro de los suelos.

Actualmente se está construyendo un colector y la prolongación del canal paralelo a la línea férrea, aguas arriba de la intersección con la calle Matazano, lo cual permitirá incluir parte de la escorrentía superficial proveniente del Cerro San Jacinto hacia dicha estructura de drenaje.

1.4 INSTRUMENTOS TECNICOS Y LEGALES

Como una respuesta del Gobierno de El Salvador, ante la imperiosa necesidad de la conservación, preservación y manejo de los recursos naturales, dentro del marco de la creación de los instrumentos técnicos y legales, que permitan reglamentar y ordenar el uso adecuado de los mismos, en la zona en estudio, ha implementado para tal fin: zoni-ficación, Leyes y Reglamentos.

1.4.1 Zonificación

Concepto: se entiende por zonificación, el instrumen-to legal de un plan de uso racional del suelo, por medio del cual se regula el uso de éste, atendiendo a las diferentes actividades que la comunidad humana que en ella se desarolla satisfaga sus necesidades básicas tanto urbanísticas como de recreación y conservación del medio ambiente.

De acuerdo al concepto general de zonificación, es un instrumento legal, por medio del cual se regula:

- a) Uso del suelo.
- b) Altura de edificaciones.
- c) Volumen de estructuras:
- d) Volumen de edificaciones.
- e) Densidad de población.
- f) Areas de ocupación.
- g) Areas de construcción.
- h) Espacios libres por lotes.

La zonificación al establecer normas para el asentamiento físico de una comunidad, debe proveer:

- 1.- Un crecimiento económico y ordenado de la ciudad.
- 2.- Seguridad, salud, conveniencia, convivencia y bienestar a sus habitantes.
- 3.- Evitar la congestión en las vías de comunicación.
- 4.- Areas libres que garanticen luz, sol y aire para sus habitantes.
- 5.- Evitar hacinamientos y uso nocivo del suelo.
- 6.- Provisión adecuada de transporte, acueductos, alcantarillado, energía, parques y áreas libres en general.

Por esta razón se considera necesario un ordenamiento en el uso del suelo, el cual debe cubrir varios aspectos: uso urbano, agrícola, hídrico y de conservación; que son los que dentro del área de estudio enfocaremos.

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura (DUA), ha desarrollado el Reglamento de Zonificación del Uso del Suelo, en el Area Metropolitana de San Salvador, en el cual se indican las zonas de acuerdo a su uso; y se ubican en el mapa llamado "Plan General de Zonificación. Usos del suelo Metropolitano", en donde los límites entre zonas están generalmente determinados por las líneas de calles, ferrocarril, ríos, quebradas o líneas paralelas a éstas. Especificándose que donde no se encuentren demarcados se determinarán según escala del mapa de zonificación. (Plano N° 2).

De acuerdo al Plan General de Zonificación, para el área en estudio se presenta la clasificación de los usos del suelo, en la forma siguiente:

- a) Industrial (In)
- b) Vivienda media (Vm), 250 hab/Ha.
- c) Potencialmente urbana (Pu)
- d) Conservación y reforestación (CO)
- e) Recreación regional (RR).

1.4.2 Leyes y Reglamentos

La Constitución Política vigente de El Salvador, como Ley primaria, en la que se encuentran plasmados los derechos y deberes del Estado, así como de toda persona natural o jurídica, establece que: se reconoce y garantiza el derecho a la propiedad privada en función social, pero que el subsuelo pertenece al Estado, el cual podrá otorgar concesiones para su explotación.

Que se declara de interés social la protección, restauración, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales, creando el Estado los incentivos económicos y proporcionando la asistencia técnica necesaria para el desarrollo de programas enfocados hacia estas metas.

Hace mención también que la protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales y del medio serán objeto de leyes especiales.

Según Decreto N° 268, de fecha 8 de Febrero de 1973, la Asamblea Legislativa de El Salvador decreta la Ley Forestal, la cual tiene por objeto:

La conservación, mejoramiento, restauración y acrecentamiento de los recursos forestales del país; de acuerdo con el principio de uso múltiple.

En el Artículo 4, de la referida Ley, se establece lo siguiente:

Declárase de utilidad pública la conservación e incremento de los recursos forestales; y su utilización con el máximo beneficio social, así como también todas las actividades conducentes o conexas con dichos fines; tales como:

- a) La prevención y combate de la erosión de los suelos.
- b) La protección de cuencas hidrográficas y de las zonas altas de éstas, mediante la conservación, mejora o establecimiento de macizos forestales o la repoblación forestal de las mismas.
- c) La conservación y embellecimiento de las zonas forestales, turísticas y de recreación.
- ch) El fomento y la conservación de cortinas rompevientos.
- d) La formación de bosques en terrenos incultos y en los pantanos; y los trabajos de repoblación forestal.
- e) El fomento de macizos forestales para proteger a las poblaciones.
- f) La ejecución de obras de forestación o reforestación destinadas a la protección y conservación de las carreteras y caminos y centros de recreo o esparcimientos.

- g) La construcción de caminos forestales.
- h) El establecimiento de reservas forestales y parques nacionales.

En consecuencia, estarán sujetos a expropiación los inmuebles necesarios para realizar las obras a que se refieren los apartados precedentes.

Se determina también que es obligación del Estado, evitar la erosión de las tierras o suelos, que corresponde al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), adoptar y poner en práctica las medidas y resoluciones necesarias para lograr el cumplimiento de la Ley Forestal y su Reglamento.

También que los propietarios, arrendatarios o poseedores a cualquier título de las tierras comprendidas dentro de las zonas protectoras, deberán obtener autorización previa del servicio para la explotación de los mismos, quedando sujetos a las obligaciones establecidas en la Ley respectiva.

La Ley Forestal también establece que podrán decretarse vedas parciales o totales, temporales o indefinidas, que en las zonas vedadas se protegerá la vegetación y se reglamentará la servidumbre, concediendo el Estado la ayuda técnica, subvenciones y anticipos a las instituciones públicas

o empresas estatales, pudiendo conceder ayuda técnica a entidades privadas y personas particulares que tengan como finalidad fomentar o reforestar terrenos, cuando tengan un objetivo económico y social y que además contribuyan a la conservación de los demás recursos naturales renovables o a la regulación hidrológico forestal de una cuenca.

El Artículo 45, de la Ley Forestal, establece que el Poder Ejecutivo en el ramo de Agricultura y Ganadería establecerá, por Decreto, zonas protectoras del suelo, para mantener y regular el régimen hidrológico; dando con esto la creación del Decreto 22, en el cual se delimita la primera zona protectora del suelo, que incluye el complejo del Cerro San Jacinto; en la forma siguiente:

El área del Complejo Cerro San Jacinto-Subcuenca del Lago de Ilopango en una extensión superficial de siete mil quinientas cincuenta hectáreas (7,550 Ha), cuyo límite territorial está comprendido en los Municipios de: San Salvador, Soyapango, Ilopango, San Martín, Santiago Texacuangos, San Francisco Chinameca, Santo Tomás y San Marcos. Partiendo de la intersección de los ejes del Río Acelhuate y el Boulevard del Ejército Nacional rumbo Este sobre dicho Boulevard, continuando sobre el eje de la Carretera Panamericana hasta la intersección con el eje de la calle que de San

Martín conduce al Cantón El Sauce, a la altura de la Planta Almacenadora Número Uno San Martín del Instituto Regulador de Abastecimientos (IRA); de este punto sobre el eje de dicha calle rumbo sur, hasta la intersección con el punto donde convergen el eje de la carretera que de Apulo conduce a dicho Cantón y el eje de la quebrada El Arenalón; luego de este punto sobre el eje de la quebrada antes mencionada rumbo sur, hasta la desembocadura en el Lago de Ilopango, continuando por la ribera de dicho lago rumbo Oeste, hasta la punta Buena Vista en donde sigue sobre el parteaguas principal que une esta punta con la carretera Santiago Texacuangos-San Miguel Tepezontes. De este punto rumbo Oeste sobre el eje de la carretera antes citada hasta la intersección con el eje de la vía asphaltada San Salvador-Comalapa, en las proximidades de Santo Tomás. De allí sobre el eje de la carretera antes citada hacia el Oeste hasta la intersección con el eje de la calle Benjamín Orozco, en las proximidades de la Iglesia San Antonio de Padua. A partir de este punto en línea recta hasta interceptar el punto que dio origen a la presente descripción.

En el Plano N° 3, se presenta en forma gráfica, la delimitación de la zona comprendida en el Decreto N° 22.

Por cuanto existen y deben ser usados todos los medios

para poder controlar y manejar adecuadamente el recurso suelo y forestal en la zona.

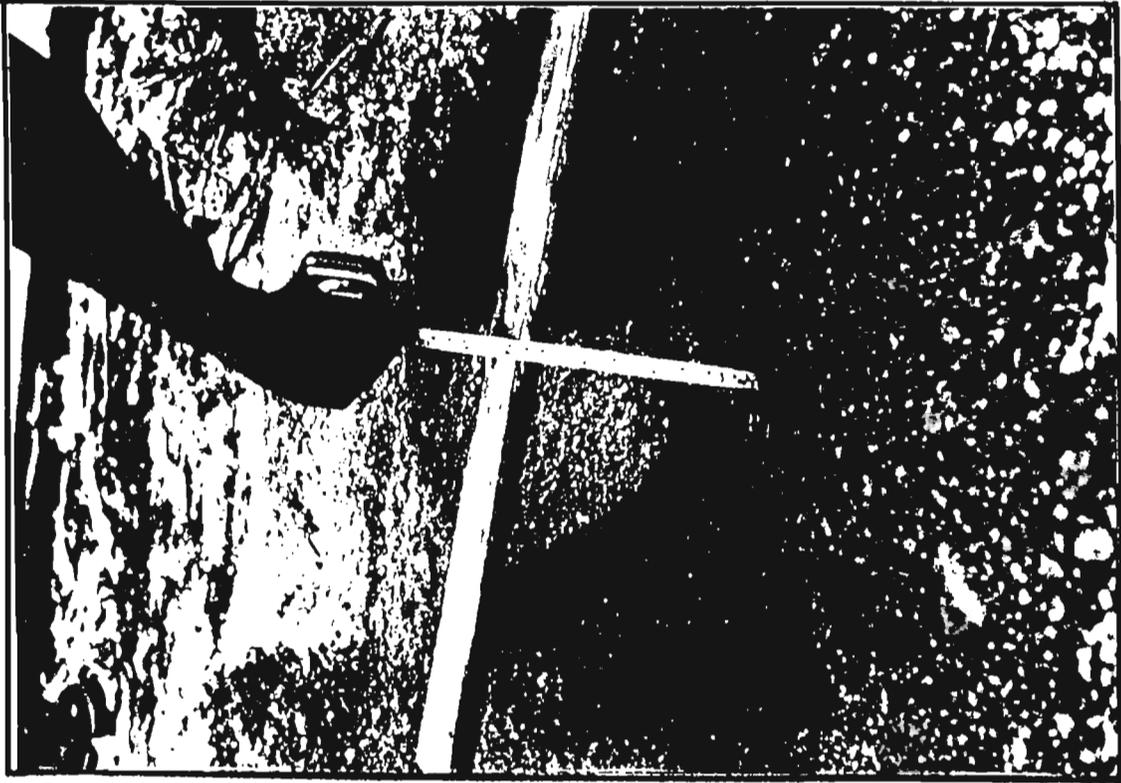


FIG. 1.2 Material depositado, en la parte baja de la calle El Guaje, con un espesor de 18 cms.



FIG. 1.1 Trabajos realizados después de cada tormenta; el material extraído está formado por arena y grava de diámetros variables.



FIG.1.4 Daños causados a la carpeta asfáltica; socavación del suelo y daños al cordón de calle.

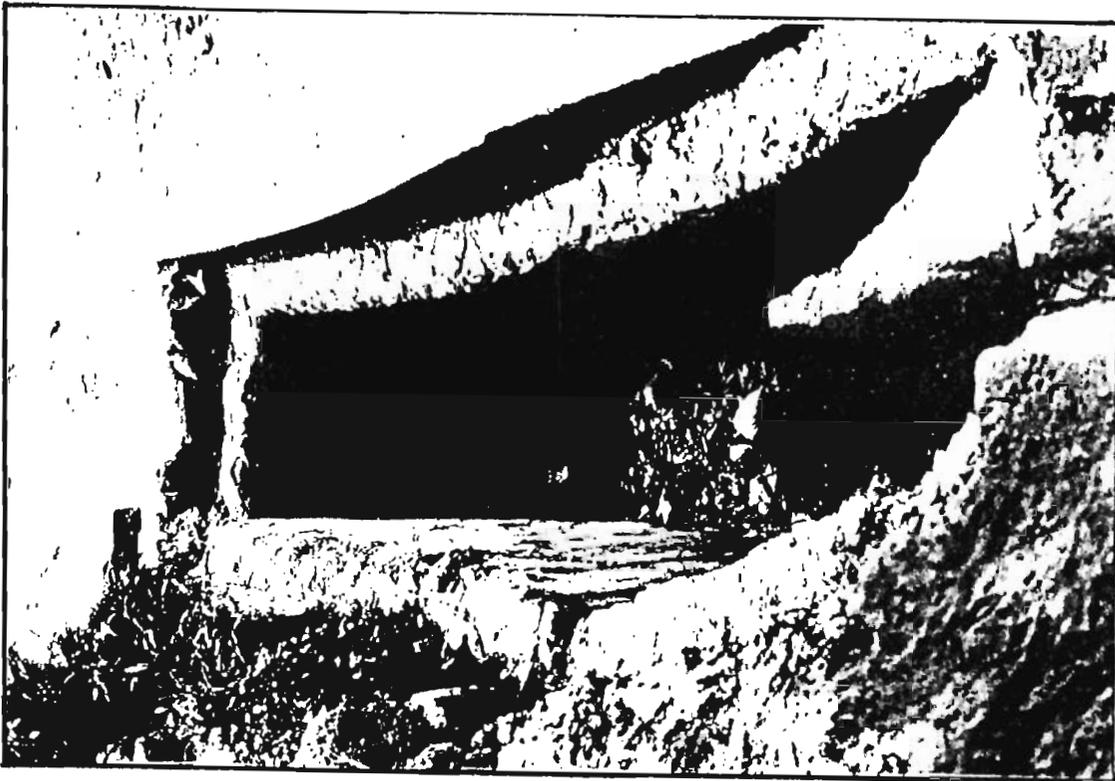


FIG.1.3 Tragante especial tipo; en el fondo se ha acumulado ripio arrastrado por la esconrrren tía, en tormentas críticas se azolvan de mate- riales sólidos.

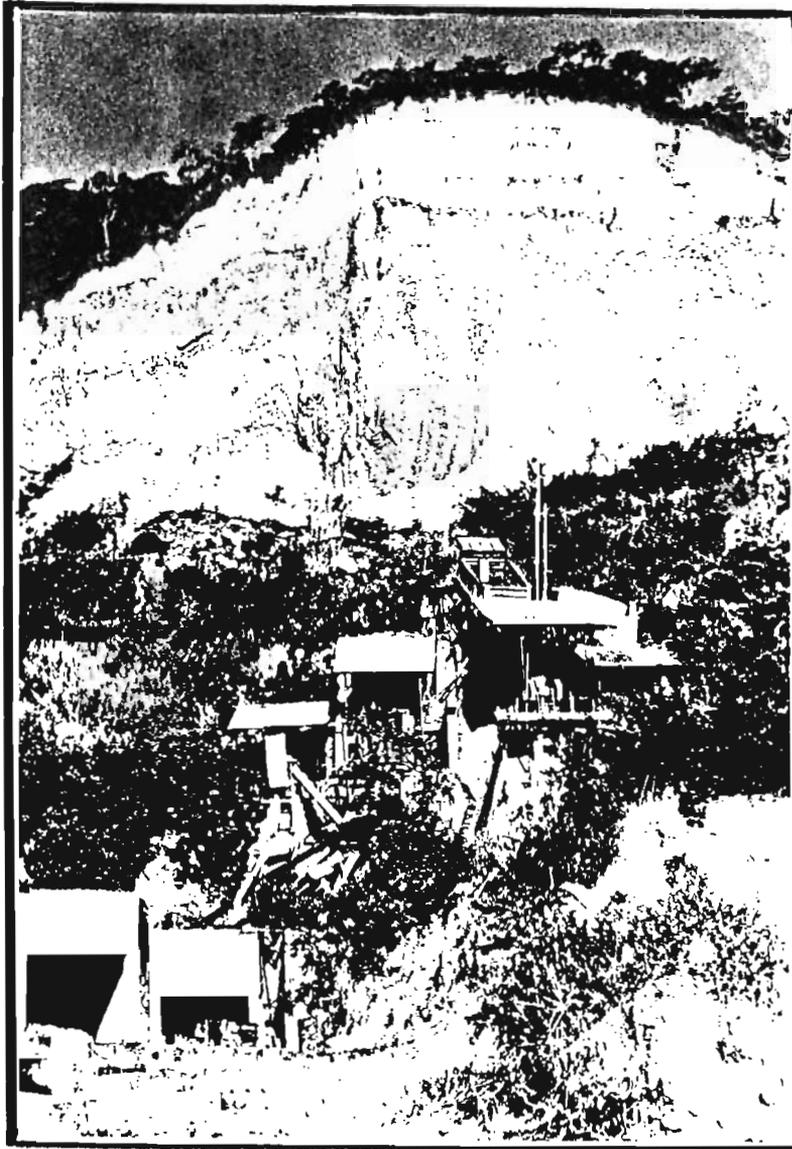


FIG.1.5 En primer plano se muestra la trituradora instalaciones principales de la pedrera; al fondo de la figura, puede verse el perfil del terreno, efecto de la explotación que se lleva a cabo, este corte tiene una altura aproximada de 100 metros.



FIGURA 1. 6
Panorámica de la cantera de la pedrera El Refugio; se pueden apreciar los cortes realizados al suelo, con el objeto de extraer roca.

CAPITULO II
"DESCRIPCION DEL AREA"

CAPITULO II

"DESCRIPCION DEL AREA"

2.1 CLIMATOLOGIA

Dentro del aspecto climatológico, es importante definir las características más dominantes del clima; pero así mismo reviste de vital interés para el caso en cuestión, definir y caracterizar el régimen de lluvia de la zona en estudio.

La elevación del área oscila entre 620 a 1150 m.s.n.m.; por lo que se definen dos zonas climáticas, la sabana tropical caliente (AW_{aig}) o tierra caliente con una variación de temperatura de 17.9°C - 30.5°C y la sabana tropical calurosa, (AW_{big}) o tierra templada con una variación de temperatura de 15.0°C - 27.7°C; según la clasificación de Köppen, Sapper y Lauer.

Desde el punto de vista zona de vida, se considera como una transición de bosque húmedo subtropical fresco; con una variación de precipitación anual de 1800 - 1900 mm.

El área es importante desde el punto de vista cultivo del cafeto, las asociaciones vegetales más predominantes son: ceibas, madre cacao, pinos y vegetación baja.

2.1.1 Precipitación

Las precipitaciones están en relación directa con la elevación del terreno, obteniéndose mayores cantidades de lluvia en las partes más elevadas. A medida que la elevación del terreno disminuye, así lo hacen las cantidades precipitadas.

El Servicio Meteorológico Nacional, efectúa un registro de las cantidades de lluvia, siendo uno de los objetivos específicos, la previsión de las crecidas, así como de terminar la frecuencia con que se produce la máxima intensidad de precipitación que ocurre en un intervalo de tiempo, de cierta duración.

En los cuadros 2.1 y 2.2 se presentan la intensidad de precipitación máxima diaria observada en los meses de julio, agosto y septiembre del corriente año, y la máxima anual (absoluta) respectivamente; de la Estación Matriz^{1/}; proporcionados por el Servicio de Meteorología e Hidrología. Para los fines del presente estudio, se ha seleccionado la información que comprende el intervalo de precipitación de 5 a 60 min., por ser éstas las duraciones de las tormentas más representativas. De esta forma se calcularon las respectivas intensidades por constituir el parámetro que nos permite establecer la agresividad de la tormenta.

^{1/} Ubicada en el Centro Nacional de Recursos Naturales (CENREN), Cantón El Matazano, Soyapango.

Los datos de los cuadros anteriormente descritos, se han ordenado en magnitud creciente, calculándose la frecuencia con la cual puedan sucederse los eventos. Tabulados en los cuadros 2.3 y 2.4.

La probabilidad de frecuencia se ha calculado utilizando la siguiente fórmula:

$$F = \frac{m}{n+1} \times 100$$

Donde:

m = número de posición del evento

n = cantidad total de eventos.

En las gráficas 2.1 y 2.2 se ha ploteado la probabilidad de ocurrencia de los eventos contra la intensidad, para los diferentes tiempos de duración de la tormenta, ajustando la línea recta al mayor número de puntos.

Utilizando las gráficas anteriores, se calcularon las diferentes intensidades para un período de retorno determinado, y los diferentes tiempos de duración, ploteando estos valores en papel doble logarítmico, gráfica 2.3 y 2.4, encontrando una familia de curvas para períodos de retorno determinados, proyectándose para encontrar tiempos de concentración o duración menores de 5 minutos.

CUADRO 2.1

ESTACION MATRIZ
 INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA DIARIA EN MM/MIN, PARA
 DIFERENTES PERIODOS.

MES	FECHA	DURACION EN MINUTOS						
		5	10	15	20	30	45	60
J U L I O	3	1.48	1.34	1.17	1.09	0.83	0.76	0.60
	10	1.18	0.29	0.68	0.53	0.35	0.24	0.18
	17	1.10	0.80	0.70	0.63	0.45	0.32	0.26
	19	1.16	0.88	0.69	0.57	0.41	0.29	0.23
	25	2.08	1.93	1.80	1.50	1.13	0.86	0.65
	29	1.78	1.63	1.21	0.98	0.72	0.49	0.39
	30	2.16	1.88	1.69	1.49	1.15	0.89	0.71
	31	1.26	0.99	0.83	0.74	0.55	0.39	0.30
A G O S T O	2	1.42	1.21	1.14	0.98	0.77	0.59	0.46
	9	0.80	0.65	0.60	0.48	0.35	0.25	0.19
	25	1.0	0.68	0.57	0.49	0.38	0.26	0.20
	27	2.0	1.50	1.33	1.15	0.85	0.60	0.46
	30	0.74	0.55	0.47	0.43	0.36	0.27	0.21
S E P T I E M B R E	3	1.60	1.30	1.33	1.15	0.91	0.71	0.64
	12	1.74	1.05	0.87	0.67	0.47	0.40	0.31
	14	1.30	0.83	0.65	0.55	0.38	0.28	0.22
	15	0.90	0.80	0.77	0.70	0.52	0.35	0.27
	15	1.08	0.82	0.66	0.60	0.50	0.48	0.46
	16	1.20	0.95	0.75	0.66	0.49	0.35	0.28
	18	1.14	0.97	0.72	0.58	0.39	0.26	0.20
	22	1.52	1.11	0.89	0.75	0.53	0.37	0.30
	28-29	1.44	1.17	1.05	0.84	0.93	0.62	0.47
29-30	1.84	1.21	0.87	0.72	0.59	0.50	0.39	

CUADRO 2.2

ESTACION		MATRIZ					
INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA) EN mm/min., PARA DIFERENTES PERIODOS							
AÑO	DURACION EN MINUTOS						
	5	10	15	20	30	45	60
1973	2.60	2.30	2.00	2.00	1.73	1.28	1.11
1974	2.08	1.97	1.81	1.47	1.07	0.73	0.61
1975	3.30	2.72	2.61	2.32	1.86	1.70	1.39
1976	3.34	2.92	2.31	1.84	1.26	0.95	0.77
1977	2.18	1.94	1.45	1.19	1.05	0.78	0.63
1978	2.88	1.94	1.61	1.43	1.09	0.91	0.78
1979	3.10	2.54	2.11	1.80	1.44	1.10	1.04
1980	2.72	2.20	1.97	1.74	1.35	1.02	0.86
1981	2.28	2.18	1.97	1.82	1.50	1.07	0.84
1982	2.52	2.17	1.67	1.50	1.52	1.32	1.15
1983	2.86	2.44	2.10	1.75	1.23	0.86	0.64

CUADRO 2.3

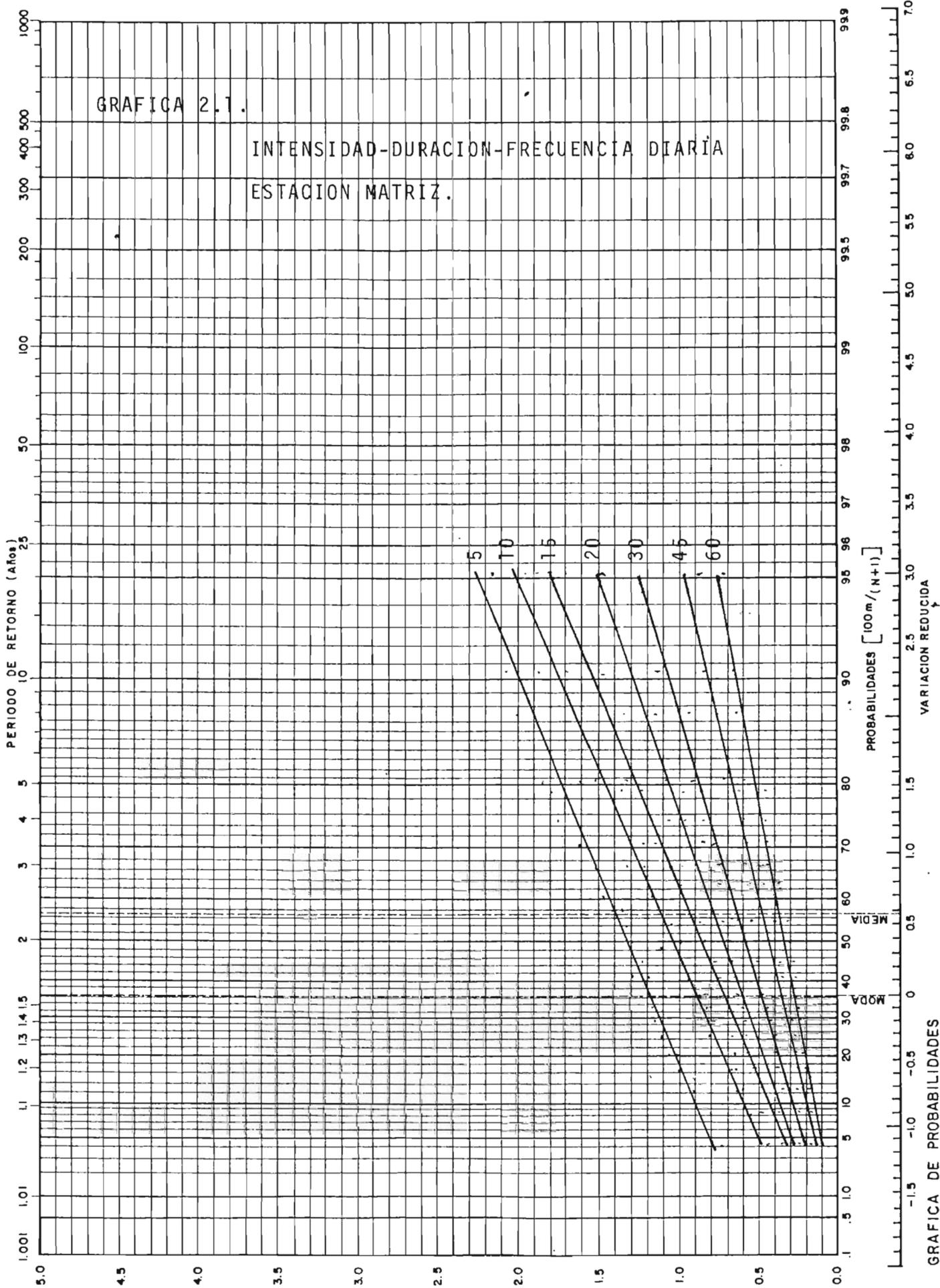
ESTACION MATRIZ

INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA DIARIA EN MM/MIN, PARA DIFERENTES PERIODOS

m	F (%)	DURACION EN MINUTOS						
		5	10	15	20	30	45	60
1	4.16	0.74	0.29	0.47	0.43	0.35	0.24	0.18
2	8.33	0.8	0.55	0.57	0.48	0.35	0.25	0.19
3	12.50	0.9	0.65	0.60	0.49	0.36	0.26	0.20
4	16.67	1.0	0.68	0.65	0.53	0.38	0.26	0.20
5	20.83	1.08	0.80	0.66	0.55	0.38	0.27	0.21
6	25.0	1.1	0.80	0.68	0.57	0.39	0.28	0.22
7	29.17	1.14	0.82	0.69	0.58	0.41	0.29	0.23
8	33.33	1.16	0.83	0.70	0.60	0.45	0.32	0.26
9	37.5	1.18	0.88	0.72	0.63	0.47	0.35	0.27
10	41.67	1.2	0.95	0.75	0.66	0.49	0.35	0.28
11	45.83	1.26	0.97	0.77	0.67	0.50	0.37	0.30
12	50.00	1.3	0.99	0.83	0.70	0.52	0.39	0.30
13	54.17	1.42	1.05	0.87	0.72	0.53	0.40	0.31
14	58.33	1.44	1.41	0.87	0.74	0.55	0.48	0.39
15	62.50	1.48	1.17	0.89	0.75	0.59	0.49	0.39
16	66.67	1.52	1.21	1.05	0.84	0.72	0.50	0.46
17	70.83	1.6	1.21	1.14	0.98	0.77	0.59	0.46
18	75.00	1.74	1.30	1.17	0.98	0.83	0.60	0.46
19	79.17	1.78	1.34	1.21	1.09	0.85	0.62	0.47
20	83.33	1.84	1.50	1.33	1.15	0.91	0.71	0.60
21	87.50	2.0	1.63	1.33	1.15	0.93	0.76	0.64
22	91.67	2.08	1.88	1.69	1.49	1.13	0.85	0.65
23	95.83	2.16	1.93	1.80	1.50	1.15	0.89	0.71

CUADRO 2.4

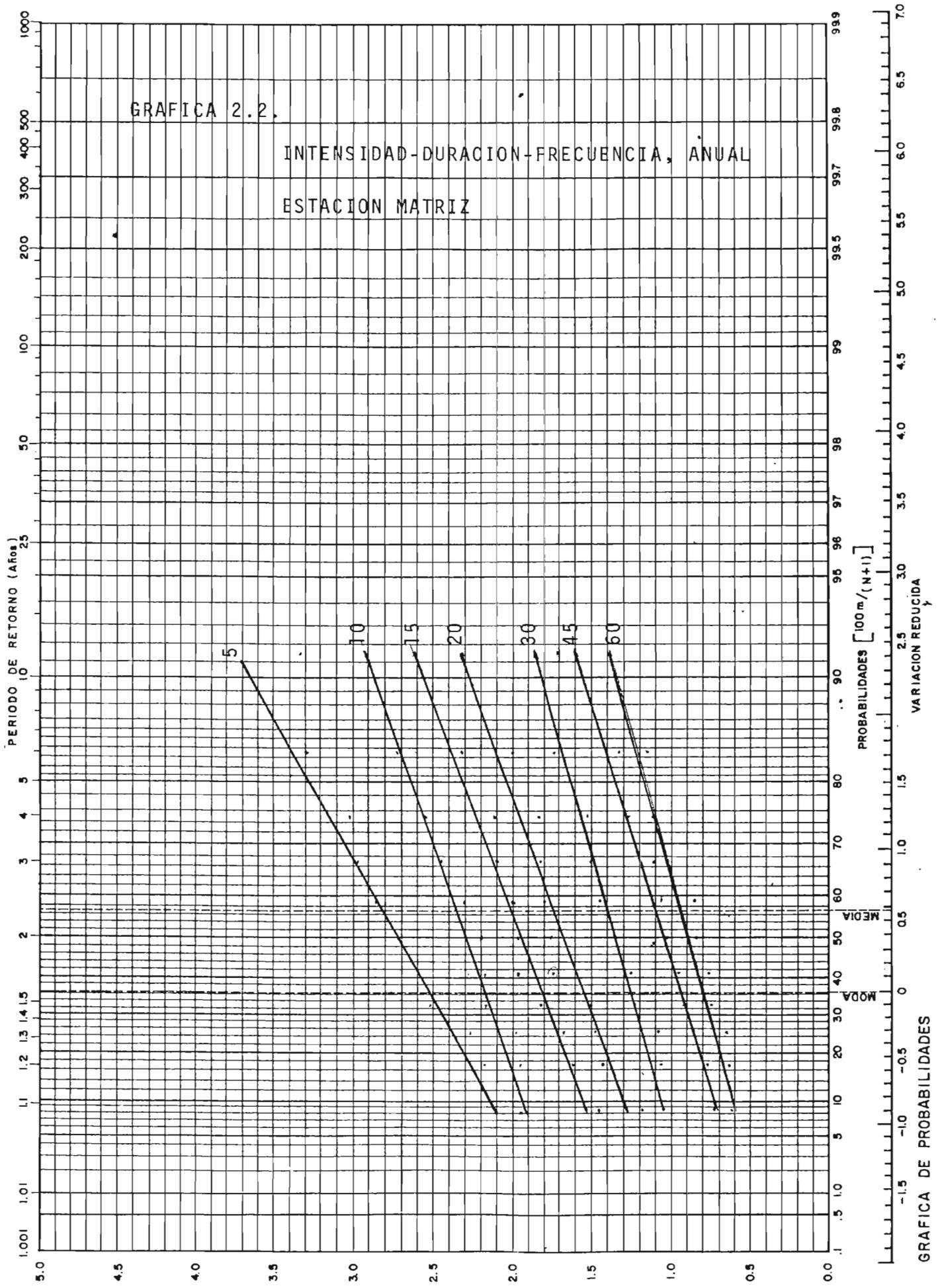
		ESTACION MATRIZ						
INTENSIDAD DE PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (ABSOLUTA)								
EN mm/min., PARA DIFERENTES PERIODOS								
m	F(%)	DURACION EN MINUTOS						
		5	10	15	20	30	45	60
1	8.33	2.08	1.94	1.45	1.19	1.05	0.73	0.61
2	16.67	2.18	1.94	1.61	1.43	1.07	0.78	0.63
3	25.00	2.28	1.97	1.67	1.47	1.09	0.86	0.64
4	33.33	2.52	2.17	1.81	1.50	1.23	0.91	0.77
5	41.67	2.60	2.18	1.97	1.74	1.26	0.95	0.78
6	50.00	2.72	2.20	1.97	1.75	1.35	1.02	0.84
7	58.33	2.86	2.30	2.00	1.80	1.44	1.07	0.86
8	66.67	2.88	2.44	2.10	1.82	1.50	1.10	1.04
9	75.00	3.10	2.54	2.11	1.84	1.52	1.28	1.11
10	83.33	3.30	2.72	2.31	2.00	1.73	1.32	1.15
11	91.67	3.34	2.92	2.61	2.32	1.86	1.70	1.39



PAPEL PROBABILISTICO DE GUMBEL

GRAFICA DE PROBABILIDADES

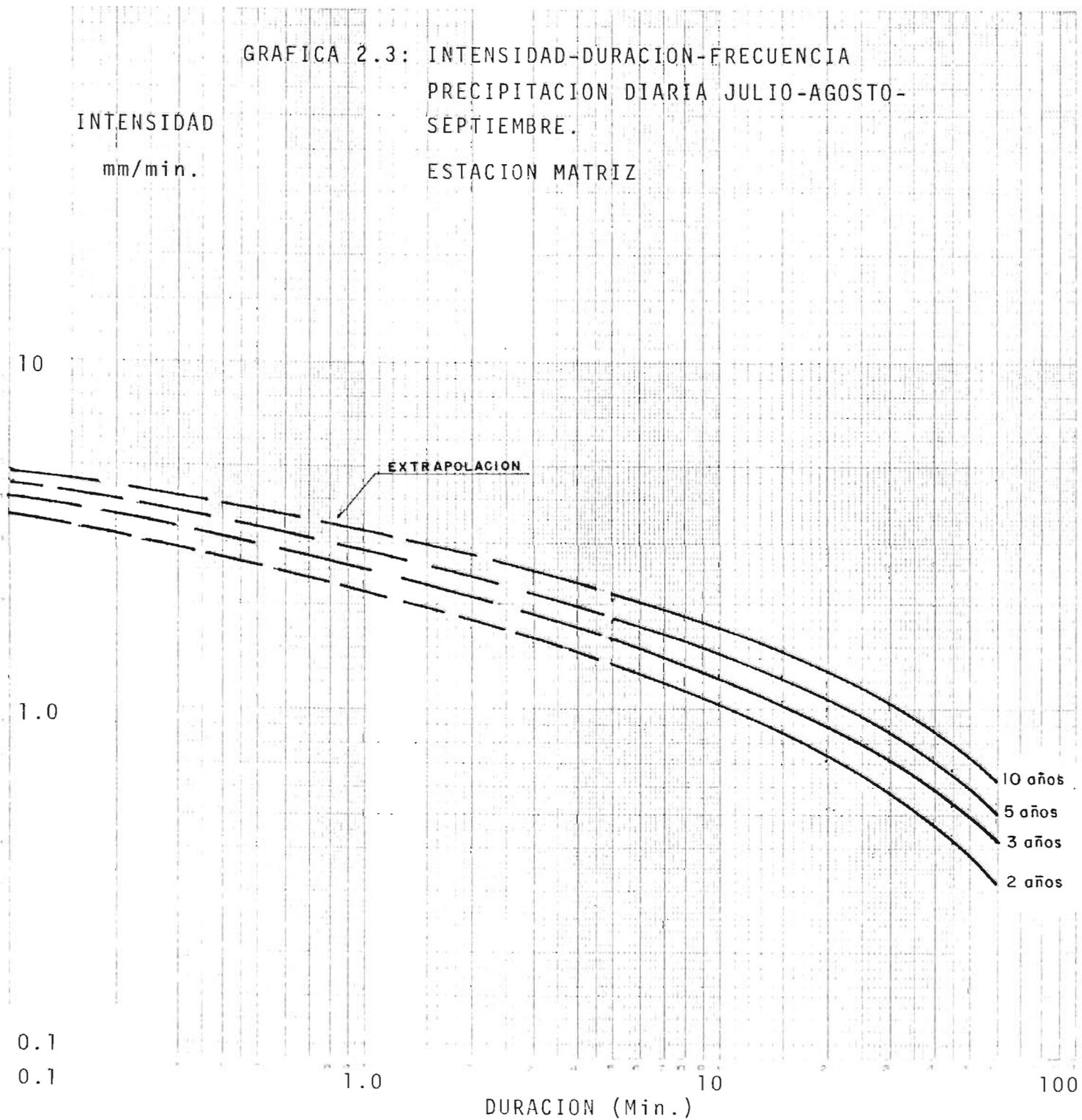
BIBLIOTECA CENTRAL
 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



GRAFICA 2.3: INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA
PRECIPITACION DIARIA JULIO-AGOSTO-
SEPTIEMBRE.

INTENSIDAD
mm/min.

ESTACION MATRIZ

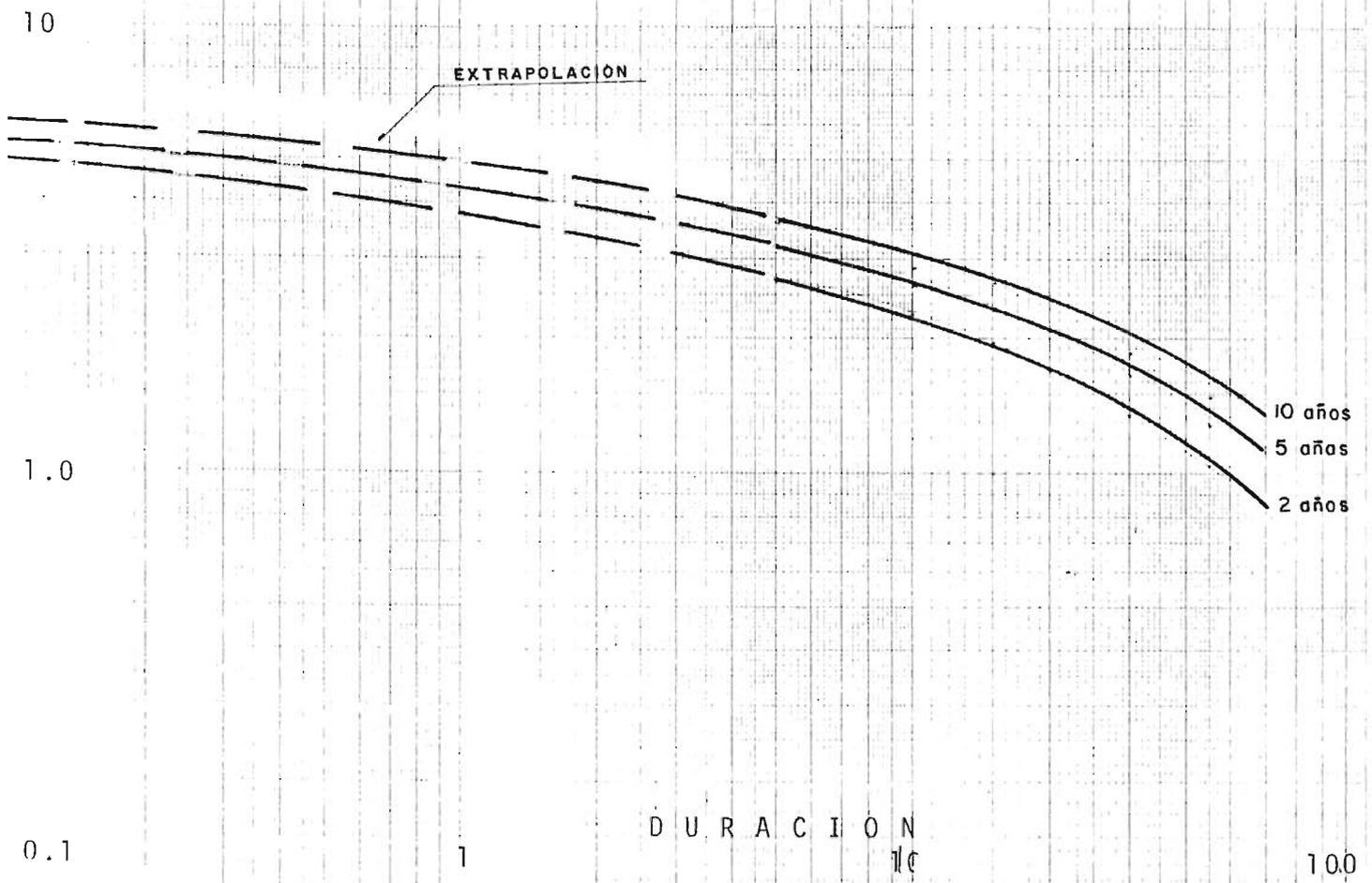


GRAFICA 2.4: INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA
PRECIPITACION MAXIMA ANUAL

INTENSIDAD

mm/min.

ESTACION MATRIZ.



2.2 HIDROLOGIA

Para el análisis hidrológico se tomarán en cuenta los aspectos geomorfológicos, el comportamiento y características de la cuenca, analizando la generación de escorrentía superficial y sedimentos, como efecto de una conjugación estrecha y directa entre la precipitación, elemento de entrada, y las características geomorfológicas, como elemento complementario.

2.2.1 Parámetros Físicos de la Cuenca

Las características más dominantes dentro de la cuenca y que deben ser sujeto de análisis son:

Area de la cuenca, perímetro de la cuenca, pendiente longitudinal del cauce más largo, pendiente transversal de la cuenca, factor o índice de forma, densidad de drenaje y red de drenaje.

- Area de la Cuenca

Por definición es la superficie comprendida entre los límites conocidos como parteaguas; considerándose el límite como la línea que une los puntos más elevados.

Para el trazo del parteaguas de las cuencas se utilizaron planos a escala 1:5000 y 1:15000, lo que permitió la de-

limitación de las diferentes sub-cuencas comprendida en la zona de estudio.

La cuenca básicamente fue sectorizada en 41 microcuencas a efecto de realizar un estudio más específico y detallado de las características físicas propias de cada microcuenca, las que se muestran en el Cuadro N° 2.5.

-Perímetro de la Cuenca

Es la longitud del contorno que delimita el área de la cuenca en estudio, definido por el parteaguas o las crestas de la zona topográfica que la conforman.

Es de vital importancia en el cálculo del factor de forma, así como para el análisis y comparación hidrológicos posteriores. Para la determinación respectiva se usó el mapa fotogramétrico a escala 1:5000 (Plano N° 1).

-Pendiente Longitudinal

Es la relación desnivel-longitud, es decir, el grado de inclinación que presentan los cauces principales de cada microcuenca, el cual refleja en gran medida la facilidad o dificultad para que el suelo entre en movimiento por efecto de la acción cinética del agua sobre él. Básicamente, para este movimiento, es necesario definir las características

del material que conforman cada una de las zonas, situación que será sujeto de estudio minucioso en los detalles geológicos.

Las pendientes de las micro-cuencas varían entre 90% y 4.5% como valores extremos, sin embargo, un 34% de las mismas se encuentra arriba del 40% y solamente un 9% son cuencas con menos de un 10% de pendiente, lo que realmente demuestra en gran medida, el efecto de torrencialidad de las cuencas, si se toma en cuenta que la pendiente más crítica es la del 30%, que corresponde al ángulo de reposo de suelos limosos.

CUADRO 2.5

CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS MICROCUENCAS

MICROCUENCA	AREA m ²	Lc m	AH m	Tc min	V m/s	S %
1	44,500	350	200	2.20	2.65	57.14
2	41,125	375	205	2.36	2.64	54.66
3	71,750	250	115	1.85	2.25	46.00
4	23,083	212	75	1.80	1.96	35.37
5	4,083	50	40	0.43	1.93	80.00
6	7,083	50	15	0.63	1.32	30.00
7	28,625	200	80	1.64	2.03	40.00
8	15,150	100	90	0.70	2.38	90.00
9	4,000	50	20	0.56	1.48	40.00
10	16,125	175	80	1.41	2.06	45.71
11	6,250	65	15	0.85	1.27	23.07
12	9,500	75	40	0.69	1.81	53.33
13	3,375	25	10	0.33	1.26	40.00
14	26,875	100	25	1.15	1.45	25.00
15	31,875	150	85	1.15	2.17	56.66
16	41,750	250	30	3.10	1.34	12.00
17	59,875	600	185	4.23	2.36	30.83
18	22,875	250	120	1.82	2.28	48.00
19	19,625	200	80	1.64	2.03	40.00
20	25,250	300	130	2.17	2.30	43.33
21	36,500	450	70	4.41	1.70	15.55
22	56,750	375	35	4.66	1.34	9.33
23	14,500	300	45	3.27	1.53	15.00
24	11,250	100	25	1.15	1.44	25.00
25	25,500	300	90	2.50	2.00	30.00

Continuación...

CUADRO 2.5

MICROCUENCA	AREA m ²	Lc m	AH m	Tc min	V m/s	S %
26	5,000	50	5	0.96	0.86	10.00
27	9,375	150	15	2.24	1.11	10.00
28	37,875	300	20	4.47	1.12	10.00
29	10,875	125	8	2.31	0.90	6.40
30	10,875	150	20	2.00	1.25	13.33
31	12,125	125	20	1.63	1.27	16.00
32	2,875	50	10	0.73	1.14	20.00
33	3,500	50	5	0.96	0.86	10.00
34	1,375	25	5	0.43	0.97	20.00
35	25,500	200	10	5.84	0.57	5.00
36	8,875	125	20	1.63	1.27	16.00
37	7,500	150	20	2.00	1.25	13.33
38	9,000	100	20	1.26	1.32	20.00
39	9,000	175	25	2.20	1.32	14.28
40	4,500	75	15	1.00	1.25	20.00
41	113,387	770	35	10.70	1.20	4.55
CUENCA	918,911	1,965	530	21.63	1.50	26.97

Pendiente Transversal

Es el grado de inclinación perpendicular y a ambos lados de la pendiente longitudinal o cauces principales de las microcuencas. Para el cálculo de éstas se ha utilizado el método de los círculos, en el cual se estima el rango de pendientes por medio de las curvas que pasan por un círculo, dependiendo de la escala del plano, diámetro del círculo y distancia vertical entre curvas (separación).

Aplicación del método de los círculos:

1. - Rango de Pendiente

Los rangos de pendientes más comúnmente utilizados son:

RANGO	-----	Aplicación
0% - 12%	-----	Areas suavemente onduladas o de suaves pendientes, en los que para la mayoría la escorrentía superficial es lenta o de velocidad media.
12% - 30%	-----	Areas de pendientes ligeras a fuertes, en las cuales la escorrentía es moderada.
30% - 50%	-----	Areas con pendientes pronunciadas en las cuales la escorrentía superficial es rápida.
Mayores del 50%	-----	Está constituida por áreas que presentan pendientes escarpadas, de grandes elevaciones. La escorrentía superficial es excesiva y rápida.

2. - Determinación del Diámetro del Círculo

El diámetro del círculo se asume considerando como parámetro la densidad de curvas, tomando el que facilite la lectura de curvas para los rangos mayores. Se utilizó un diámetro de 2.0 cms., para diseñar la plantilla mostrada en la Figura 2.5.

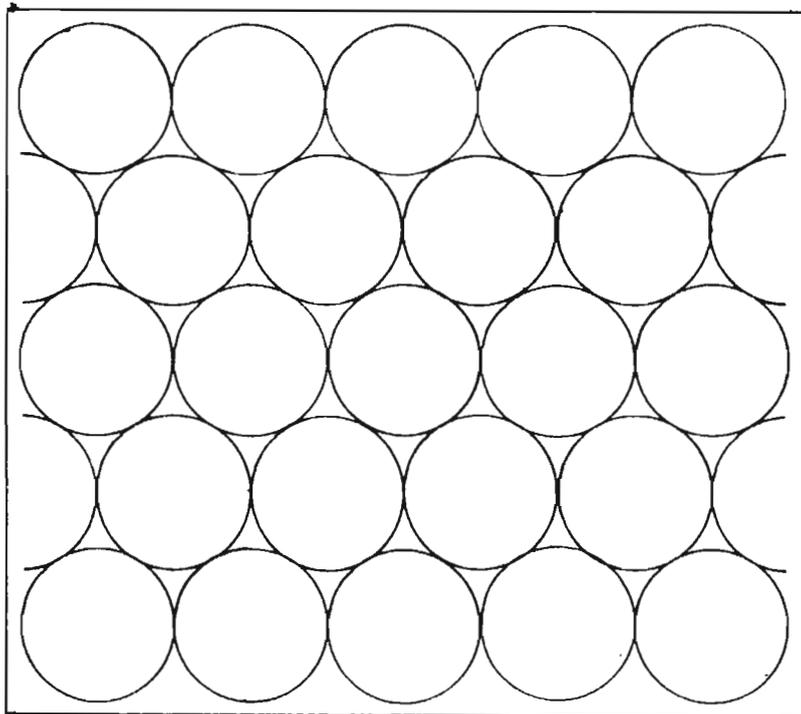


FIGURA 2.5: PLANTILLA PARA DETERMINAR PENDIENTES

3. - Cálculo

CUADRO 2.6

CALCULO DE PENDIENTES TRANSVERSALES
DE LA CUENCA

PENDIENTES (%)	V	H	X=P.H	$N_c = \frac{X}{V}$	AREA (m ²)	AREA (%)	OBSERVACIONES
0 - 12	5	100	12	0 - 2	109,956	11.97	Parte baja
12 - 30	5	100	30	3 - 6	392,700	42.73	Parte media baja
30 - 50	5	100	50	7 - 10	306,300	33.33	Parte media alta
50	5	100	100	11 - 20	109,955	11.97	Parte alta
TOTAL					918,911	100.00	

Donde:

V = Distancia vertical (separación entre curvas 5.00 m)

H = Distancia horizontal, diámetro del círculo en la escala del plano utilizado D = 100, Esc. 1:5000

P = Pendiente de rangos establecidos

X = Diferencia de elevación.

N_c = Número de curvas que atraviesan un círculo para determinado rango de pendiente.

Para fines de interpretación se dividió la cuenca en cuatro sectores: cuenca baja, media baja, media alta y alta; tomando como criterio el rango de variación de la pendiente.

En el Cuadro 2.6, de cálculo de pendiente transversales de la cuenca, se detallan los rangos de pendientes con sus respectivas áreas. Las pendientes del 12% o menores, ocupan el 11.97% del área total de la cuenca, en lo que corresponde a la parte baja, en esta zona se distribuye todo el desarrollo urbano de la cuenca; del 12% al 30% forman la parte media baja ocupando el 42.73% del área de la cuenca; en el rango del 30% al 50% de pendiente correspondiente a la parte media alta la conforma el 33.33% del área; y la parte alta está formada por el 11.97%, con pendientes mayores del 50%.

Factor o Índice de Forma

Otra de las características dominantes de la cuenca es la forma, el cual se puede llegar a determinar utilizando el índice de compacidad de Gravelius.

$$K = \frac{\text{Perímetro de la cuenca: } P}{\text{Perímetro del círculo de área equivalente}}$$

Densidad de Drenaje

Para los estudios de crecidas, se calcula la densidad de drenaje (D), de una cuenca, lo cual se define como la longitud media de la red hidrográfica por Km² de la superficie

A, de dicha cuenca:

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

Red de Drenaje

La cuenca hidrográfica está formada por un cauce principal, cuya longitud tiene aproximadamente 2000 mts., la cual recibe la red tributaria de 41 cauces secundarios convergentes; todo esto, constituye el sistema de ecuación pluvial natural de la cuenca.

2.2.2 Coefficiente de Escorrentía (C)

Es la variable menos susceptible a una determinación precisa; su uso en fórmulas implica una relación fija para alguna área de drenaje específica, mientras que en la realidad, el coeficiente sufre pérdidas entre la precipitación y la escorrentía, las cuales pueden variar en un área de desagüe dada. Estas pérdidas pueden ser debido a: intercepción por vegetación, infiltración, retención, evaporación, transpiración, etc.

Hasta que un método más preciso permita determinar la escorrentía para unas condiciones dadas, el uso de un rango de coeficientes, dependiendo del tipo de área a desaguar, es una forma bastante generalizada y aceptable. En la tabla 2.1 se dan algunos rangos dependiendo del tipo de superficie.

TABLA 2.1

Tipo de Superficie	Coefficiente de Escorrentía
Pavimentos de hormigón y bituminosos.....	0.70 a 0.95
Pavimentos de macadan	0.25 a 0.60
Adoquinados	0.50 a 0.70
Superficie de grava	0.15 a 0.30
Zonas arboladas y bosques	0.10 a 0.20
Zonas con vegetación densa:	
Terrenos granulares	0.05 a 0.35
Terrenos arcillosos	0.15 a 0.50
Zonas con vegetación media:	
Terrenos granulares.....	0.10 a 0.50
Terrenos arcillosos	0.30 a 0.75
Tierra sin vegetación	0.20 a 0.80
Zonas cultivadas	0.20 a 0.40

El coeficiente de escorrentía ha sido calculado, a través de estudios realizados, en base a tres variables: tipo de suelo, pendiente del terreno y cobertura vegetal. Por medio de la Tabla 2.2 se puede determinar el coeficiente dependiendo de las variables antes mencionadas.

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	FUERTE	PENDIENTE DEL TERRENO			
			ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
			50%	20%	5 %	1 %
Sin Vege- tación	Impermea- ble	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semi-per- meable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.60	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermea- ble	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semi-per- meable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Vegeta - ción li- gera. Pastos	Impermea- ble	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semi-per- meable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba Gram corta	Impermea- ble	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semi-per- meable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.12	0.10
Vegeta ción den sa. Bosques	Impermea- ble	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semi-per- meable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.20
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.00

TABLA 2.2: COEFICIENTE DE ESCORRENTIA EN BASE AL TIPO DE SUELO, PENDIENTE DEL TERRENO Y COBERTURA VEGETAL.

El uso de un coeficiente promedio para varios tipos de superficie, cuando la cuenca se componga de zonas de distintas características, es bastenta recomendable, teniendo en cuenta el área y coeficiente de escorrentía de las zonas que lo constituyen.

En la mayor parte de los casos, se obtendrá un valor, suficientemente aproximado, del coeficiente de escorrentía ponderado, utilizando la Tabla 2.3. A cada suma de índices K, para las cuatro condiciones generales señaladas en la Tabla, corresponderá un valor de C, de acuerdo con los límites que en la misma se establecen.

TABLA 2.3: COEFICIENTES DE ESCORRENTIA

	VALORES DE K			
1- Relieve del terreno	40 Muy accidentado pendientes superiores al 30%	30 Accidentado pendientes entre el 10% y el 30%	20 Ondulado pendientes entre el 5% y el 10%	10 Llano pendientes inferiores al 5%
2- Permeabilidad del suelo	20 Muy impermeable Roca	15 Bastante impermeable Arcilla	10 Bastante permeable Normal	5 Muy permeable Arena
3- Vegetación	20 Ninguna	15 Poca Menos del 10% de la superficie	10 Bastante Hasta el 50% de la superficie	5 Mucho Hasta el 90% de la superficie.
4- Capacidad de almacenaje de agua	20 Ninguna	15 Poca	10 Bastante	5 Mucha
Valor de K comprendido entre	75 - 100	50 - 75	30 - 50	25 - 30
Valor de C	0.65 - 0.80	0.50 - 0.65	0.35 - 0.50	0.20 - 0.35

2.2.3 Escorrentía

La escorrentía en nuestro país, es medida, analizada y calculada por el Departamento de Hidrología Operativa del CENREN (Centro Nacional de Recursos Naturales); puesto que cuenta con una red de estaciones hidrométricas ubi cadas en las principales cuencas.

Las aguas que componen las corrientes de una cuenca, pueden llegar al cauce por uno de los varios caminos dispo nibles, desde que llegan a la tierra en forma de precipita - ción. Existen varios tipos de escorrentía, las cuales son: escorrentía superficial, subsuperficial y subterránea.

La precipitación que pasa por el punto de observación es definida por un hidrograma, que es un efecto o respuesta a través de ciertas correlaciones, representadas por un hieto grama. El área bajo la curva del hidrograma y el hietograma representan los volúmenes de agua escurrida y las precipita - ciones respectivamente.

Es frecuente valorar la escorrentía como un porcentaje de la lluvia total que la originó. El cociente entre ambas variables se denomina coeficiente de escorrentía (c). Para efectos prácticos, la escorrentía total es dividida en esco - rrentía directa y flujo base, definidas en función del tiem po de llegada a la corriente.

2.3 GEOLOGIA Y TECTONISMO

2.3.1 Geología de El Salvador

En lo referente a su estructura geológica regional, América Central se divide en dos partes:

- Septentrional y
- Meridional.

Su basamento está compuesto por rocas cristalinas Me tamórficas e ígneas, cuyo origen se remonta a principios o a mediados de la Era Paleozoica.

El Salvador es parte integrante de América Central Septentrional, por lo tanto, posee una corteza de tipo conti nental con espesores variables entre 6 y 25 kms.

La secuencia estratigráfica de América Central Septentrional se puede resumir de la siguiente manera:

- Rocas volcánicas e intrusivas del Terciario y Cuater nario.
- Rocas sedimentarias del Terciario.
- Sedimentos mesozoicos, especialmente rocas carboná- ticas del Cretácico.
- Rocas sedimentarias del Paleozoico Superior.
- Rocas metamórficas del Paleozoico Inferior.
- Rocas metamórficas del Precámbrico.

Las rocas más antiguas encontradas en El Salvador, demuestran que la geología del país comienza en la Era Secundaria, más exactamente entre el Cretácico Medio a Cretácico Superior. El territorio salvadoreño está formado en más de un 90%, por rocas volcánicas del Terciario y Cuaternario; el resto lo conforman sedimentos pertenecientes al Mesozoico y Terciario Inferior, los cuales únicamente se encuentran en el extremo Nor-Oeste de la República.

2.3.2 Litología de El Salvador

Desde el punto de vista geológico, el territorio salvadoreño está formado por las siguientes clases de rocas:

-Rocas volcánicas, las cuales cubren más de un 90% del país. Por su composición química y mineralógica comprenden rocas efusivas riolíticas y dacíticas en menor proporción; y andesíticas y basálticas, así como también materiales piroclásticos, en una escala mucho mayor.

-Rocas sedimentarias marinas, localizadas en el extremo noroeste del país, más exactamente en el norte del departamento de Santa Ana y parte del de Chalatenango. Estas comprenden en su mayoría calizas, conglomerados de cuarzo y areniscas.

-Rocas sedimentarias de origen orgánico, localizadas en diferentes partes de la República, formando generalmente pequeños depósitos de diatomita y lignitos.

-Rocas de carácter intrusivo, clasificadas petrográficamente como granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas.

Todas estas rocas hacen de El Salvador, un país de edad geológica relativamente joven, la mayoría de ellas se formó en la Era Terciaria, posiblemente en los períodos Oligoceno y Mioceno; en cambio, un porcentaje menor tuvo su origen en la Era cuaternaria, en el período Pleistocénico. Las más antiguas que son las rocas sedimentarias marinas, se formaron a fines de la Era Secundaria, en el período denominado Cretácico Superior, lo cual traducido en números significa aproximadamente 80 millones de años.

2.3.3 Geología de San Salvador .

Los estudios geológicos realizados en el Area Metropolitana de San Salvador y sus alrededores cercanos; han demostrado que todas las rocas que en ella se encuentra, pertenecen a la categoría de volcánicas, con edades geológicas que oscilan entre el Terciario y Cuaternario. Presentan diferentes grados de conservación y sanidad, así como también han sufrido de diferente manera los estragos propios de la erosión.

La poca estabilidad del subsuelo de San Salvador, ha sido la causa principal para que, desde la época colonial, se le llame a esta zona "Valle de Las Hamacas". Tal estabilidad ha contribuido a incrementar la intensidad de los sismos, aumentando también con ello las posibilidades de destrucción.

Entre los materiales geológicos que pertenecen a la "Formación de San Salvador", y que cubren casi toda el Area Metropolitana, ubicadas en orden cronológico, comenzando con el más reciente hasta terminar con el más antiguo, se observan los siguientes:

- Materiales redepositados o re TRABAJADOS bajo la influencia del agua.
- Cenizas volcánicas, conocidas bajo la denominación de Tierra Blanca.
- Estratos de pómez, que han dado lugar a la formación de las llamadas tobas de color café.
- Corrientes de lavas andesíticas y basálticas.

Los materiales redepositados o re TRABAJADOS consisten en una mezcla de finos y gruesos, en los que predominan cenizas volcánicas (limos arenoso o arenas limosas). Con inclusiones de fragmentos de diferentes tamaños de pómez y partículas líticas. Se trata de sedimentos aluviales que tienen un espesor de 20 metros.

Por su edad geológica reciente, presentan una condición de baja estabilidad debido a su escasa consolidación, por lo que con relativa facilidad se erosionan por la influencia del agua.

Como su granulometría es bien variada, lo es también su porosidad y principalmente su permeabilidad; puede clasificarse como de gran porosidad y permeabilidad buena.

Las cenizas volcánicas o tierra blanca fue arrojada, a través de una serie de erupciones violentas, por la última manifestación del Volcán de Ilopango, ocurrida aproximadamente hace dos mil años.

Está compuesta por un pómez de granulometría muy fina de composición dacítica; así mismo, se trata de materiales de poca estabilidad debido a su escasa edad geológica; poseen una buena porosidad y una permeabilidad relativamente aceptable, variables de acuerdo a su grado de confinamiento.

Los estratos de pómez, conocidos como tobas de color café, son materiales piroclásticos con un alto contenido de óxido de sílice (SiO_2), por lo que tienen una composición ácida. La granulometría que presentan también difiere, en este caso de fino a grueso; el espesor máximo que tienen alcanza los 25 metros.

Las tobas de color café son más estables que la tierra blanca; no obstante, es necesario mencionar que su estabilidad difiere mucho de un lugar a otro, dependiendo esencialmente de su grado de consolidación.

La falta de una cobertura vegetal adecuada y con una gran intensidad de lluvia, se convierten en materiales que se erosionan fácilmente.

Las lavas andesíticas y basálticas son el producto de la actividad eruptiva de "El Boquerón". Se trata, de corrientes de lava que parcialmente se encuentran sepultadas por los materiales piroclásticos. Algunas características de ellas son las siguientes:

- Presentan una matriz formada por granos minerales muy finos a medios.
- Su estructura es laminar.
- Son muy compactas.
- No se les conoce con exactitud su espesor.
- Presentan las mejores condiciones de estabilidad, es decir, son los que mayor resistencia ofrecen a los efectos de la erosión y de la actividad sísmica.

El suelo tiene su origen en el Volcán de Ilopango, en el cráter del cual se formó el lago de Ilopango, así como también de los sedimentos provenientes del Volcán de San Salvador.

Alrededor del Lago de Ilopango, al oriente de la zona de estudio, se ha depositado sedimentos fluviales o aluviales, que han sido arrastrados por los ríos o la escorrentía superficial, siendo el material más antiguo el cercano a la ribera del lago.

El Cerro San Jacinto está formado por una cúpula de lava andesítica o andesita y cenizas volcánicas, provenientes del Volcán de Ilopango; se encuentran también tobas de pómez, debido a la consolidación de las cenizas volcánicas provenientes del Volcán de San Salvador. La ubicación de estas formaciones se encuentra detallada en el "Mapa Geológico de la zona" (Plano N° 4).

2.3.4 Tectonismo

En El Salvador únicamente se tiene conocimiento que existen tres sistemas tectónicos: uno que se desplaza en dirección Oeste-Noroeste (WNW), otro que lo hace en dirección Norte-Noroeste (NNE) y un tercero cuya dirección es Norte-Noroeste (NNW). Siendo el más importante el primero, empleándose para la subdivisión del país en zonas morfológico-geológicas.

Para una mayor comprensión de estos sistemas tectónicos, se hace una descripción de cada uno de ellos:

Sistema Oeste-Noroeste (WNW).

Lo más notable de este sistema son sus desplazamientos verticales que se observan a lo largo de esta dirección en todo el país. Su actividad originó formas de tensión como por ejemplo: fosas tectónicas, llamadas también graben. A este sistema se le pueden reconocer cinco ejes principales:

- El primero forma el límite sur de la montaña frontera, presentando dislocaciones verticales de aproximadamente 1,000 m., aparentemente no posee ninguna clase de volcanismo, ni actividad sísmica alguna.
- El segundo eje presenta dos características importantes: la primera consiste en la presencia de un volcanismo individual apagado en el norte del país (cadena

interior); y la otra, en la formación de un graben del tipo "Y". Hoy en día no presenta ninguna actividad sísmica.

- El tercer eje localizado más hacia el sur, el cual parece ser el más prominente; sus dislocaciones tectónicas formaron continuamente fosas tectónicas (Fosa Central). Importante es el hecho de contar con un volcanismo individual joven, el cual todavía se encuentra en parte activo. Los volcanes pertenecientes a este eje son del tipo estrato-volcano, además, se encuentran en esta fosa tectónica, depresiones volcano-tectónicas (lagos de Ilopango y Coatepeque) y cúpulas de lava (Cerro de San Jacinto). Los movimientos tectónicos son bastante continuos; los hipocentros alcanzan profundidades de más o menos 10 Kms.
- El cuarto eje está situado en el Océano Pacífico, a unos 25 kms. de la costa. Su actividad sísmica es muy notable, los hipocentros tienen una profundidad de aproximadamente 100 kms.
- El quinto eje, situado más hacia el sur, forma una fosa marina que guarda una posición paralela a la costa, su actividad sísmica no es muy pronunciada.

De acuerdo a estos ejes que constituyen el sistema tec-

tónico Oeste-Noroeste (WNW), se puede deducir razonablemente que la actividad tectónica del país comenzó en el norte, sufriendo posteriormente un desplazamiento gradual hacia el sur. En la actualidad, los ejes de mayor actividad son el cuarto y el quinto.

Sistema Norte-Noreste (NNE)

Desde el punto de vista morfológico, el sistema Norte-Noreste (NNE) no es muy evidente, si las dislocaciones verticales son características para el sistema Oeste-Noroeste (WNW), las horizontales lo son para el sistema Norte-Noreste (NNE); sin embargo, ambas son aproximadamente contemporáneas. Esto se comprueba, porque la cadena tectónica-volcánica joven, que atraviesa Nicaragua en dirección Noroeste (NW), finaliza precisamente donde existen líneas de rumbo general Norte-Noreste (NNE), cambiando su rumbo a Oeste-Noroeste (WNW).

Otro hecho que implica a lo anterior, es la dislocación de 10 a 20 kms. hacia el Norte, respecto al eje tercero, de la cadena tectónica-volcánica joven de Guatemala, la cual tiene el mismo rumbo y al mismo tiempo es contemporánea con la cadena tectónica-volcánica joven de El Salvador. El límite entre ambas cadenas está constituido por líneas de dirección Norte-Noreste (NNE).

Sistema Norte-Noroeste (NNW).

Todos los productos efusivos de las erupciones volcánicas ocurridas en tiempos históricos salieron de volcanes pertenecientes al sistema Oeste-Noroeste, eje tercero, pero a través de fallas con rumbo Norte-Noroeste, lo cual indica que este sistema es más joven que los dos anteriores. Un ejemplo típico es la erupción del volcán de San Salvador, que en el año de 1917, arrojó lavas siguiendo una línea de debilidad tectónica Norte-Noroeste. La actividad sísmica de este sistema es notable, aunque menos intensa que la del sistema Oeste-Noroeste.

Al Este y Noreste de la ciudad de San Salvador y en los alrededores del Lago de Ilopango, sobresale un grupo de fallas con dirección Noreste-Suroeste, subordinadas a las que poseen un rumbo Noroeste-Sureste. Específicamente en la zona de estudio se producen tres tipos de fallas: una Noroeste (NW), otra Noreste (NE) y finalmente unas fallas probables de tipo circular; las cuales están indicadas en el Plano N° 4, señalándose la dirección del hundimiento.

Todo lo mencionado anteriormente, demuestra la extrema complejidad tectónica de El Salvador. Un hecho bastante importante es que en la actualidad está levantándose el territorio salvadoreño, un ejemplo son los manglares situados en

la llanura de la costa del Río Lempa y junto al Golfo de Fonseca; así como también terrazas fluviales en distintas partes del país, siendo un testimonio fiel de este levantamiento tectónico lento, mediciones topográficas efectuadas por el Instituto Geográfico Nacional "Pablo Arnoldo Guzmán".

2.4 HIDROGEOLOGIA

La región investigada está constituida por rocas volcánicas que van del terciario (pliocénicas) a cuaternario, existiendo además sedimentos recientes que se han originado a partir de rocas volcánicas.

La parte norte y nor-oeste del Lago de Ilopango, está constituida por una serie de tobas dacíticas intercaladas con cenizas lapilli, de pómez y sedimentos fluvio lacustres. La cuenca baja del Río Guluchapa está cubierta por sedimentos fluvio lacustres, provenientes de la cordillera del Bálsamo, Cerro San Jacinto y zona del Boulevard del Ejército.

Al oeste del Lago de Ilopango se encuentra el Cerro de San Jacinto el cual está formado por una serie de cúpulas de lava que a través del tiempo se han unido formando aparentemente un solo cuerpo. Principalmente en la parte oriental

del Cerro se han desarrollado éstas cúpulas constituidas por lavas básicas, viscosas, densas y masivas.

En su parte occidental afloran lavas laminares, parcialmente fracturadas, cubiertas en gran parte por piroclásticos (tobas líticas, pomíticas y cenizas dacíticas) expulsadas por los conos del Lago de Ilopango.

El borde sur del Lago de Ilopango forma parte de la cordillera del Bálsamo, integrada en este sector por lavas andesíticas-basálticas, lahar y aglomerados en descomposición, parcialmente cubiertas por tobas y cenizas de Ilopango.

De acuerdo a las características de las rocas que constituyen el área y a sus índices de recarga, considerado en el estudio Hidrogeológico realizado por el Servicio Hidrológico del MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería), (Ref.3); se identifican cuatro zonas:

Zona I: permeabilidad alta a media.

Zona II: permeabilidad media.

Zona III: permeabilidad media a baja.

Zona IV: permeabilidad baja a muy baja.

De las cuales solamente quedan comprendidas en nuestra área de estudio las siguientes:

Zona II: Permeabilidad media:

Está constituida de tobas de baja compactación, in-

tercaladas con estratos de cenizas y lapilli pomítico fino a grueso. Índice de recarga de 14%.

Zona III: Permeabilidad media a baja

Está formada por lavas básicas, masivas, parcialmente fisuradas, en parte cubiertas por piroclásticos. Con un índice de recarga del 5%.

Debido a los tipos de zonas en el área de estudio (Plano N° 5), la recarga del manto acuífero es muy baja, dado que su grado de permeabilidad no permite una gran infiltración, influyendo esto en el incremento de la lámina de escorrentía superficial, teniendo un mayor caudal y, por consiguiente más volumen de materiales sólidos arrastrados o sedimentados.

CAPITULO III
"METODOLOGIA PARA LA OBTENCION DE DATOS"

CAPITULO III

3.1 RECONOCIMIENTO PRELIMINAR

Previo al planteamiento de la metodología a seguir, se realizó un reconocimiento preliminar en el lugar, con el objeto de poder evaluar la magnitud del problema, así como plantear las hipótesis de análisis necesarias. Se describe la forma en que se llevó a cabo la evaluación y control de los volúmenes erosionados y sedimentados, a todo lo largo y ancho de la calle quebrada "El Guaje"; datos que se han obtenido, para luego ser comparados con otros métodos empíricos que utilizan parámetros o variables diferentes, tales como, intensidad de lluvia, coeficiente de escorrentía, longitud y pendiente del cauce y diámetro del material.

La metodología comprende tres aspectos que van desde la obtención de datos en el campo, análisis en laboratorio, hasta interpretación y evaluación de las diferentes variables en la oficina, para luego tabular y comparar resultados volumétricos de material arrastrado o erodado en la zona de estudio. Esto permitiría continuar con futuras investigaciones, en la obtención de datos que aporten mayores elementos de juicio, para el estudio del problema de erosión, arrastre y sedimentación.

Se identificaron los cauces que tienen mayor incidencia sobre la calle-quebrada "El Guaje", determinando los puntos de mayor interés con el propósito de ubicar las secciones transversales que servirán para evaluar el movimiento de material pétreo que es transportado a lo largo del cauce principal de la misma. Además se consideró necesario realizar el levantamiento topográfico del cauce principal, y conocer las variaciones de pendientes reales que presenta, definiendo así la zona desde la cual el material inicia el proceso de depositación, siendo ésta la frontera entre la erosión y sedimentación.

3.2 TRABAJO DE CAMPO

El trabajo realizado en el campo consiste en la obtención de muestras de material sólido, así como también trazar diferentes secciones transversales para conocer el movimiento del material en períodos establecidos de tiempo y debidamente espaciadas, las cuales se ubican, trazan y detallan en base a los estacionamientos contenidos en la planimetría del cauce principal.

3.2.1 Levantamiento Topográfico

La labor llevada a cabo, tendrá por finalidad la obtención de las características topográficos de la calle-quebra

da, a través de la misma; así como también los cambios de pendientes producidos, mediante una detallada y clara planimetría y altimetría, tomando coordenadas y niveles geodésicos del punto de intersección (PI), de la calle "El Guaje", y calle de acceso a estacionamiento N° 3 de la Urbanización Matazano N° 1.

El levantamiento topográfico de la calle-quebrada "El Guaje", se detalla en las hojas de presentación 3.1/1 y 3.1/2.

3.2.2 Secciones Transversales

Habiendo identificado los puntos donde se producen cambios bruscos o significativos, en el movimiento del material, se procedió a establecer las referencias necesarias para llevar a cabo las mediciones. Para obtener lecturas representativas se considera tomar como referencia el control de cambio de nivel, de tal forma que al proporcionar un área y multiplicarla por la distancia entre secciones, refleja el volumen de material transportado. Se procuró que las secciones transversales se ubicaran a longitudes constantes, o en posiciones que fueran representativas del fenómeno y variación en que se está interesado en evaluar.

Por otra parte, y con la finalidad de establecer una secuencia de medición, se consideró un período de tres días

entre lecturas, como el más adecuado, tratando de evitar la obtención de datos influenciados por factores externos, no sujetos a control; el sistema de evaluación planteado depende específicamente de la copiosidad del invierno, ya que básicamente la continuidad o ausencia de lluvia es determinante para la frecuencia de las mediciones; llegando éstas, en condiciones especiales a efectuarse, si fuese necesario, día a día.

3.2.3 Recolección de Muestras

Posterior al análisis visual de los puntos en los cuales existe un cambio en el material, diámetro, color o textura se recolectaron las diferentes muestras a efecto de practicar el análisis granulométrico respectivo, para encontrar cuál es el diámetro medio predominante en ese punto, y cuánta es la distancia recorrida desde su origen; cumpliendo este procedimiento para varios períodos de lluvia. En las secciones identificadas con cambios de material, se realizó el muestreo tomando de los laterales una cantidad, para ser mezclado con otra cantidad tomada del centro, desechando la capa superficial de cada muestra para eliminar la materia orgánica. Considerando la mezcla como representativa del cambio del material, en la sección, se realizó el cuarteo, tomando los cuartos opuestos en una cantidad aproxima

mada de 2,000 gramos, depositando en un recipiente debidamente identificado con procedencia, fecha, estacionamiento, etc.

Las secciones que sirvieron de referencia para la obtención de muestras son las siguientes:

SECCION	ESTACIONAMIENTO
3	0 + 109.25
5	0 + 196.75
7	0 + 331.72
12	0 + 575.35
13	0 + 822.15
16	0 + 853.35
17	0 + 882.15
19	1 + 033.50

CUADRO N° 3.1: SECCIONES TRANSVERSALES BASE
PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO.

3.3 TRABAJO DE LABORATORIO

El trabajo llevado a cabo en el laboratorio, tendrá por finalidad:

- a) Obtener la cantidad de lluvia precipitada en el área, a través de mediciones directas;
- b) Conocer los diámetros de los materiales sedimentados o arrastrados;
- c) La determinación del peso específico de los mismos.

Estos parámetros servirán para poder evaluar y calcular la pérdida de suelo en la ecuación universal de Wischmeier y el gasto sólido en la ecuación de Peter-Meyer y Müller.

3.3.1 Medición de Precipitaciones

Para la obtención de las cantidades de lluvia precipitada, se solicitó al Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional, los datos de las mediciones diarias de precipitación registradas por la estación Meteorológica Matriz, ubicada en las oficinas del Centro de Recursos Naturales Renovables (CENREN), Matazano, cuya estación se encuentra dentro del área de estudio; y por lo tanto registra los datos más exactos de lluvia precipitada en la zona.

Las mediciones se llevaron a cabo mediante pluviógrafo

y/o pluviómetro, instrumento que mide la variación de la cantidad de lluvia en el tiempo (generalmente un día). Estos determinan un gráfico denominado pluviograma (Figuras 3.1 a 3.13), donde se puede observar la cantidad de lluvia por tiempo de duración de la lluvia.

3.3.2 Granulometría de las Muestras

La clasificación del material encontrado se ha hecho utilizando una serie de mallas, clasificadas como U.S. Standard, separando el material en los diámetros siguientes:

MALLAS U.S. STANDARD	DIAMETRO DE LA PARTICULA
2"	50.0 mm.
1.1/2"	38.1 mm.
1"	25.0 mm.
3/4"	19.0 mm.
1/2"	12.5 mm.
3/8"	9.5 mm.
1/4"	6.35mm.
Nº 4	4.75mm.
Nº 8	2.36mm.
Nº16	1.18mm.
Nº30	0.60mm.
Nº50	0.30mm.
Nº 100	0.15mm

CUADRO Nº 3.2: CLASIFICACION U.S. STANDARD.

PROCEDIMIENTO PARA LA GRANULOMETRIA

La granulometría de los materiales se obtuvo de la manera siguiente:

- Pesar 2,000 grs. aproximadamente, de la muestra obtenida en el campo.
- Secar al horno la muestra a una temperatura constante (110°C), durante 24 horas.
- Tras sacar del horno enfríese y pésese.
- Colocar la muestra en un juego de mallas dispuesto en un orden descendente de abertura, incluyendo tapa y charola.
- Efectuar vibrado durante 5 minutos como mínimo.
- Pesar los retenidos en cada malla, cuidando que ninguna partícula quede adherida en sus entramos.

Se obtienen así los porcentajes retenidos parciales, referidos al peso total de la muestra. Con estos datos puede dibujarse la curva acumulativa.

3.3.3 Peso Específico

La gravedad específica se define como la relación entre el peso de un volumen determinado de material (peso específico) y el peso de un volumen igual de agua destilada a 4°C (peso específico del agua).

$$G_s = \frac{W_s/V}{W_w/V} = \frac{W_s}{W_w}$$

$$P_e = \frac{W_s}{V}$$

Donde: G_s = gravedad específica

W_s = Peso del material

W_w = Peso del agua

v = Volumen del agua - Volumen del material

P_e = Peso específico

Dado que en el sistema métrico decimal el peso específico del agua (peso por unidad de volumen) es 1,000 kg./M³, cuando el agua se encuentra a 4°C; los valores numéricos del peso específico y de la gravedad específica, son los mismos aunque no poseen las mismas unidades.

A continuación describimos el método por el cual se determinó el peso específico de la muestra saturada superficialmente seca, después de estar 24 horas en agua destilada a la temperatura ambiente.

EQUIPO NECESARIO

- Balanza de precisión (capacidad de 1 kg. y aproximación al 0.1 gr.).
- Frasco Chapman (Matraz) de 500 ml.
- Molde cónico de metal de 1.1/2" de diámetro en la parte superior, 3.1/2" de diámetro en la base y 2.7/8" de altura.
- Un apizonador metálico, con un peso de 12 onzas, siendo la base circular de un diámetro de 1", que es la que sirve para apizonar el material.
- Pipeta de 10" 1/10 ml.
- Termómetro.
- Secador de reflectores de 150 watts.
- Horno Beckel.
- Espátula, tenaza y recipiente en el cual se coloca el material para secarlo.

3.3.3.1 Peso Específico de la Arena

Preparación de la Mezcla

Se coloca en una bandeja o recipiente adecuado 1,000 grs. del agregado fino, el cual ha sido seleccionado por el método del cuarteo, después de secarlo a una temperatura de 100°C a 110°C. Se le agrega agua destilada hasta que quede cubierta la mezcla y se le deja reposar 24 horas. Se coloca la muestra en una superficie plana, distribuida en capas delgadas, expuesta al secador de reflectores, agitando frecuentemente para asegurar un secado uniforme, se continúa esta operación hasta que el agregado fino se aproxima a una condición de libre fluidez. Entonces se coloca el agregado fino a 1/3 de la capacidad del molde cónico, dándole 10 golpes con el apizonador, luego se le pone más agregado fino hasta la capacidad de los 2/3 del cono y se le da 9 golpes más, nuevamente se le echa más agregado fino hasta llenar el molde cónico y se le golpea 6 veces con el apizonador completando así las 25 veces que se debe apizonar el material. El molde se levanta verticalmente, si hay humedad libre, el cono mantendrá su forma; se continuará secando y haciendo la operación anterior hasta que el cono de agregado fino se derrumbe al quitar el molde; lo que nos indicará que el agregado fino ha alcanzado la condición de saturado superficialmente seco.

PROCEDIMIENTO:

- a) Tomar una muestra de material en condición saturada superficialmente seca.
- b) Se coloque la muestra dentro del matraz, (previamente calibrado), agregándole agua e introduciéndolo en baño maría, agitando el matraz frecuentemente para remover el aire.
- c) Cuando se considera que ya no hay aire atrapado dentro del material, se seca el matraz por fuera y dentro del cuello y se le agrega agua hasta la marca de aforo.
- d) Se pesa el matraz con agua y arena y se toma su temperatura, siguiendo con el procedimiento para varios grados.
- e) Se procede a la calibración del matraz, conteniendo sólo agua destilada, aforando a 500 ml., y para diferentes grados de temperatura.
- f) Con los resultados obtenidos a través de las medidas anteriores, puede elaborarse un gráfico en el que se encuentren relacionados los pesos obtenidos con la temperatura.
- g) Se obtiene la gravedad específica (peso específico) del agua, para hacer la corrección por temperatura.
- h) Con los datos así obtenidos se calcula la gravedad específica (P_e) del material por la fórmula:

$$P_e = \frac{\alpha W_s}{W_{ma} + W_s - W_{mas}} = \frac{\alpha W_s}{W_a} \quad (3.3.3)$$

Donde: W_s = peso del material saturado superficialmente seco.

W_{ma} = peso del matraz más agua.

W_{mas} = peso del matraz más agua y material.

α = factor de corrección por temperatura que se calcula como $\alpha = \frac{\rho_T}{\rho_{20^\circ\text{C}}}$; y es la relación entre los pesos unitarios del agua a la temperatura T del ensayo y a 20°C .

NOTA: Se recomienda realizar el procedimiento anterior por lo menos 3 veces, tomando como la gravedad específica del material el promedio de los datos más consistentes obtenidos.

3.3.3.2 Peso Específico de la Grava

Determinaremos la gravedad específica (peso específico) de la grava, después de estar 24 horas en agua destilada a la temperatura ambiente.

Equipo necesario:

- Balanza con una capacidad de 5 kilos o más, con aproximación de 0.1 gr.
- Probeta graduada.
- Franela o papel toalla para secar el material.

- Charolas.
- Horno para secar el material después de la prueba, con temperatura aproximada de 100°C a 110°C.

Preparación de la Muestra

Se tomaron 5 kilos de agregado grueso, seleccionado por cuarteo y después de estar 24 horas en agua. Se seca la muestra frotándola con franela o papel toalla, hasta que pierda el brillo (humedad superficial).

Procedimiento:

Los pasos a seguir son los descritos en el numeral 3.3.3.1, peso específico de la Arena.

3.4 TRABAJO DE OFICINA

Con el objeto de realizar los cálculos y el análisis de las pruebas realizadas en el laboratorio y de las mediciones de campo, es necesario efectuar un trabajo de oficina, que permita realizar una interpretación correcta de los resultados obtenidos, así como de los planos y las variables tabuladas en sus respectivos cuadros; estableciendo de esa manera una relación entre ellos. Este trabajo permitirá evaluar los volúmenes de material sedimentado o erosionado, en base a las mediciones directas de las secciones transversales ubicadas a lo largo de la calle-quebrada "El Guaje".

3.4.1 Levantamiento Topográfico

Este proceso se ha considerado básico para la obtención de las diferentes pendientes, y un cauce más detallado de la calle-quebrada.

Para fines de interpretación del perfil longitudinal los rangos de variación de la pendiente se dividió en la forma siguiente:

Rango de Pendiente (%)	-	Estacionamiento	-	Característica
0 - 6	-	0+000 - 0+700.00	-	Suave
6 -12	-	0+700.00- 1+300.00	-	Media
Mayor de 12	-	1+300.00- 1+660.00	-	Crítica

El cálculo de las pendientes entre los estacionamientos se presentan en el cuadro siguiente:

CUADRO 3.3: CALCULO DE PENDIENTES

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
0 + 000	642.80	
		1.90
0 + 020	643.18	
		1.95
0 + 040	643.58	
		2.20
0 + 060	644.02	
		2.40
0 + 080	644.49	
		2.55
0 + 100	645.01	
		3.25
0 + 120	645.66	
		3.15
0 + 140	646.29	
		3.50
0 + 160	646.98	
		3.50
0 + 180	647.68	
		4.45
0 + 200	648.58	
		5.55
0 + 220	649.68	
		4.20
0 + 240	650.53	
		5.05
0 + 260	651.53	

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
		4.20
0 + 280	652.38	
		4.25
0 + 300	653.23	
		3.85
0 + 320	653.99	
		5.60
0 + 340	655.11	
		4.95
0 + 360	656.10	
		4.60
0 + 380	657.03	
		5.65
0 + 400	658.16	
		4.60
0 + 420	659.08	
		5.40
0 + 440	660.16	
		5.60
0 + 460	661.28	
		5.50
0 + 480	662.38	
		5.70
0 + 490	662.88	
		5.70
0 + 500	663.45	
		5.60

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
0 + 520	664.57	
		5.20
0 + 540	665.61	
		7.05
0 + 560	667.10	
		5.70
0 + 580	668.24	
		6.35
0 + 600	669.51	
		5.65
0 + 620	670.65	
		5.65
0 + 640	671.78	
		6.90
0 + 660	673.16	
		5.60
0 + 680	674.28	
		6.85
0 + 700	675.64	
		6.40
0 + 720	676.92	
		5.75
0 + 740	678.07	
		6.30
0 + 760	679.33	
		3.20
0 + 780	679.97	

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
		8.65
0 + 800	681.70	
		3.00
0 + 820	682.30	
		9.35
0 + 840	684.17	
		7.40
0 + 860	685.65	
		8.05
0 + 880	687.26	
		3.00
0 + 900	686.66	
		9.50
0 + 920	688.56	
		3.40
0 + 940	689.24	
		6.20
0 + 960	690.48	
		8.00
0 + 980	692.09	
		11.75
1 + 000	694.43	
		9.00
1 + 020	696.23	
		7.35
1 + 040	697.71	
		11.25
1 + 060	699.96	

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
		10.30
1 + 070	700.99	
		6.40
1 + 080	701.63	
		9.50
1 + 100	703.53	
		10.55
1 + 120	705.63	
		12.00
1 + 130	706.84	
		14.00
1 + 140	708.25	
		12.50
1 + 150	709.50	
		12.20
1 + 160	710.73	
		13.70
1 + 170	712.10	
		10.50
1 + 180	713.15	
		7.00
1 + 200	714.54	
		9.40
1 + 210	715.48	
		10.10
1 + 220	716.49	
		15.40
1 + 230	718.04	

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
		10.80
1 + 240	719.12	
		11.00
1 + 250	720.21	
		9.56
1 + 260	721.17	
		4.90
1 + 270	721.65	
		7.50
1 + 280	722.40	
		10.10
1 + 290	723.42	
		10.10
1 + 300	724.42	
		10.40
1 + 310	725.46	
		12.10
1 + 320	726.67	
		13.30
1 + 330	728.00	
		14.50
1 + 340	729.46	
		5.30
1 + 350	728.93	
		16.60
1 + 360	730.58	
		19.30
1 + 370	732.51	

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
		16.30
1 + 380	734.15	
		19.10
1 + 390	736.05	
		16.90
1 + 400	737.74	
		17.70
1 + 410	739.52	
		14.50
1 + 420	740.97	
		13.20
1 + 430	742.29	
		14.70
1 + 440	743.76	
		14.50
1 + 450	745.21	
		13.50
1 + 460	746.56	
		13.20
1 + 470	747.87	
		9.60
1 + 480	748.84	
		12.30
1 + 490	750.06	
		11.50
1 + 500	751.22	
		10.90
1 + 520	753.30	

ESTACION	ELEVACION (Mts.)	PENDIENTE (%)
		10.20
1 + 530	754.31	
		9.10
1 + 540	755.22	
		10.20
1 + 550	756.24	
		13.40
1 + 560	757.59	
		10.65
1 + 580	759.71	
		12.60
1 + 590	760.97	
		16.40
1 + 600	762.61	
		19.00
1 + 610	764.52	
		14.70
1 + 620	765.99	
		19.30
1 + 630	767.91	
		16.20
1 + 640	769.53	
		18.90
1 + 650	771.42	
		19.90
1 + 660	773.41	

3.4.2 Secciones Transversales

Las lecturas realizadas en las secciones transversales, se utilizan para la determinación del volumen del material en movimiento, en función de la diferencia de elevaciones. Estos poseen una forma trapezoidal en general y abarcan el ancho del rodaje de la calle-quebrada "El Guaje"; en las colonias Matazano N^o 1 y 2, este ancho se mantiene en una longitud aproximadamente de 800 metros; a partir de allí, el cauce de la quebrada conserva la sección trapezoidal, pero reduce su ancho a un promedio de 4 metros; aumentando su profundidad, alcanzando en algunos tramos hasta 3 metros; las lecturas siempre se efectuaron abarcando tanto el ancho del rodaje como la sección de la quebrada.

En las figuras 3.14 hasta la 3.25, se muestra un juego de lecturas realizadas en cada sección transversal.

3.4.2.1 Obtención de Volúmenes.

Los volúmenes de material se obtuvieron a través de la superposición de las secciones transversales de fechas consecutivas, dando por diferencia entre las líneas de fondo, el área ocupada por el material, depositado o arrastrado, por ejemplo la lectura efectuada el 3 de agosto se tomó como sección base, para evaluar el volumen de material sedi

mentado o erosionado, entre esta fecha y la medida el 5 de agosto. Debido a que casi siempre es limpiado el material depositado en la parte baja del cauce, colonia Vásquez y Matazano, a la vez que se le da un mantenimiento a la calle-quebrada que sirve de acceso a la pedrera "El Refugio", las secciones bases se escogieron con el criterio de que en dichas fechas se hubiere efectuado lo antes descrito. Tomando el promedio de las áreas entre dos secciones próximos y multiplicada por la distancia que los separa, obtenemos el volumen en ese tramo, a manera de ejemplo se presenta el Cuadro 3.4.

CUADRO 3.4: CALCULO DE VOLUMENES DIRECTOS

SECCION	DISTANCIA	AREA	PROMEDIO	VOLUMEN
0+000		0.306		
	58.50		0.153	8.95
0+058.50		0.000		

Se prosiguió de igual manera, para todas las secciones medidas, la suma de los volúmenes de tramo da la cantidad total de material sedimentado o erosionado en ese periodo de tiempo. Dichos volúmenes se presentan en el cuadro 3.5.

SECCION	A G O S T O		S E P T I E M B R E		
	1 - 3	21 - 31	2 - 4	7 - 9	11 - 14
0 + 000	8.95	11.12	- 3.63	14.04	15.80
0 + 058.50	47.96	- 14.36	- 1.88	16.04	25.88
0 + 109.25	19.01	28.11	11.76	- 8.96	6.68
0 + 134.00	111.13	248.08	55.28	-31.03	4.97
0 + 216.75	285.47	180.38	177.40	-35.30	-156.36
0 + 331.72	307.22	66.75	411.73	-46.53	-285.05
0 + 575.35	109.08	94.95	43.87	153.53	- 38.27
0 + 722.55	26.43	- 3.59	- 17.75	58.73	- 23.46
0 + 800.75	- 2.93	-20.93	- 24.76	- 12.62	12.21
0 + 882.15	- 3.93	- 2.70	4.26	- 9.24	- 0.60
0 + 912.15	11.98	379.34	87.73	25.17	5.93
1 + 033.15	920.37	967.16	744.11	123.83	-432.27
TOTAL					

3.4.3 Gráficos Granulométricos

Los datos de las pruebas granulométricas, se han tabulado en los cuadros números 3.6.1 al 3.6.17, los resultados se han comparado en forma gráfica con las curvas granulométricas según lo especifica la norma ASTM C-33, para agregados utilizados en el concreto.

Con respecto a la granulometría, el material se encuentra fuera de la especificación desde la malla N° 30 en general, lo que indica que es un material que se constituye por agregado grueso.

Se determinó el coeficiente de uniformidad (Cu), y coeficiente de curvatura (Cc), a partir de los porcentajes 10%, 30%, 50% y 60% que pasa en peso, se ha encontrado sus respectivos diámetros para cada una de las muestras, obteniendo que en su mayoría el material es bien graduado no uniforme; el Cu y Cc se resumen en el cuadro 3.7.

La granulometría que se presenta a partir del estacionamiento 1+033, sobre la calle-quebrada, es similar a la que aparece detallada en el cuadro 3.6.18, siendo el diámetro medio en esta zona el que corresponde a 1.1/2" (38.1 mm); esta granulometría se obtuvo midiendo un metro cuadrado sobre el terreno, recolectando las rocas contenidas, luego se midió manualmente el diámetro de cada roca, calculando el

promedio de 5 lecturas realizadas a cada muestra. Los diámetros oscilan entre 1" y 5 1/2".



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.1

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

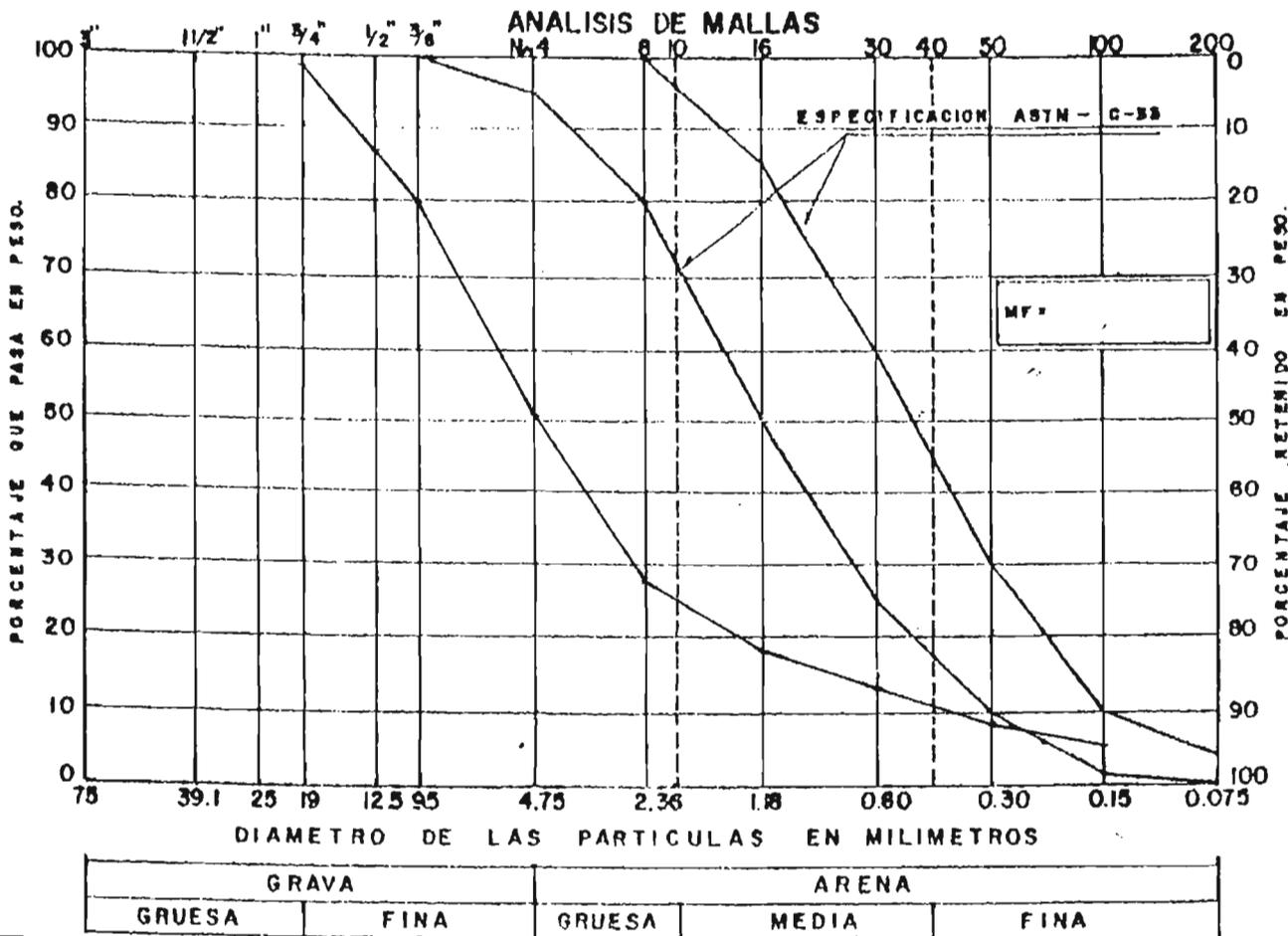
ESTACIONAMIENTO: BANCO DE ACOPIO N° 1

FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 2,172 Grs. TARA: 105.00 Grs.

PESO NETO: 2,067.00 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0	39.60	1.92	1.92	98.08
1/2"	12.5	247.30	11.96	13.88	86.12
3/8"	9.5	128.60	6.19	20.07	79.93
N°4	4.75	605.90	29.31	49.39	50.61
N°8	2.36	476.20	23.03	72.42	27.58
N°16	1.18	193.30	9.35	81.77	18.23
N°30	0.60	107.70	5.21	86.98	13.02
N°50	0.30	83.30	4.03	91.01	8.99
N°100	0.15	69.80	3.38	94.39	5.61
Peso N°100		115.90	5.61	100.00	
SUMA		2,067.00	100.00		





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.2

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

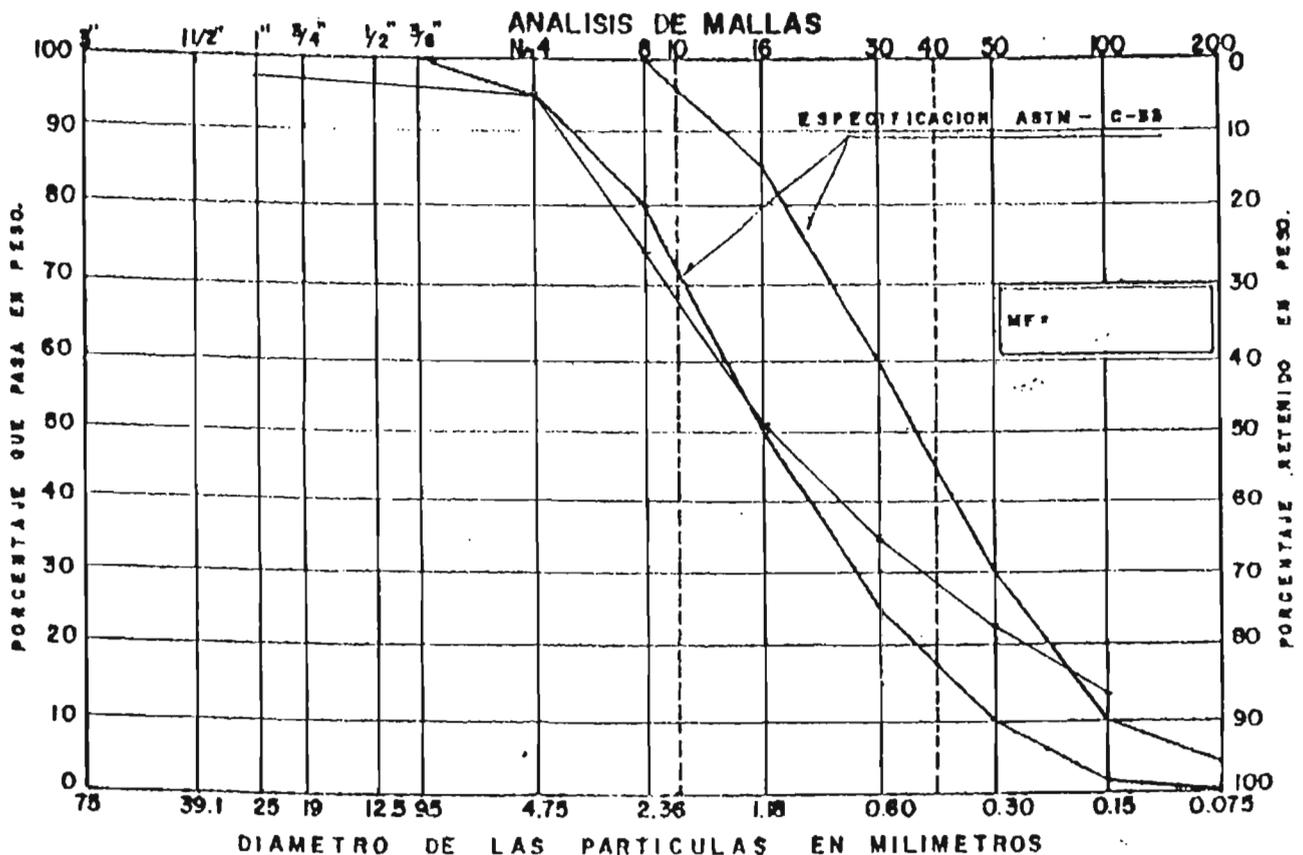
ESTACIONAMIENTO: BANCO DE ACOPIO N° 1

FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 1,844.60 Grs. TARA: 107.20 Grs.

PESO NETO: 1737.40 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0	46.13	2.66	2.66	97.34
3/4"	19.0				
1/2"	12.5				
3/8"	9.5				
N°4	4.75	38.87	2.24	4.90	95.10
N°8	2.36	365.20	21.02	25.92	74.08
N°16	1.18	409.00	23.54	49.46	50.54
N°30	0.60	272.20	15.67	65.13	34.87
N°50	0.30	221.30	12.74	77.87	22.13
N°100	0.15	153.40	8.83	86.67	13.30
Peso N°100		231.30	13.81	100.00	
SUMA		1,737.40			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.3

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: BANCO DE ACOPIO Nº 1

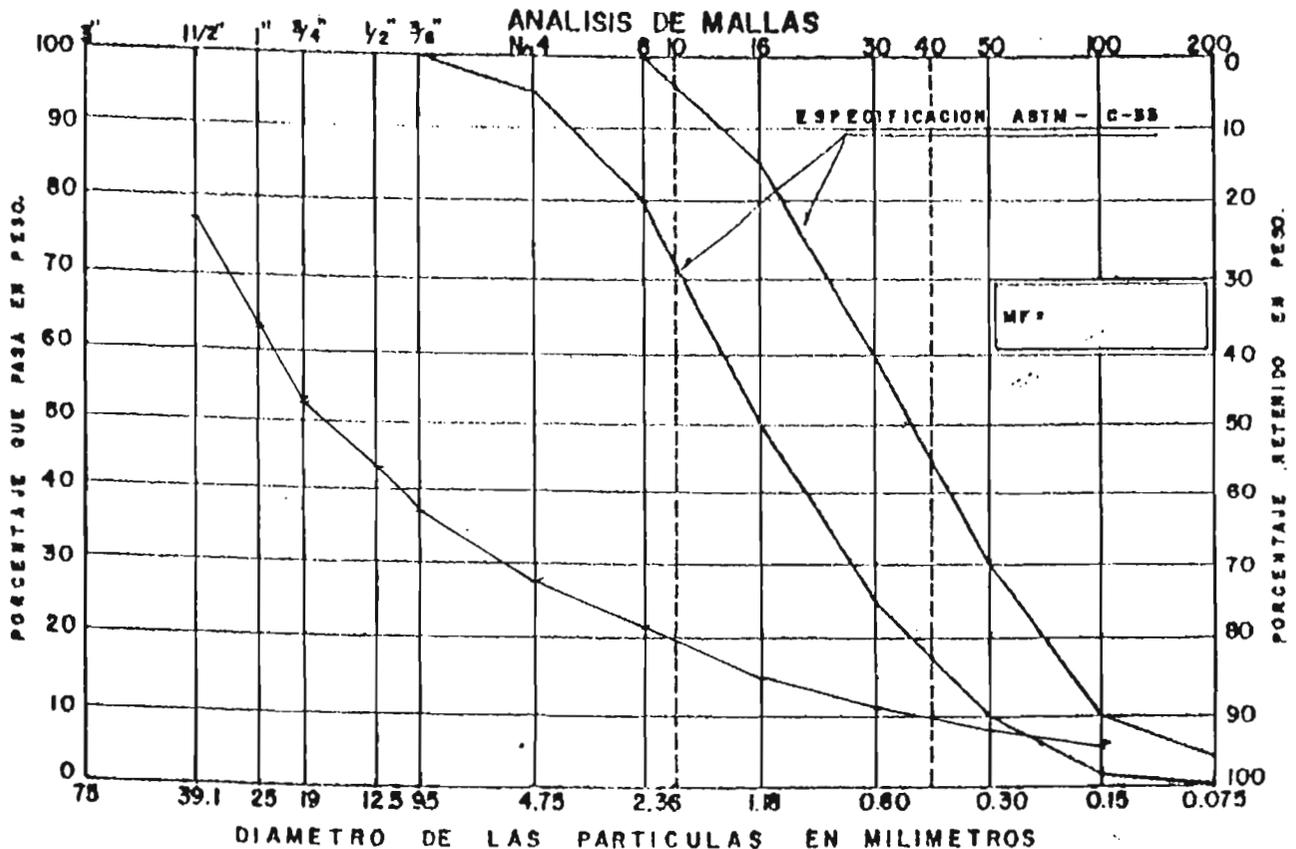
FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 2,074.00 Grs.

TARA: 161.10 Grs.

PESO NETO: 1912.90 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1	439.54	22.97	22.97	77.03
1"	25.0	260.16	13.60	36.57	63.43
3/4"	19.0	217.99	11.39	47.96	52.04
1/2"	12.5	159.00	8.31	56.27	43.73
3/8"	9.5	110.50	5.77	62.04	37.96
Nº4	4.75	198.00	10.35	72.38	27.62
Nº8	2.36	125.50	6.56	78.94	21.06
Nº16	1.18	104.00	5.43	84.37	15.63
Nº30	0.60	73.50	3.84	88.21	11.79
Nº50	0.30	65.00	3.39	91.60	8.40
Nº100	0.15	50.50	2.63	94.23	5.77
Peso Nº100		109.20	5.70	99.93	
SUMA		1,912.89	99.93		



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.4

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

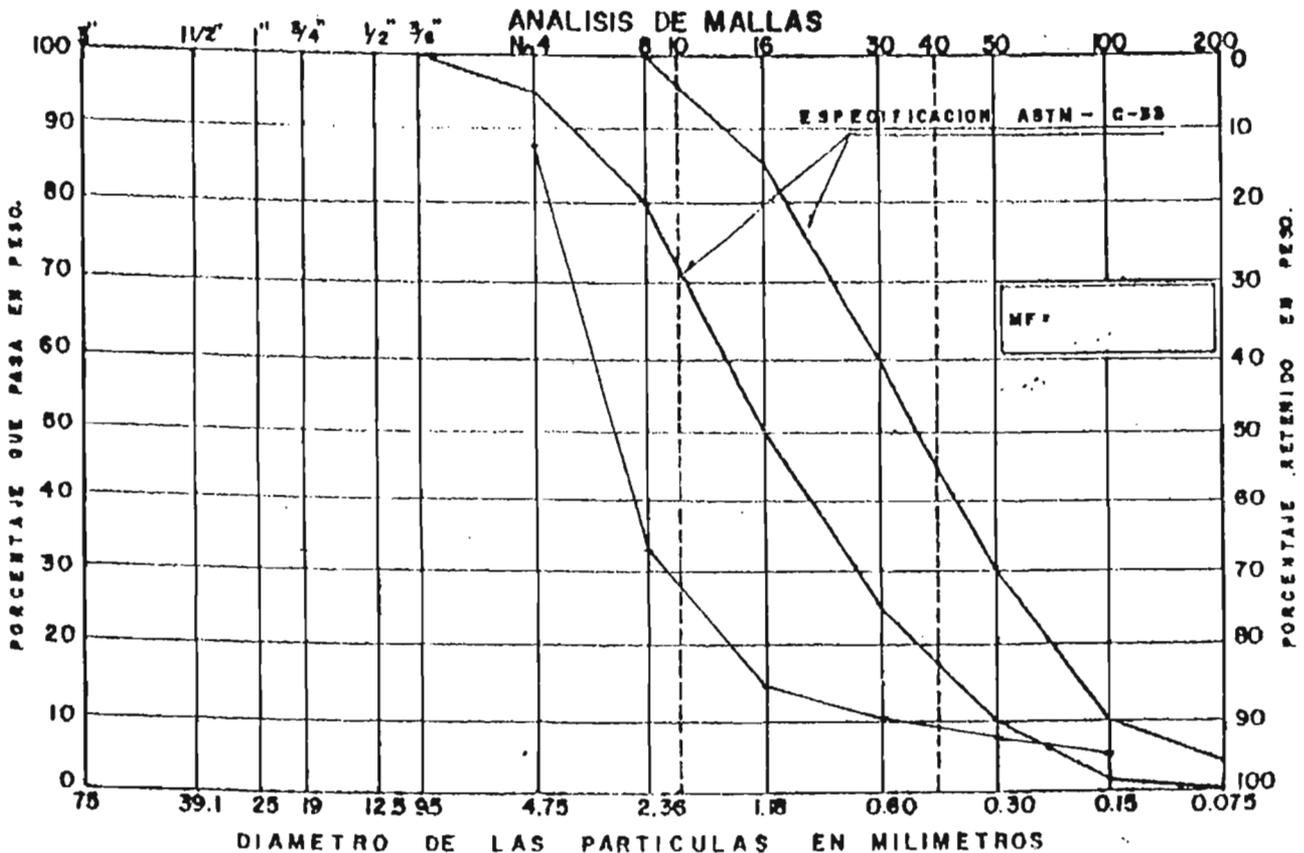
ESTACIONAMIENTO: BANCO DE ACOPIO N° 2

FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 1913.00 Grs. TARA: 99.00 Grs.

PESO NETO: 1814.00 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0				
1/2"	12.5				
3/8"	9.5				
N°4	4.75	217.20	11.97	11.98	88.02
N°8	2.36	1461.00	55.47	67.45	32.55
N°16	1.18	718.00	16.65	84.10	15.90
N°30	0.60	485.50	5.65	89.75	10.25
N°50	0.30	426.50	2.70	92.45	7.55
N°100	0.15	390.50	2.01	96.46	5.54
Peso N°100		470.50	5.54	100.00	
SUMA					



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.5

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: BANCO DE ACOPIO N° 3

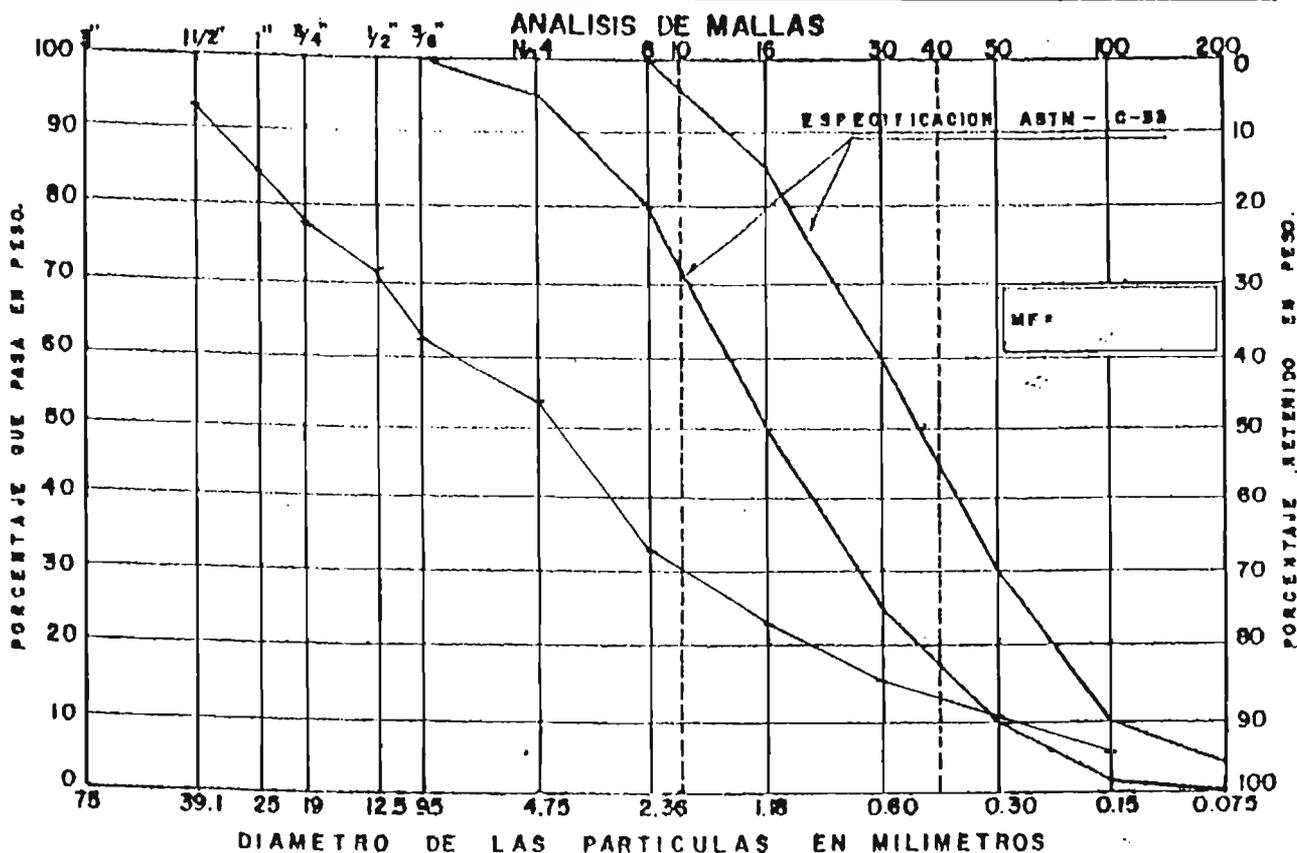
FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 2925 Grs.

TARA: 164.60 Grs.

PESO NETO: 2,760.40 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1	175.62	6.36	6.36	93.64
1"	25.0	246.11	8.92	15.27	84.73
3/4"	19.0	173.05	6.27	21.54	78.46
1/2"	12.5	187.37	6.79	28.33	71.67
3/8"	9.5	236.47	8.57	36.90	63.10
N°4	4.75	529.15	19.17	56.07	43.93
N°8	2.36	328.80	11.91	67.98	32.02
N°16	1.18	266.40	9.65	77.63	22.37
N°30	0.60	183.40	6.64	84.27	15.73
N°50	0.30	142.50	5.16	89.43	10.57
N°100	0.15	114.20	4.14	93.57	6.43
Peso N°100		177.30	6.42	99.99	
SUMA		2,760.40			





- 90 -

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.6

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

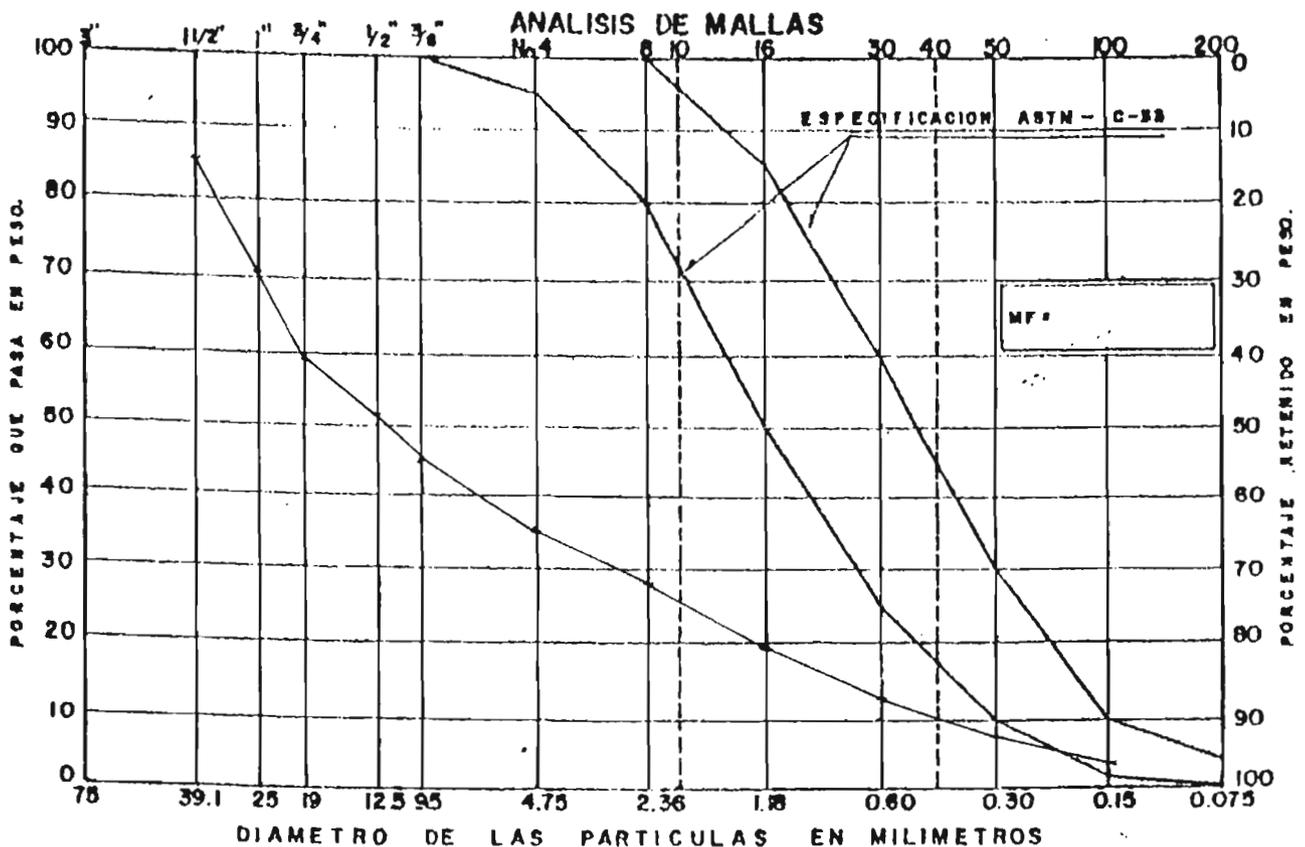
ESTACIONAMIENTO: Cauce atras Bco.Acopio #3

FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 3,510 Grs. TARA: 161.1 Grs.

PESO NETO: 3,348.90 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0	257.7	7.70	7.70	92.30
1 1/2"	38.1	243.6	7.27	14.97	85.03
1"	25.0	501.8	14.98	29.95	70.05
3/4"	19.0	368.5	11.00	40.95	59.05
1/2"	12.5	263.0	7.85	48.80	51.20
3/8"	9.5	177.3	5.29	54.09	45.91
Nº4	4.75	318.1	9.50	63.59	36.41
Nº8	2.36	280.7	8.38	71.97	28.03
Nº16	1.18	276.0	8.24	80.21	19.79
Nº30	0.60	222.8	6.65	86.86	13.14
Nº50	0.30	186.1	5.56	92.42	7.58
Nº100	0.15	123.0	3.67	96.09	3.91
Peso Nº100		130.4	3.89	99.98	
SUMA		3,348.9			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.7

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

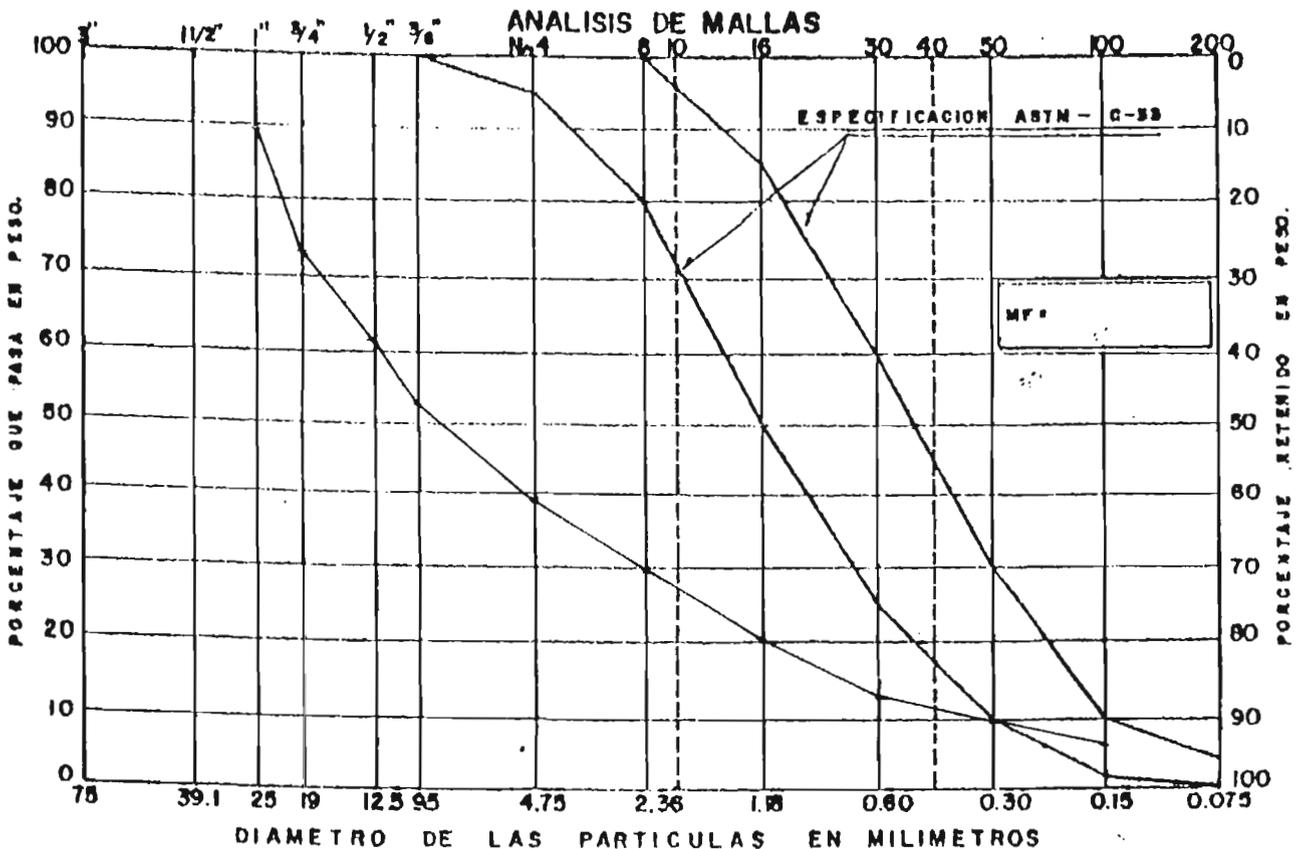
ESTACIONAMIENTO: Cauce atras Bco.Acopio #3

FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 2,009.00 Grs. TARA: 104.80 Grs.

PESO NETO: 1,904.20 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0	201.02	10.55	10.55	89.45
3/4"	19.0	296.43	15.56	26.11	73.89
1/2"	12.5	246.58	12.94	39.05	60.95
3/8"	9.5	138.33	7.26	46.31	53.69
Nº4	4.75	263.81	13.85	60.15	39.85
Nº8	2.36	198.20	10.40	70.55	29.45
Nº16	1.18	176.10	9.24	79.79	20.21
Nº30	0.60	120.30	6.31	86.10	13.90
Nº50	0.30	78.40	4.11	90.21	9.79
Nº100	0.15	58.80	3.08	93.29	6.71
Peso Nº100		126.20	6.62	99.91	
SUMA		1,904.20			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



- 92 -

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.8

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: 0 + 109.25

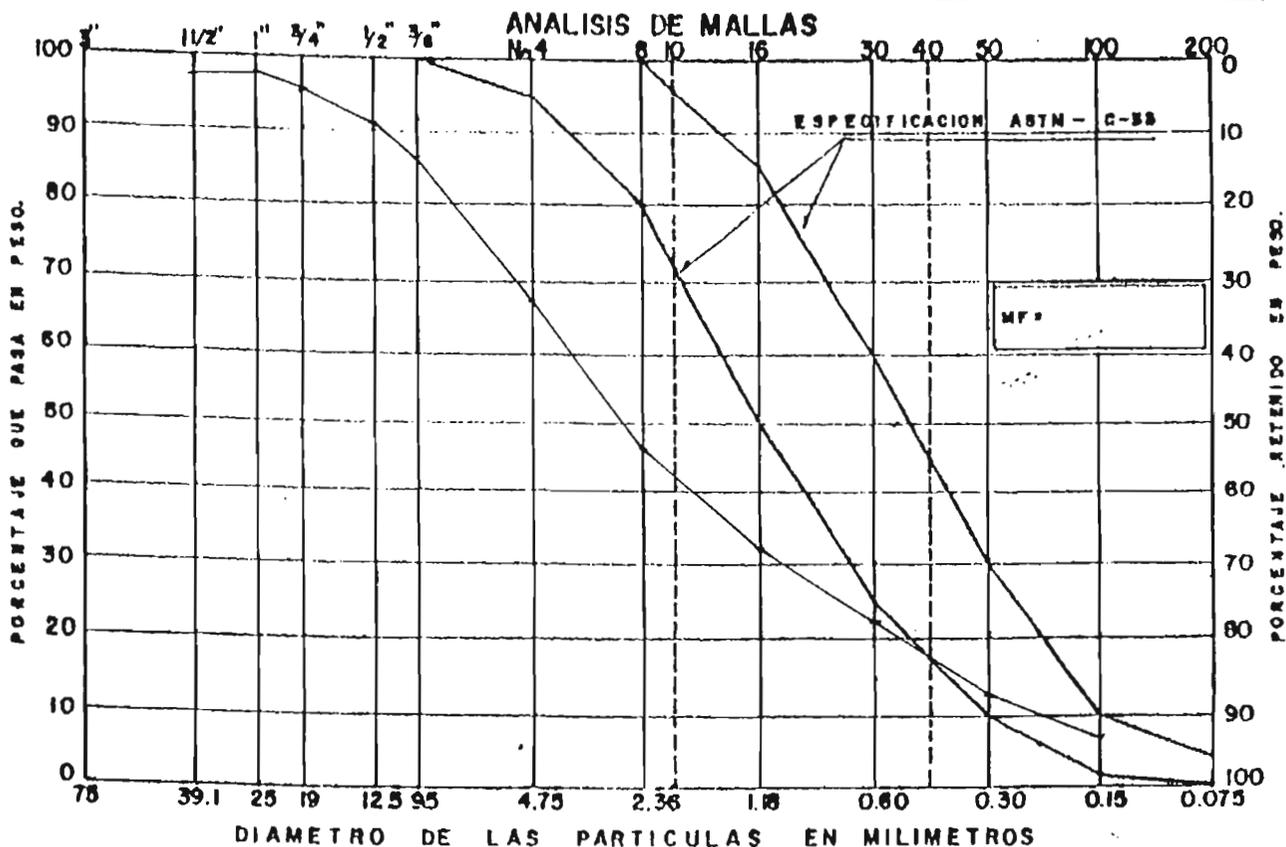
FECHA: 9 de Sept./85

PESO BRUTO: 3,266 Grs.

TARA: 161.10 Grs.

PESO NETO: 3,104.9 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0	74.33	2.39	2.39	97.61
3/4"	19.0	40.46	1.30	3.69	96.31
1/2"	12.5	148.02	4.77	8.46	91.54
3/8"	9.5	157.68	5.08	13.54	86.46
Nº4	4.75	600.70	19.35	32.89	67.11
Nº8	2.36	644.30	30.75	53.64	46.36
Nº16	1.18	452.30	14.57	68.21	31.79
Nº30	0.60	333.40	10.74	78.95	21.05
Nº50	0.30	239.90	7.73	86.68	13.32
Nº100	0.15	150.20	4.83	91.51	8.49
Peso Nº100		263.60	8.49	100.00	
SUMA		3,062.40			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.9

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: 0 + 196.75

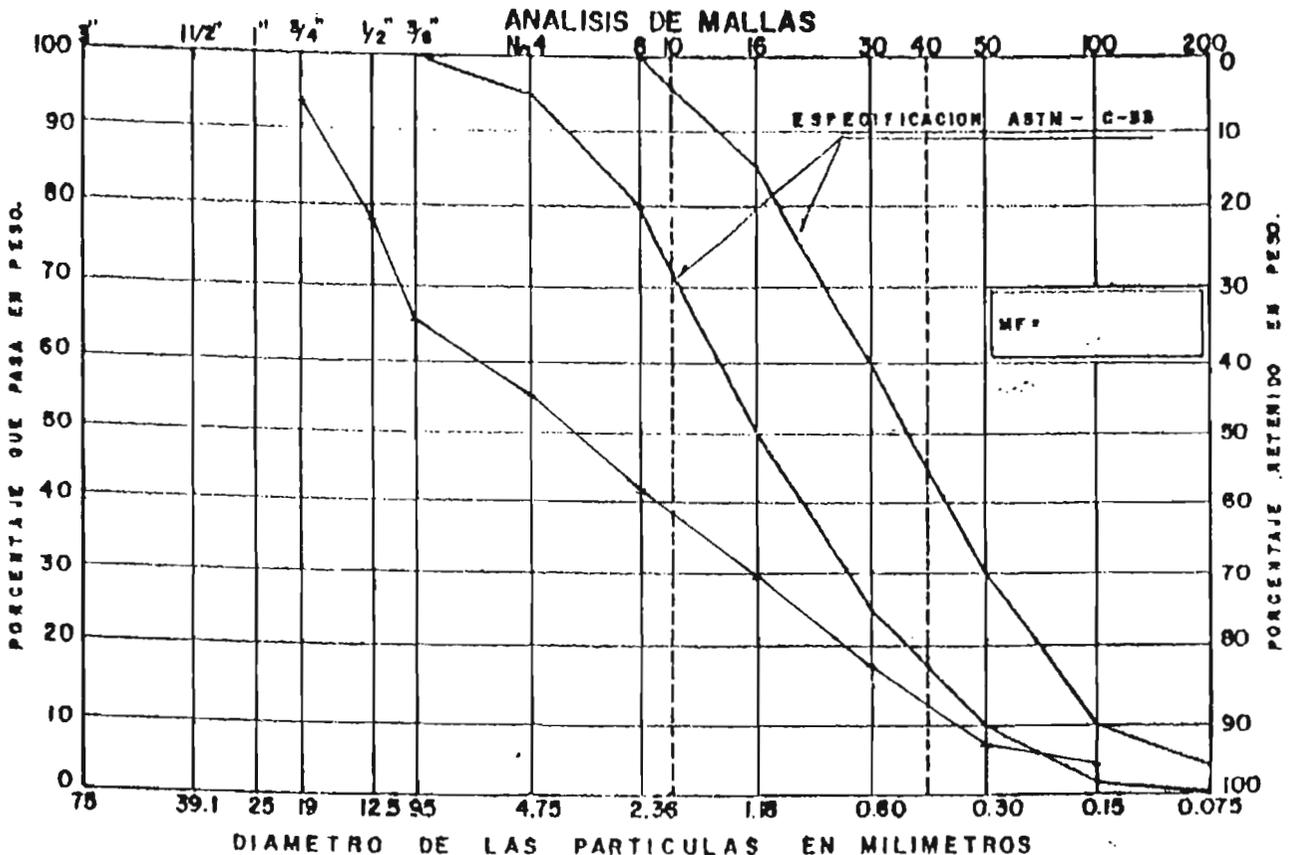
FECHA: 21 Agosto/85

PESO BRUTO: 1,773.0 Grs.

TARA: 101.0 Grs.

PESO NETO: 1.672.00 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0	107.32	6.42	6.42	93.58
1/2"	12.5	257.57	15.40	21.82	78.18
3/8"	9.5	190.11	11.37	33.19	66.81
Nº4	4.75	208.00	12.44	45.63	54.37
Nº8	2.36	213.00	12.74	58.37	41.63
Nº16	1.18	209.00	12.50	70.87	29.13
Nº30	0.60	188.00	11.24	82.11	17.89
Nº50	0.30	183.00	10.94	93.05	6.95
Nº100	0.15	66.00	3.95	97.00	3.00
Peso Nº100		50.00	2.99	99.99	
SUMA		1,672.00			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.10

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: 0 + 341,75

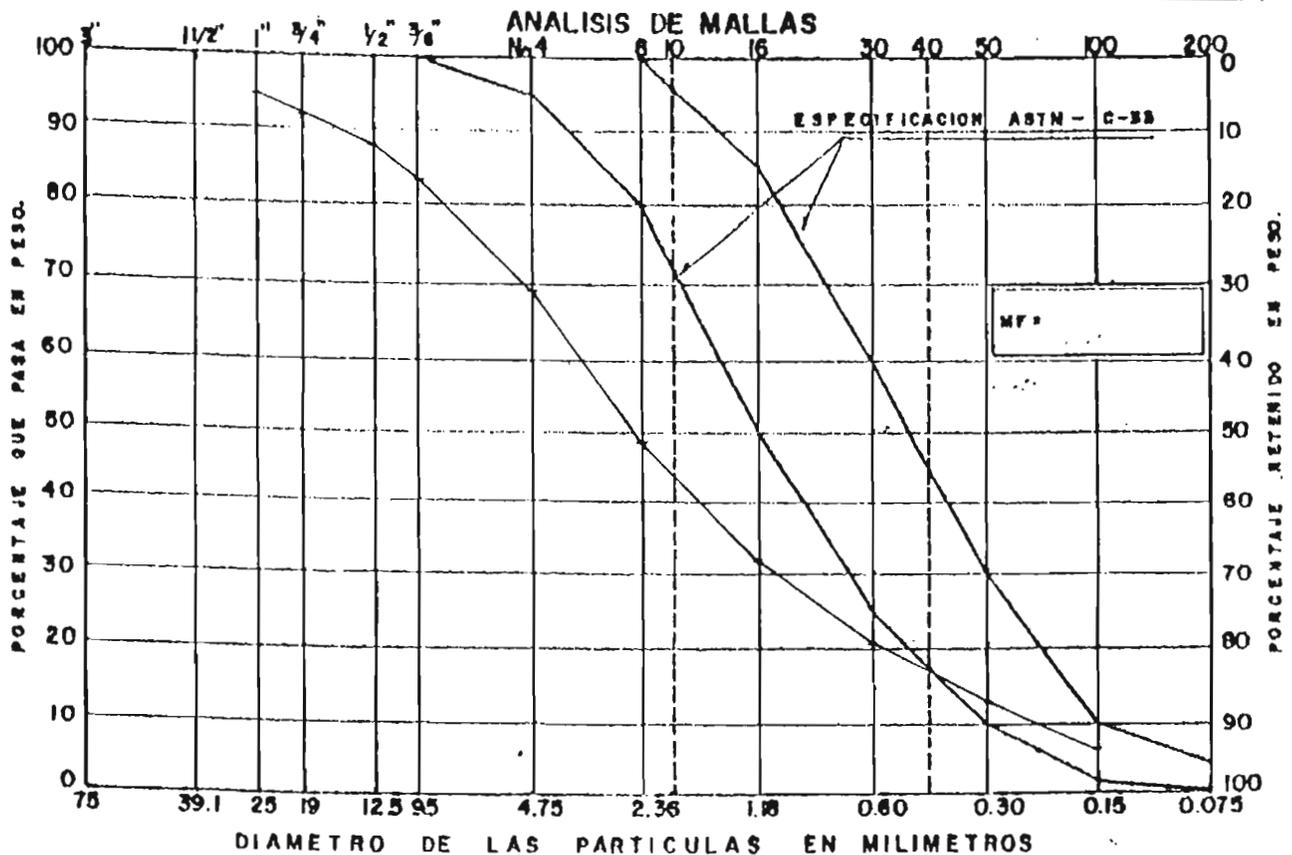
FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 1.840 Grs.

TARA: 99.00 Grs.

PESO NETO: 1,741.00 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0	89.30	5.13	5.13	94.87
3/4"	19.0	38.60	2.22	7.35	92.65
1/2"	12.5	95.30	5.47	12.82	87.18
3/8"	9.5	63.70	3.66	16.48	83.52
Nº4	4.75	241.80	13.88	30.36	69.64
Nº8	2.36	366.90	21.07	51.43	48.57
Nº16	1.18	301.70	17.33	68.76	31.24
Nº30	0.60	189.10	10.86	79.62	20.38
Nº50	0.30	144.70	8.31	87.93	12.07
Nº100	0.15	104.80	6.02	93.95	6.05
Peso Nº100		105.10	6.04	99.99	
SUMA		1,741.00			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.11

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

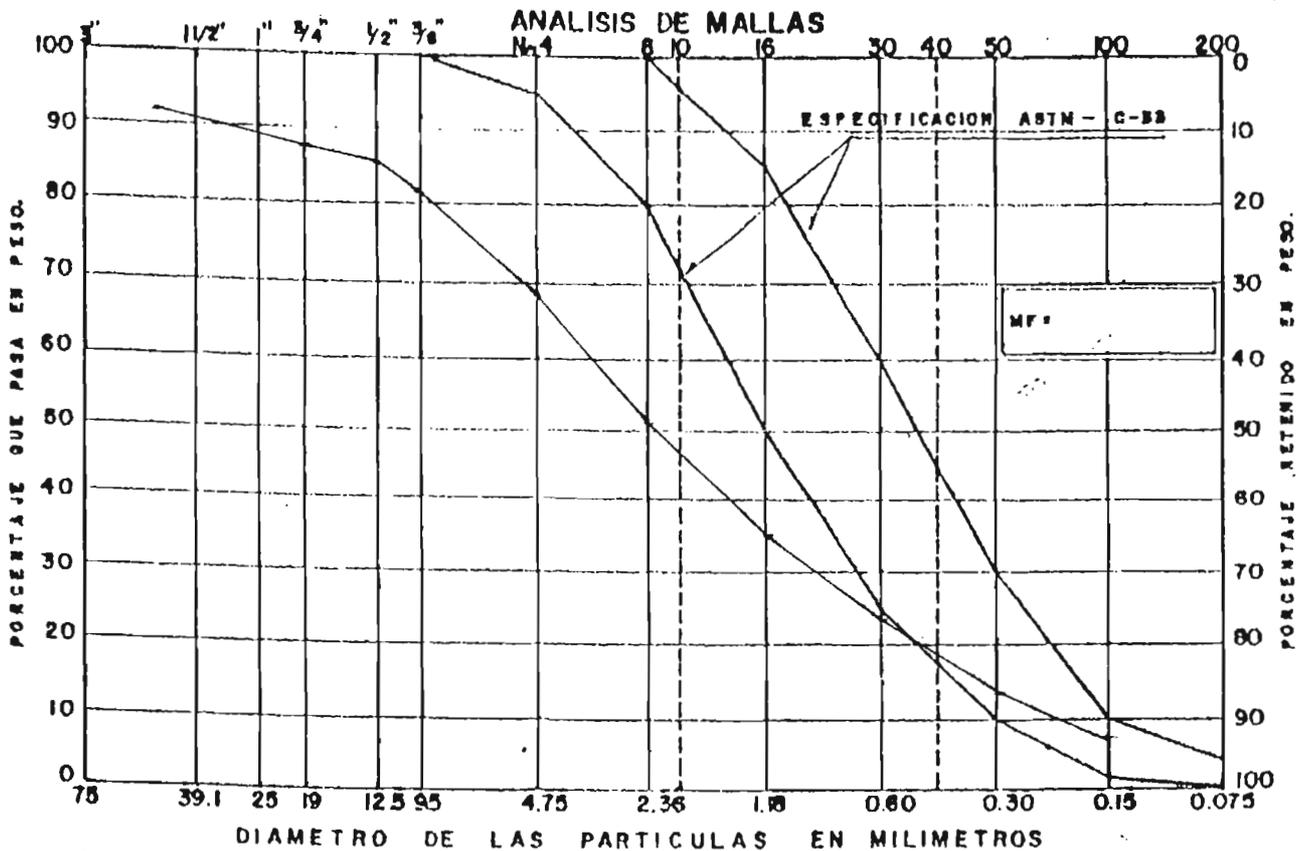
ESTACIONAMIENTO: 0 + 575.35

FECHA: 21 de Agosto de 1985

PESO BRUTO: 2,093.00 Grs. TARA: 99.00 Grs.

PESO NETO: 1,994.00 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0	177.10	8.88	8.88	91.12
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0	50.10	2.51	11.39	88.61
1/2"	12.5	68.50	3.44	14.83	85.17
3/8"	9.5	67.40	3.38	18.21	81.79
Nº4	4.75	273.30	13.71	31.92	68.08
Nº8	2.36	327.10	16.40	48.32	51.68
Nº16	1.18	327.00	16.40	64.72	35.28
Nº30	0.60	242.00	12.14	76.86	23.14
Nº50	0.30	188.10	9.43	86.29	13.71
Nº100	0.15	132.00	6.62	92.91	7.09
Peso Nº100		142.40	7.09	100.00	
SUMA		1,994.00			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.12

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: 0 + 722.55

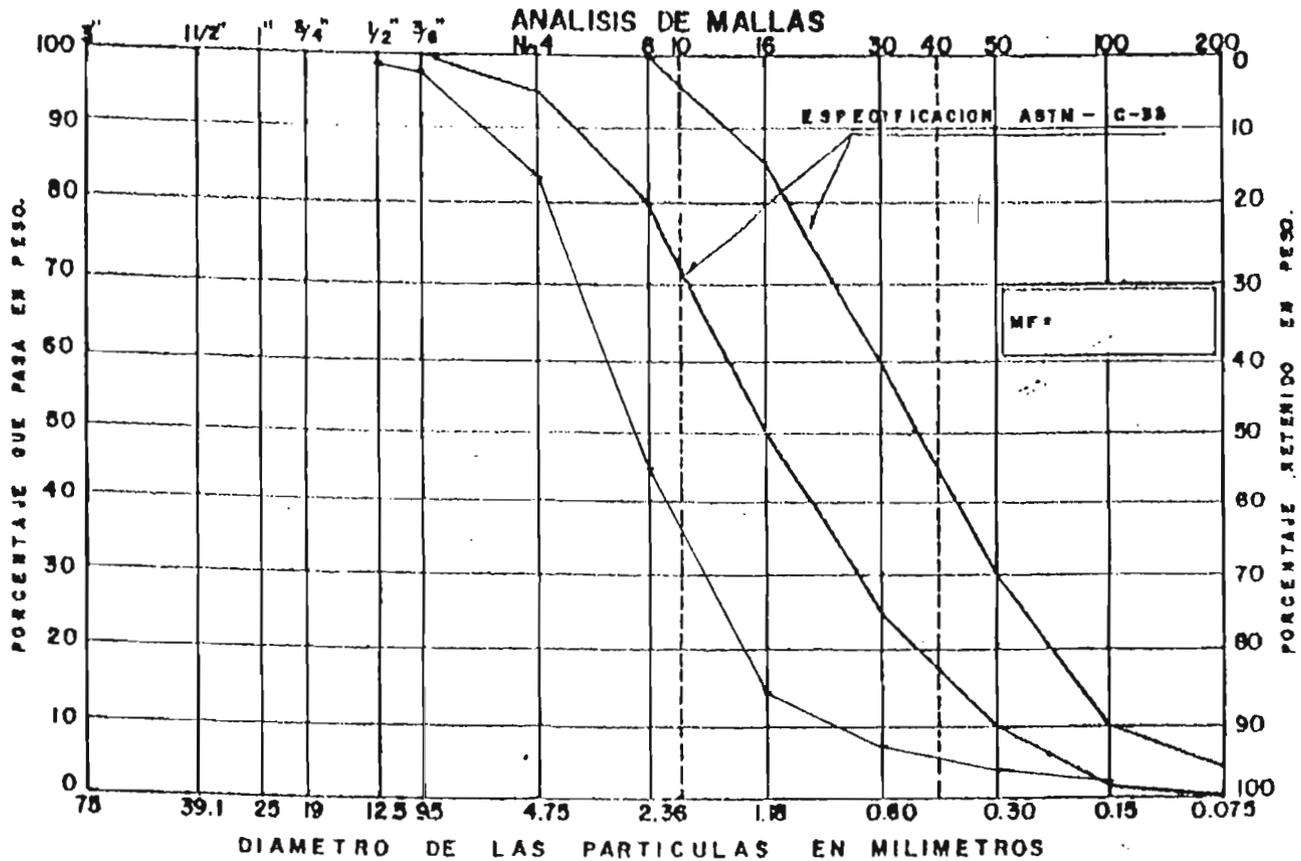
FECHA: 9 Sept./85

PESO BRUTO: 3,281 Grs.

TARA: 164,6 Grs.

PESO NETO: 3,116.40 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0				
3/4"	19.0				
1/2"	12.5	29.18	0.94	0.94	99.06
3/8"	9.5	16.24	0.52	1.46	98.54
Nº4	4.75	291.68	9.36	10.82	82.18
Nº8	2.36	1,368.30	43.90	54.72	45.28
Nº16	1.18	955.30	30.65	85.37	14.63
Nº30	0.60	218.00	7.00	92.37	7.63
Nº50	0.30	103.40	3.32	95.69	4.31
Nº100	0.15	56.40	1.81	97.50	2.50
Peso Nº100		77.80	2.50	100.00	
SUMA		3,116.40			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.13

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: 0 + 800,75

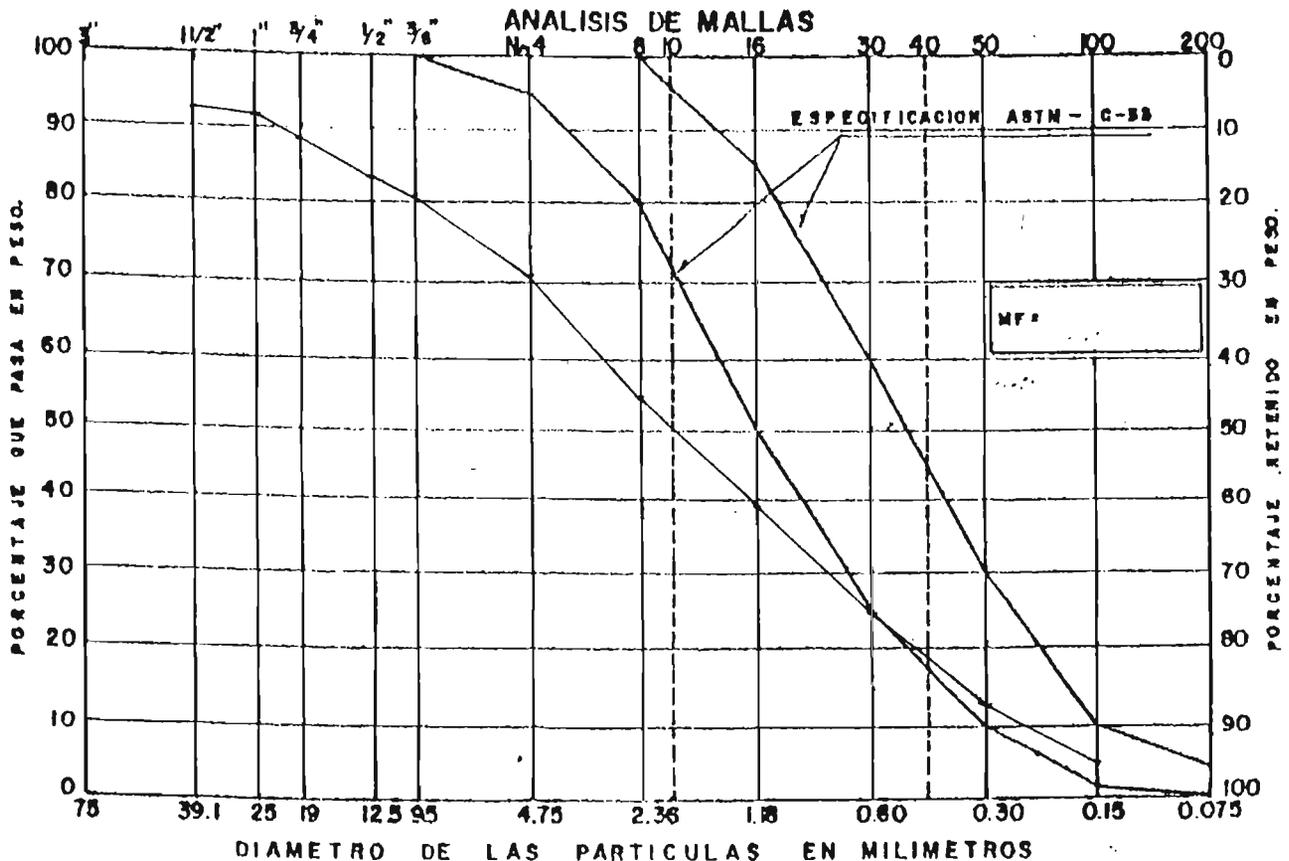
FECHA: 21 Agosto de 1985

PESO BRUTO: 1,926.4 Grs.

TARA: 99.00

PESO NETO: 1,827.40

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1	130.65	7.15	7.15	92.85
1"	25.0	17.41	0.95	8.10	91.90
3/4"	19.0	64.30	3.52	11.62	88.38
1/2"	12.5	91.80	5.02	16.64	83.36
3/8"	9.5	54.10	2.96	19.60	80.40
Nº4	4.75	187.90	10.28	29.89	70.11
Nº8	2.36	265.20	14.51	44.40	55.60
Nº16	1.18	296.40	16.22	60.62	39.38
Nº30	0.60	255.30	13.97	74.59	25.41
Nº50	0.30	236.90	12.96	87.55	12.45
Nº100	0.15	136.20	7.45	95.00	5.00
Peso Nº100		89.70	4.91	99.91	
SUMA		1,827.40			





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.14

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: 0 + 822.15

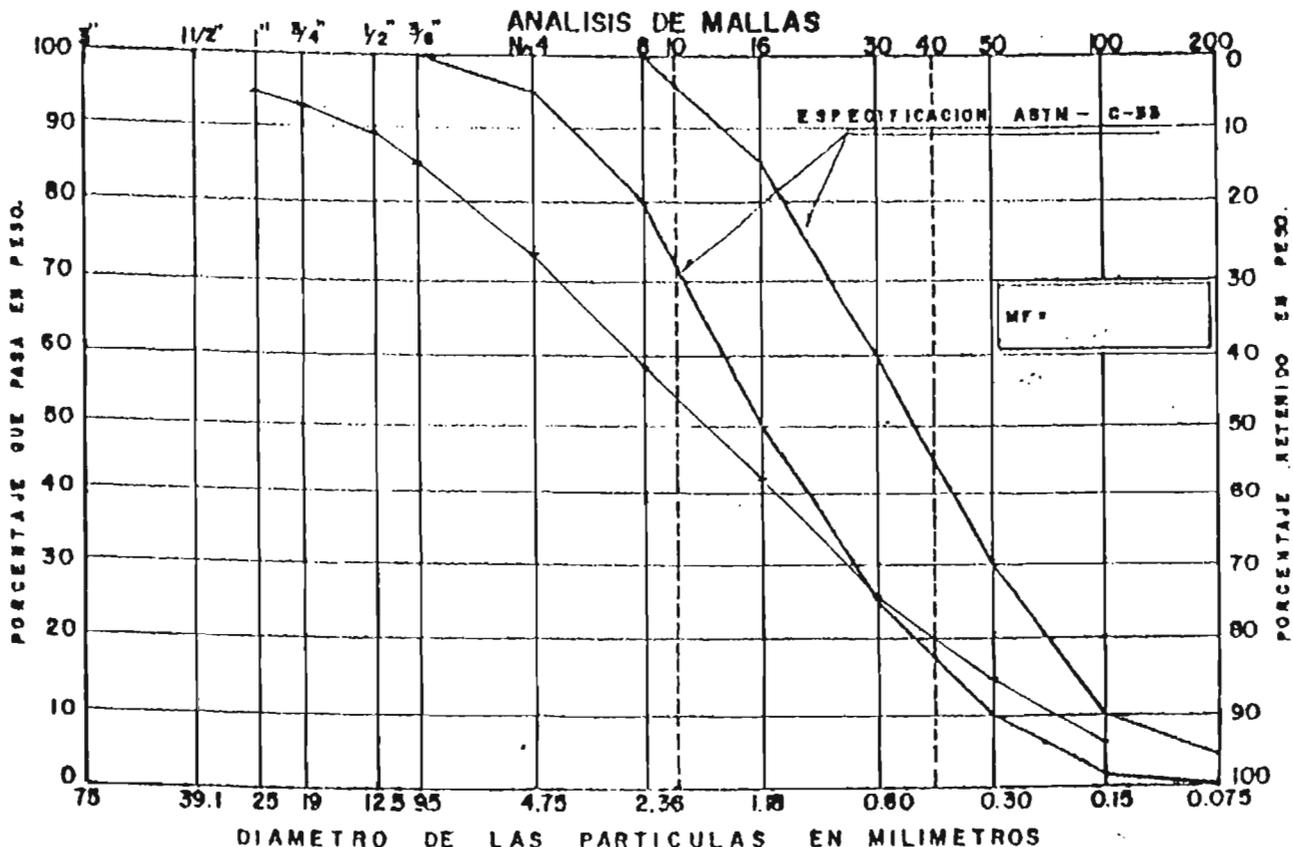
FECHA: 21 Agosto de 1985

PESO BRUTO: 1,877.0 Grs.

TARA: 105.00 Grs.

PESO NETO: 1,772.00 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0	75.80	4.96	4.96	95.04
3/4"	19.0	25.20	1.64	6.60	93.04
1/2"	12.5	55.50	3.63	10.23	89.77
3/8"	9.5	66.20	4.33	14.56	85.44
Nº4	4.75	219.60	12.39	26.95	73.05
Nº8	2.36	260.60	14.71	41.66	58.34
Nº16	1.18	305.10	17.22	58.88	41.12
Nº30	0.60	257.50	14.53	73.41	26.59
Nº50	0.30	220.40	12.44	85.85	14.15
Nº100	0.15	134.90	7.61	93.46	6.54
Peso Nº100		115.90	6.54	100.00	
SUMA		1,294.40			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.15

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

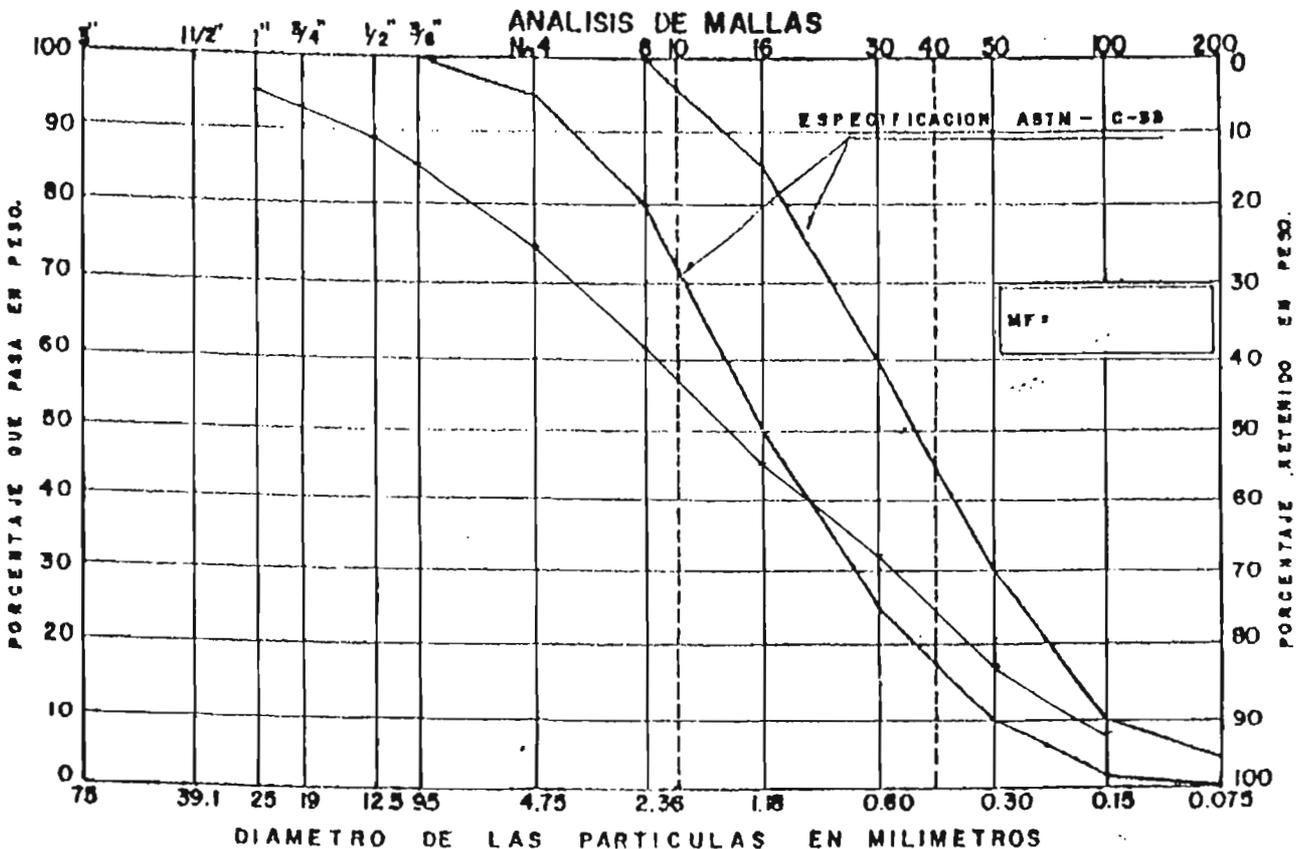
ESTACIONAMIENTO: 0 + 853.35

FECHA: 21 Agosto de 1985

PESO BRUTO: 1,867.0 Grs. TARA: 161.10 Grs.

PESO NETO: 1,705.90 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0	54.85	3.22	3.22	96.78
3/4"	19.0	62.45	3.66	6.88	93.12
1/2"	12.5	69.50	4.07	10.95	89.05
3/8"	9.5	62.40	3.66	14.61	85.39
Nº4	4.75	176.90	10.37	24.98	75.02
Nº8	2.36	224.30	13.15	38.13	61.87
Nº16	1.18	264.60	15.51	53.63	46.36
Nº30	0.60	252.90	14.83	68.47	31.53
Nº50	0.30	237.70	13.93	82.40	17.60
Nº100	0.15	155.00	9.09	91.50	8.50
Peso Nº100		145.30	8.52	100.00	
SUMA		1,705.90			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.16

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

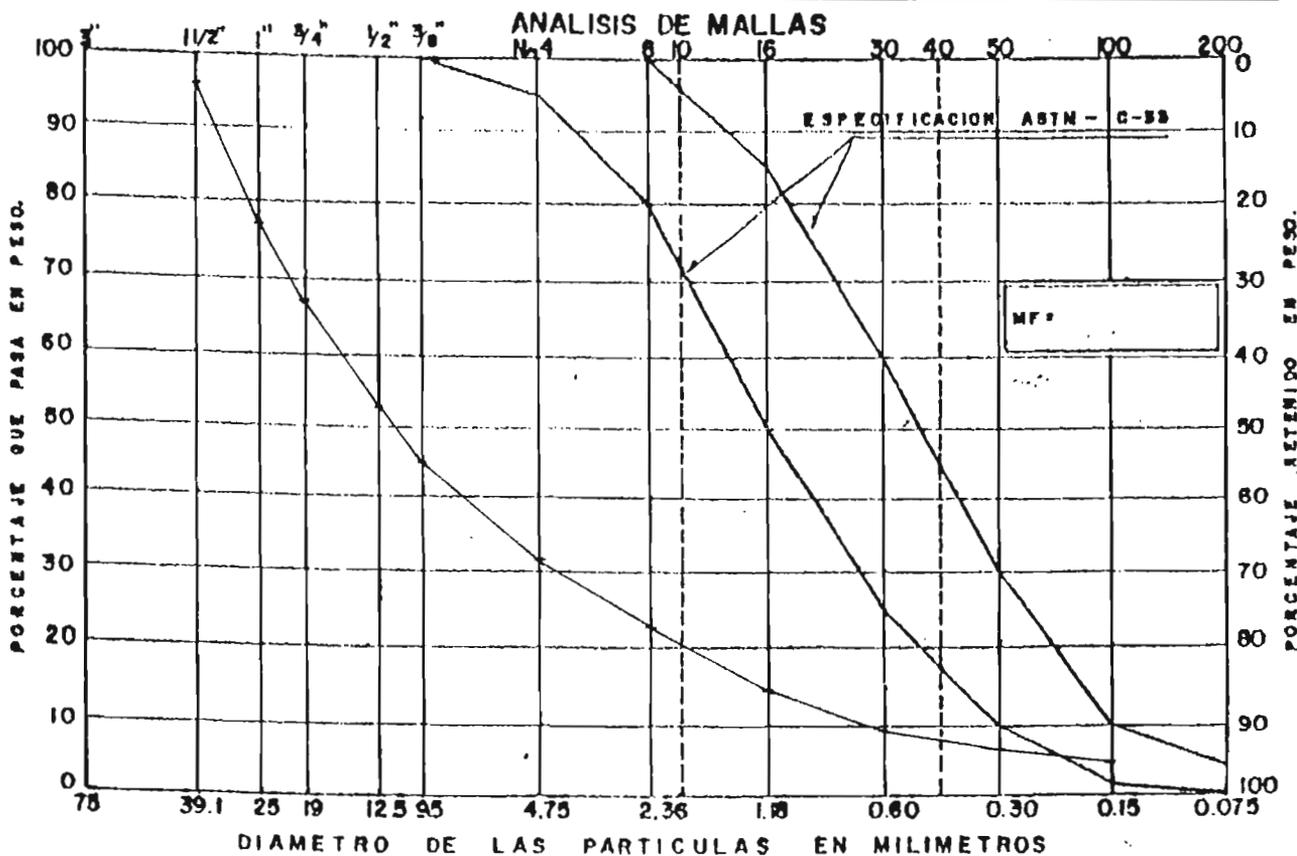
ESTACIONAMIENTO: 0 + 882.15

FECHA: 21 Agosto de 1985

PESO BRUTO: 2,470.50 Grs. TARA: 161.10 Grs.

PESO NETO: 2,309.40 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1	86.09	3.73	3.73	96.27
1"	25.0	426.19	18.45	22.18	77.82
3/4"	19.0	239.80	10.38	32.56	67.44
1/2"	12.5	345.44	14.52	47.52	52.48
3/8"	9.5	228.80	6.80	54.32	45.68
Nº4	4.75	353.35	15.30	69.62	30.38
Nº8	2.36	178.60	7.73	77.35	22.65
Nº16	1.18	195.10	8.45	85.80	14.20
Nº30	0.60	105.60	4.57	90.37	9.63
Nº50	0.30	72.80	3.15	93.52	6.48
Nº100	0.15	52.00	2.25	95.77	4.23
Peso Nº100		97.30	4.21	100.00	
SUMA		2,309.40			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA



- 101 -

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ANALISIS GRANULOMETRICO CUADRO: 3.6.17

PROYECTO: CALLE-QUEBRADA EL GUAJE, COL. STA. LUCIA.

ESTACIONAMIENTO: 1 + 033.15

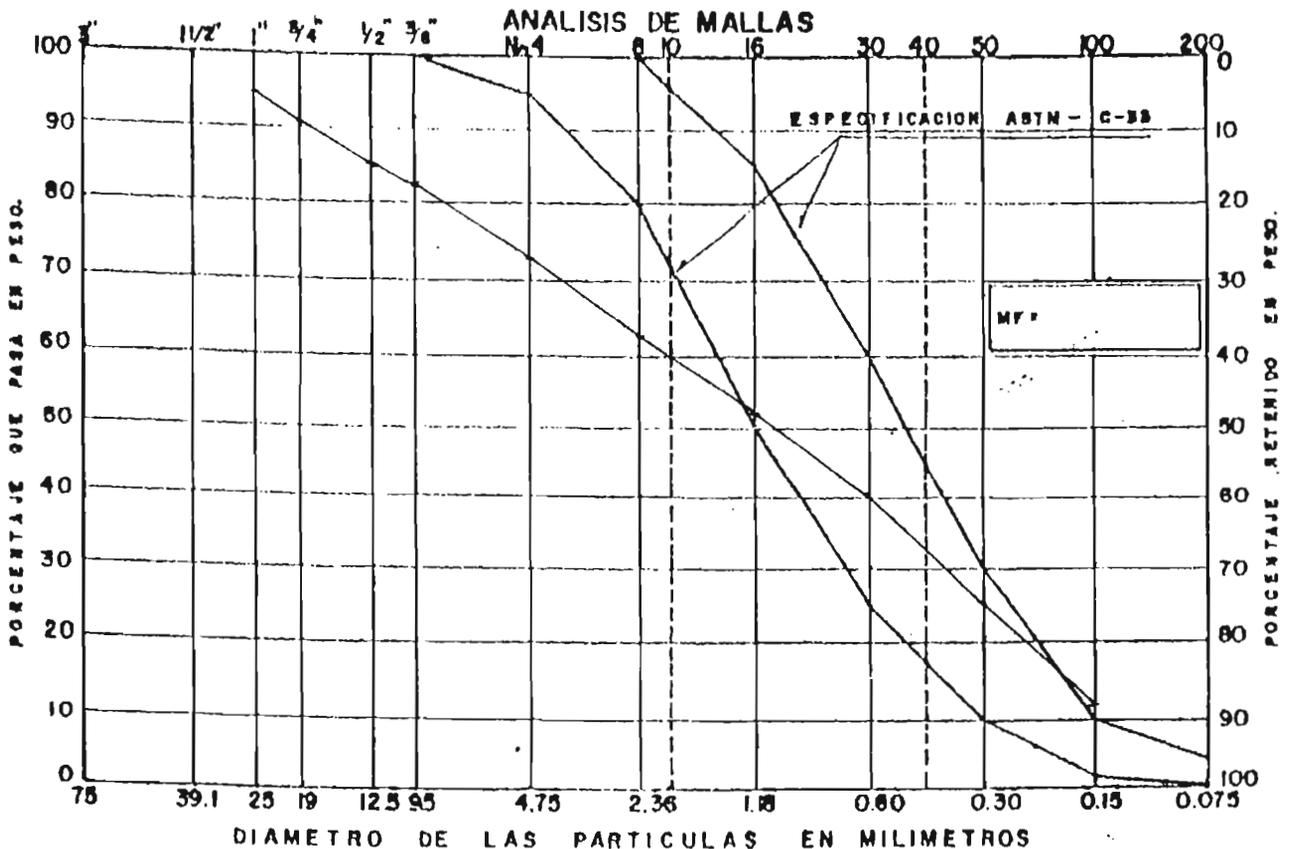
FECHA: 21 Agosto de 1985

PESO BRUTO: 1,829.80 Grs.

TARA: 101.0 Grs.

PESO NETO: 1,728.80 Grs.

MALLAS U.S. ESTANDAR	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS (m.m.)	PESO RETENIDO PARCIAL. (Grs.)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULATIVO	% QUE PASA LA MALLA
2 1/2"	63.0				
2"	50.0				
1 1/2"	38.1				
1"	25.0	88.66	5.12	5.12	94.88
3/4"	19.0	68.30	3.95	9.07	90.93
1/2"	12.5	74.70	4.32	13.39	86.61
3/8"	9.5	52.20	3.02	16.41	83.59
Nº4	4.75	186.20	10.77	27.18	72.82
Nº8	2.36	184.50	10.67	37.85	62.15
Nº16	1.18	191.70	11.09	48.94	51.06
Nº30	0.60	190.90	11.04	59.98	40.02
Nº50	0.30	243.90	14.11	74.09	25.91
Nº100	0.15	244.70	14.15	88.24	11.76
Peso Nº100		203.10	11.75		
SUMA		1,728.80			



GRAVA		ARENA		
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA

CUADRO 3.6.18

GRANULOMETRIA DE LA PARTE SUPERIOR DEL CAUCE

DIAMETRO		FRECUENCIA	% PORCENTAJE RETENIDO
Pulgadas	mm.		
1	25.4	19	24.36
1 1/2	38.1	18	23.07
2	50.8	13	16.66
2 1/2	63.50	9	11.53
3	76.20	9	11.53
3 1/2	88.90	4	5.12
4	101.60	2	2.56
4 1/2	114.30	3	3.84
5	127.00	0	-
5 1/2	139.70	1	1.28
6	152.40	0	-

78

Ø50 = 1 1/2"

CALCULO DE COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Y DEL COEFICIENTE DE CURVATURA

ESTACIONAMIENTO	Ø10	Ø30	Ø50	Ø60	Cu = $\frac{D60}{D10}$		OBSERVACIONES
					Cu	Cc	
0 + 109.25	0.21	1.06	2.68	3.95	1.23	1.35	Bien graduada
0 + 196.75	0.38	1.26	3.95	6.97	18.34	0.60	Mal graduada
0 + 331.72	0.24	1.10	2.52	3.63	15.13	1.39	Bien graduada no uniforme
0 + 575.35	0.21	0.91	2.28	3.48	16.57	1.13	Bien graduada no uniforme
0 + 722.55	0.79	1.81	2.68	3.24	4.10	1.28	Bien graduada no uniforme
0 + 800.75	0.25	0.79	2.05	3.16	12.64	0.79	"
0 + 822.15	0.21	0.72	1.77	2.52	12.00	0.98	"
0 + 882.15	0.68	4.43	11.40	15.83	23.28	1.82	"
0 + 853.35	0.19	0.58	1.50	2.24	11.79	0.79	Mal graduada
1 + 033	0.14	0.40	1.10	2.20	15.71	0.52	"
Bco.Acopio #1	-	0.49	1.10	1.57	-	-	"
Bco.Acopio #1	0.36	2.63	4.59	6.18	17.17	3.11	"
Bco.Acopio #1	0.47	6.65	17.73	17.86	38.00	5.27	"
Bco.Acopio #2	0.55	2.20	3.08	3.48	6.33	2.53	Bien graduada no uniforme
Bco.Acopio #3	0.26	2.05	6.33	8.87	34.12	1.82	"
Cauce al Pte. de Bco.Acopio #3	0.45	3.15	12.03	19.00	42.22	1.16	"
Cauce al Pte. de Bco.Acopio #3	0.35	2.36	8.23	12.03	34.37	1.32	"

3.4.4 Cálculos del Peso Específico

Arena:

Siguiendo la metodología descrita en el trabajo de laboratorio, para la determinación del peso específico, se obtienen los datos para la calibración del Matraz y del Matraz más agregado y agua. En el Cuadro 3.8, se presentan los datos para ambos casos, utilizando como agregado arena.

CUADRO 3.8

a) <u>Calibración del Matraz.</u>		b) <u>Matraz más agregado y agua.</u>	
<u>Temperatura</u> °C	<u>Matraz + agua</u> (gr)	<u>Temperatura</u> °C	<u>Matraz + agua + Arena</u> (gr)
14.5	685.9	13	844.3
17	685.1	15	844.0
18	684.2	20	843.4
19	684.4	25	843.1
20	683.4	28	842.6
23	683.9	30	842.6
26	683.4	34	841.4
28	686.4	38.9	840.4
33.5	685.5	43.0	840.0
35	685.1		
39.5	684.5		
51	682.4		
61	679.9		
84	672.8		

Los datos anteriores han sido ploteados en la gráfica 3.18, dando la curva de calibración del Matraz y para el Matraz más agregado y agua, de los cuales se obtiene el peso específico de la arena, aplicando la fórmula 3.3.3, para diferentes grados de temperatura:

CUADRO 3.9

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO PARA LA ARENA

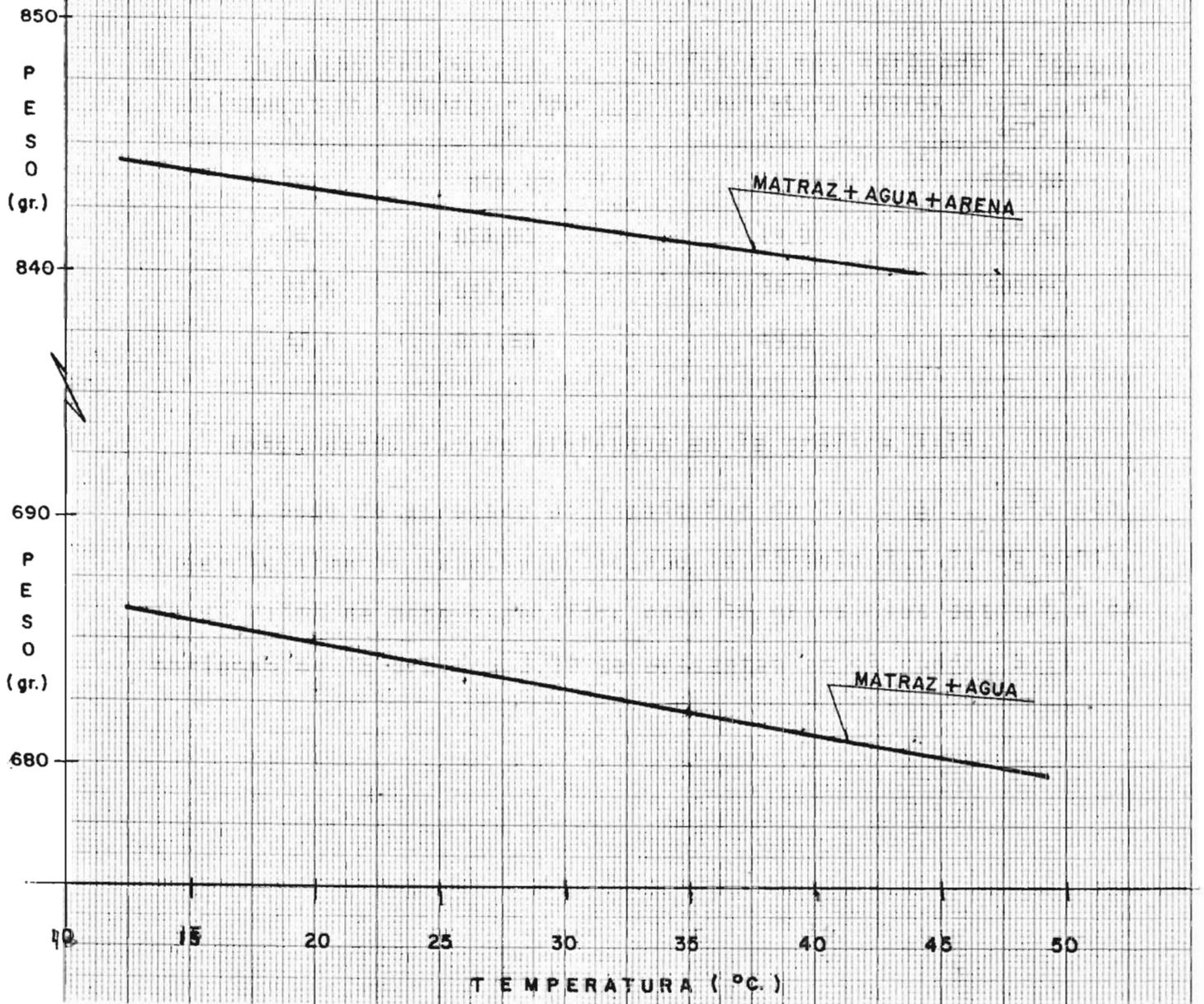
°C	Ws	Wma	Wmas	α	Gs
15	253.4	685.7	844.0	1.0026	2.67
20	253.4	683.9	843.4	1.000	2.70
35	253.4	682.1	841.58	0.99737	2.69
40	253.4	681.2	840.55	0.99605	2.68
TOTAL:					10.74

Obteniendo para la arena, la siguiente gravedad específica:

$$Pe = \frac{10.74}{4} = 2.69 \text{ Ton/m}^3$$

GRAFICA 3.18

PESO ESPECIFICO ARENA



Grava:

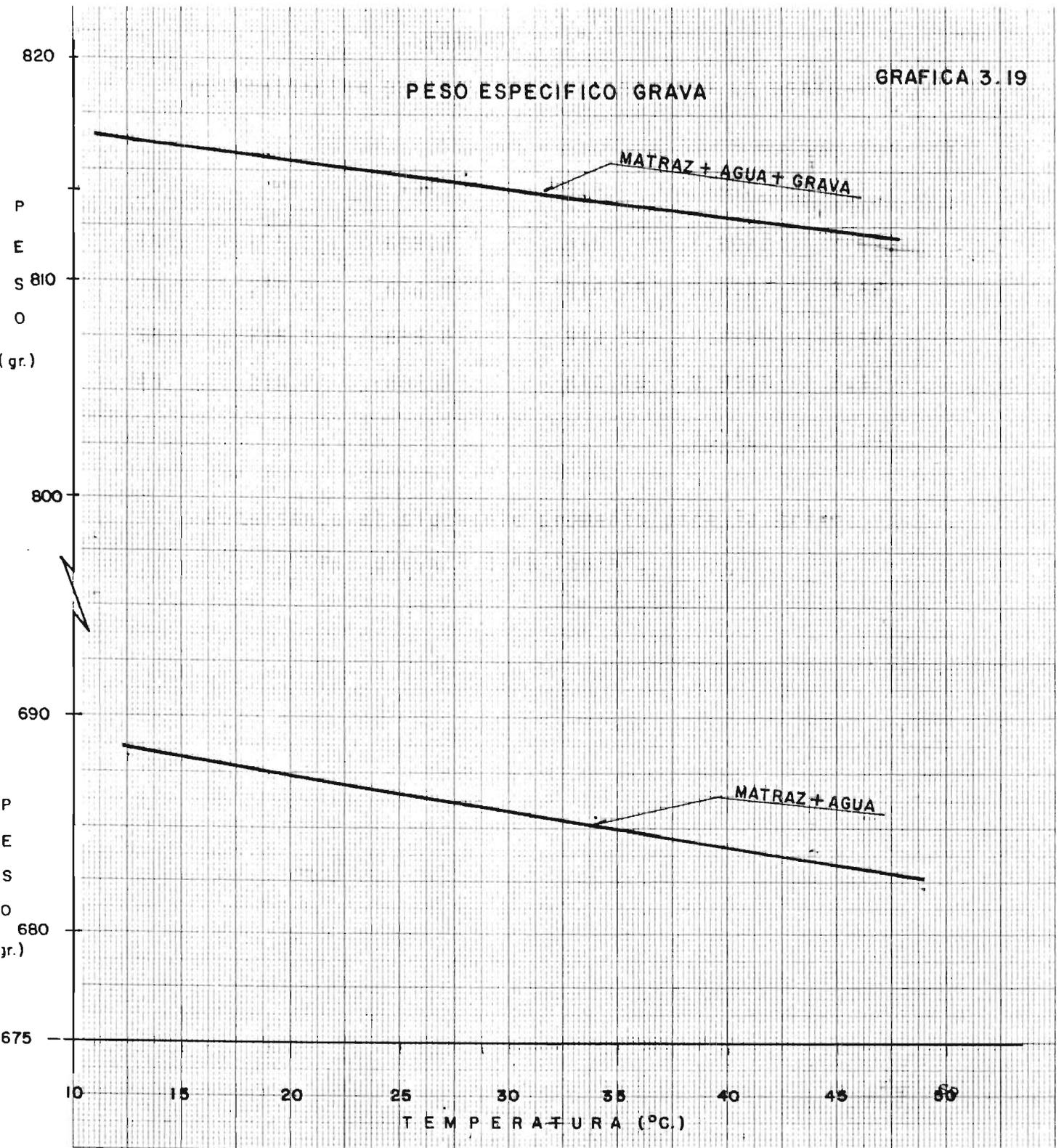
El cuadro 3.10 tiene los datos, obtenidos en laboratorio, utilizando grava como agregado.

CUADRO 3.10

a) <u>Calibración del Matraz</u>		b) <u>Matras más agregado y agua</u>	
<u>Temperatura °C</u>	<u>Matraz + Agua (gr)</u>	<u>Temperatura °C</u>	<u>Matraz + agua + grava (gr)</u>
10	816.70	12.5	688.20
28	814.90	19.0	687.50
33.5	813.80	34.0	685.60
47.5	811.60	49.0	682.50

Estos datos fueron ploteados en la gráfica 3.19.

El peso de agregado utilizado fue de 216.2 gr., saturado superficialmente seco, y aplicando la fórmula 3.3.3, se obtiene un valor de peso específico para la grava, los datos que se obtienen de la gráfica 3.19 se presentan en el cuadro 3.11.



CUADRO 3.11
DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO PARA LA GRAVA

°C	Ws	Wma	Wmas	OC	Gs
15	216.2	688.2	816	1.0012	2.45
25	216.2	686.5	814.75	0.9987	2.46
35	216.2	685.0	813.50	0.9965	2.46
45	216.2	683.3	812.40	0.9940	2.47
TOTAL:					9.84

Obteniendo el siguiente promedio para la grava

$$Pe \text{ grava} = 2.46 \text{ Ton/m}^3.$$

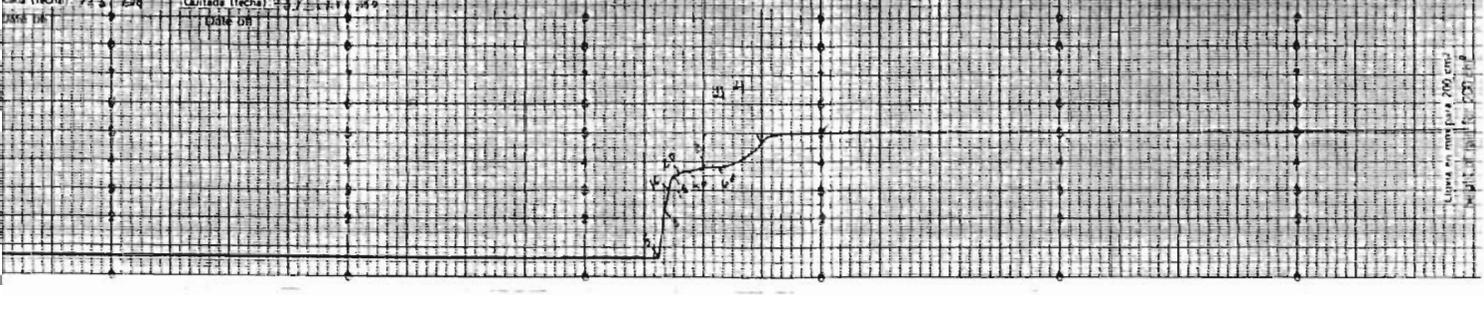
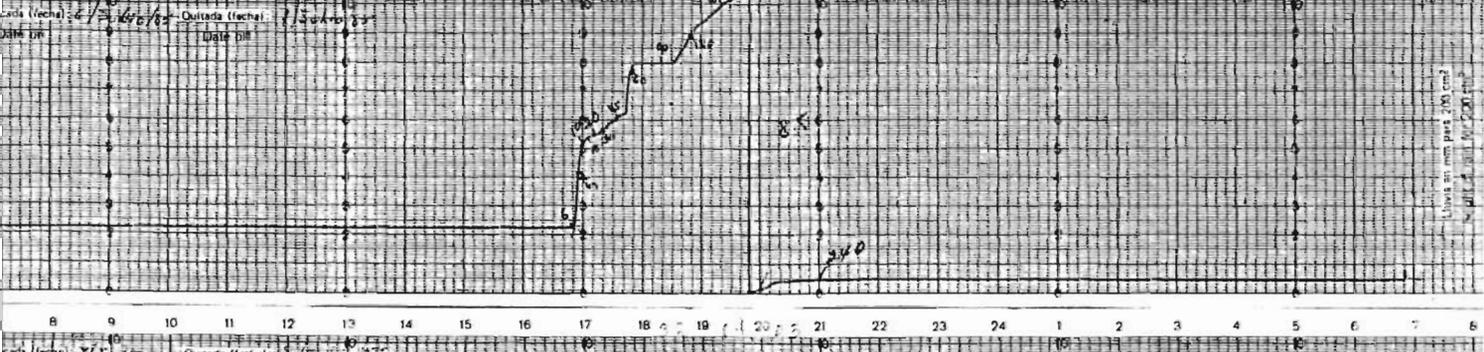
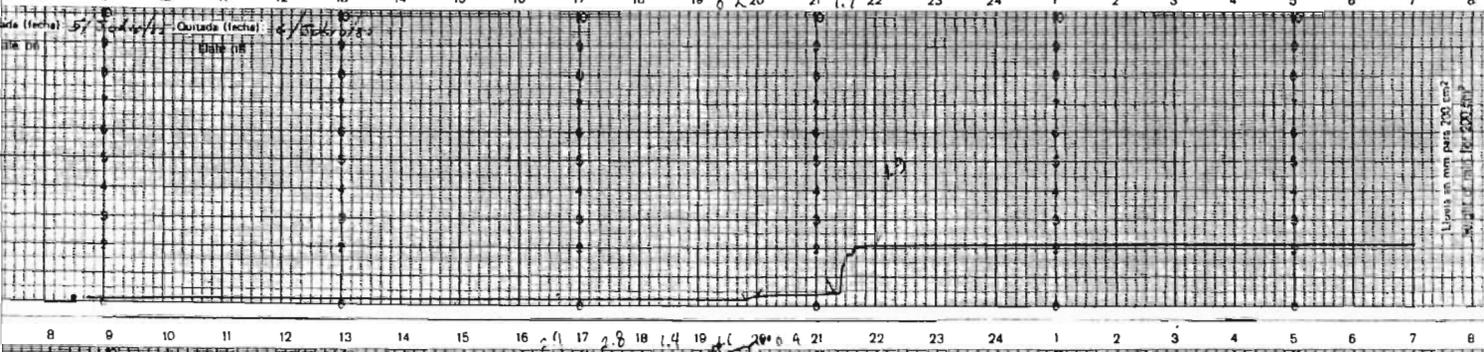
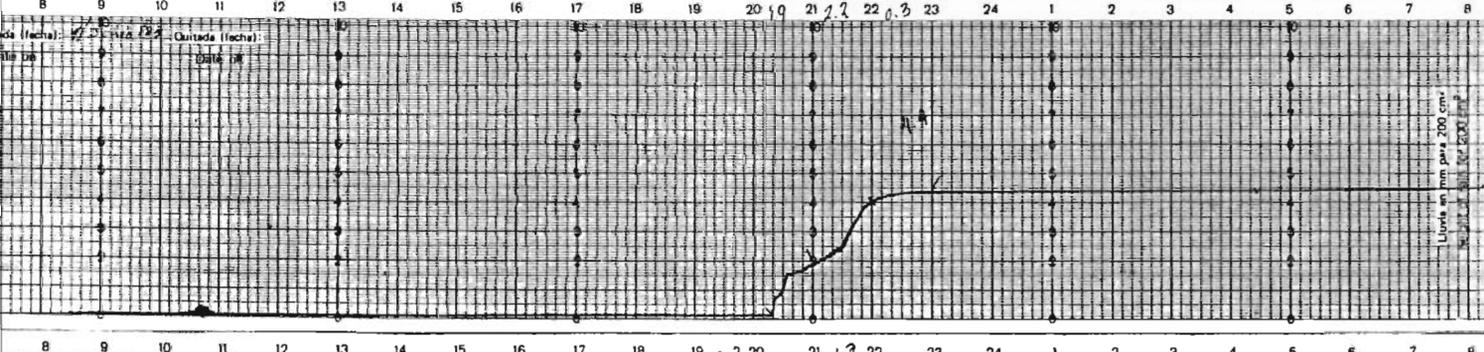
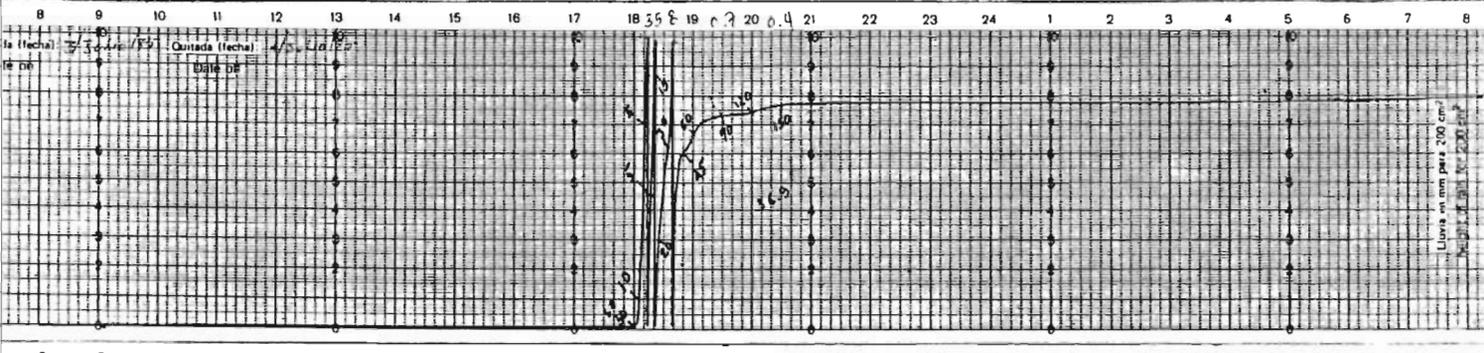
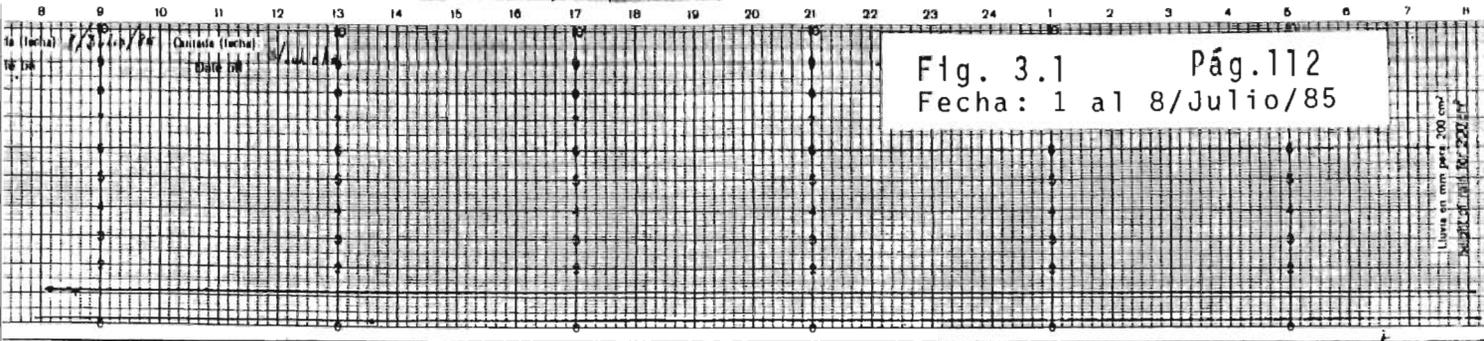
3.4.5 Evaluación de Precipitación

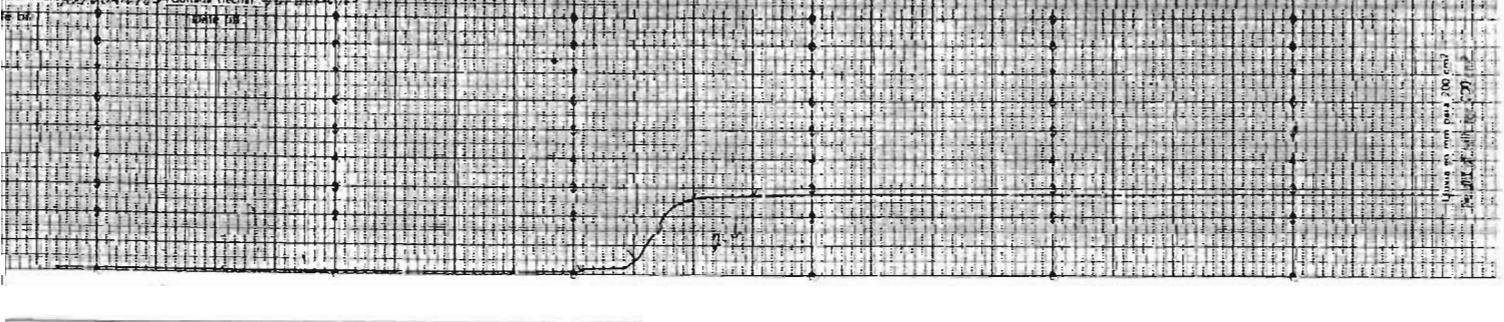
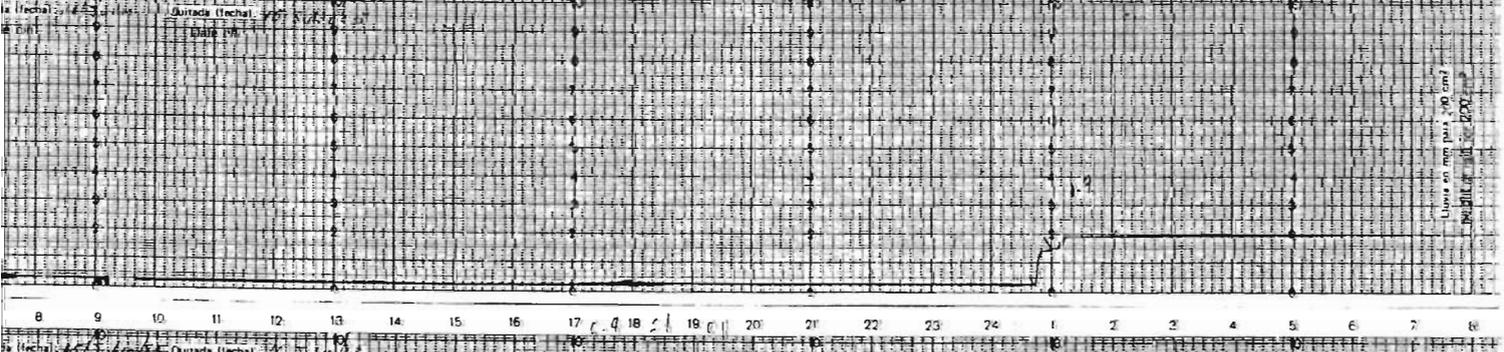
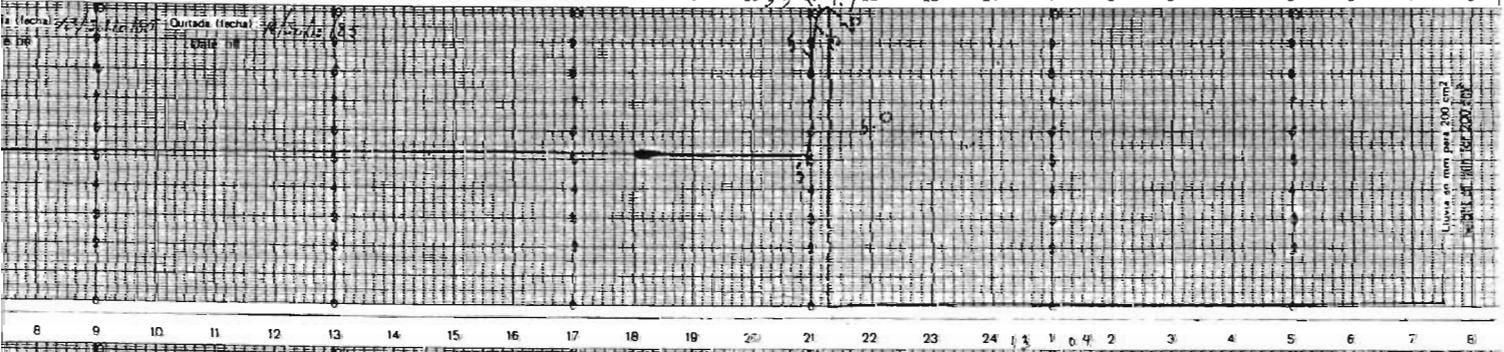
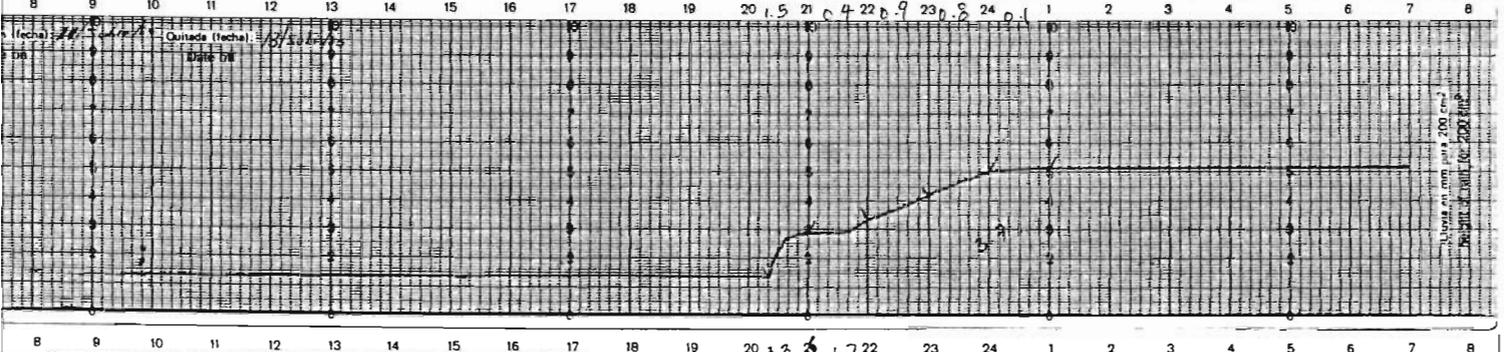
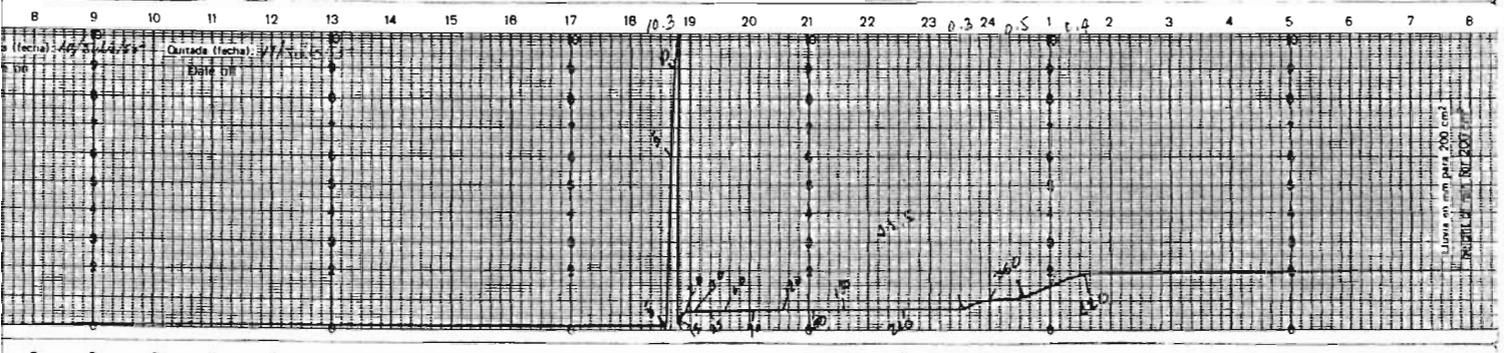
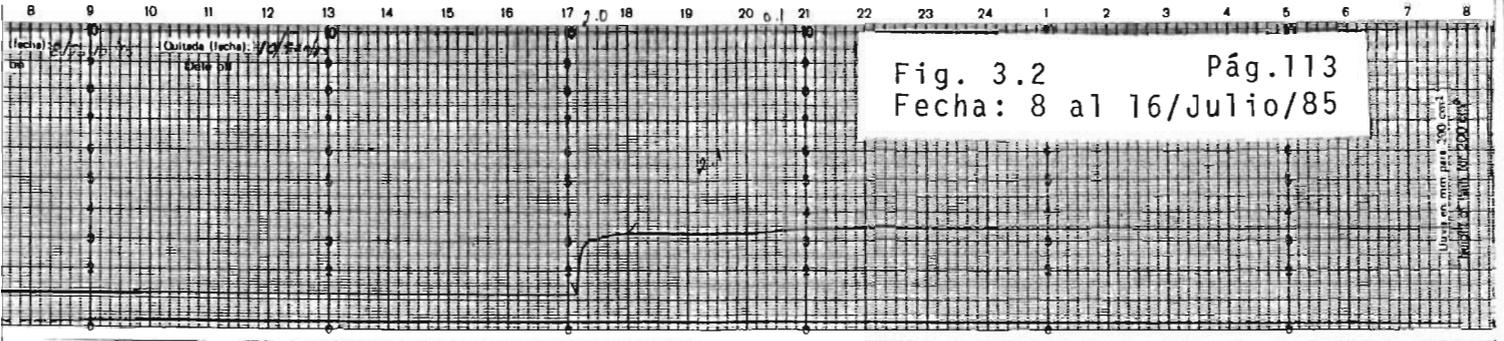
De los pluviogramas se registran las alturas de agua caída y tiempos en que la curva cambia de pendiente (ver Gráficas de la 3.1 hasta la 3.13), por diferencia se calculan los intervalos de tiempo y altura, donde se puede observar la cantidad de lluvia por tiempo de duración. Luego se determina el valor de I_{30} buscando la mayor altura caída en un período continuo cuyos datos se han tabulado en el Cuadro 3.12; considerando las lluvias más agresivas, las mayores o iguales a 10 mm. en un período de 30 minutos, puesto que el tiempo de concentración de la cuenca es de 21.63 minutos.

CUADRO 3.12

PRECIPITACIONES MAYORES DE 10 mm. PARA DIFERENTES DURACIONES

MES	FECHA	DURACION EN MINUTOS						
		5 Min.	10 Min.	15 Min.	20 Min.	30 Min.	45 Min.	60 Min.
J U L	3	7.4	13.4	17.6	21.8	25.0	34.4	36.0
	10	5.9	2.9	10.2	10.5	10.6	10.6	10.7
	17	5.5	8.0	10.5	12.5	13.5	14.6	15.6
	19	5.8	8.8	10.3	11.3	12.40	13.1	13.8
I O	25	10.4	19.3	27.0	30.0	34.0	38.5	38.7
	29	8.9	16.3	18.2	19.6	21.5	22.2	23.3
	30	10.8	18.8	25.3	29.8	34.6	40.1	42.8
	31	6.3	9.9	12.4	14.7	16.6	17.5	17.8
A G O S T O	2	7.1	12.1	17.1	19.6	23.1	26.5	27.7
	9	4.0	6.5	9.0	9.6	10.6	11.1	11.2
	25	5.0	6.8	8.5	9.7	11.3	11.6	11.7
	27	10.0	15.0	20.0	23.0	25.5	27.1	27.7
	30	3.7	5.5	7.0	8.5	10.7	12.1	12.8
S E P T I E M B R E	3	8.0	13.0	20.0	23.0	27.2	31.9	38.6
	12	8.7	10.5	13.1	13.4	14.1	18.2	18.4
	14	6.5	8.3	9.7	11.0	11.5	12.7	13.1
	15	4.5	8.0	11.5	14.0	15.5	15.6	15.9
	15	5.4	8.2	9.9	11.9	14.9	21.7	27.7
	16	6.0	9.5	11.3	13.1	14.8	15.9	16.8
	18	5.7	9.7	10.8	11.5	11.8	11.8	11.9
	22	7.6	11.1	13.4	14.9	16.0	16.8	18.2
28-29	7.2	11.7	15.7	16.7	27.9	28.0	28.3	
29-30	9.2	12.1	13.1	14.3	17.6	22.3	23.6	





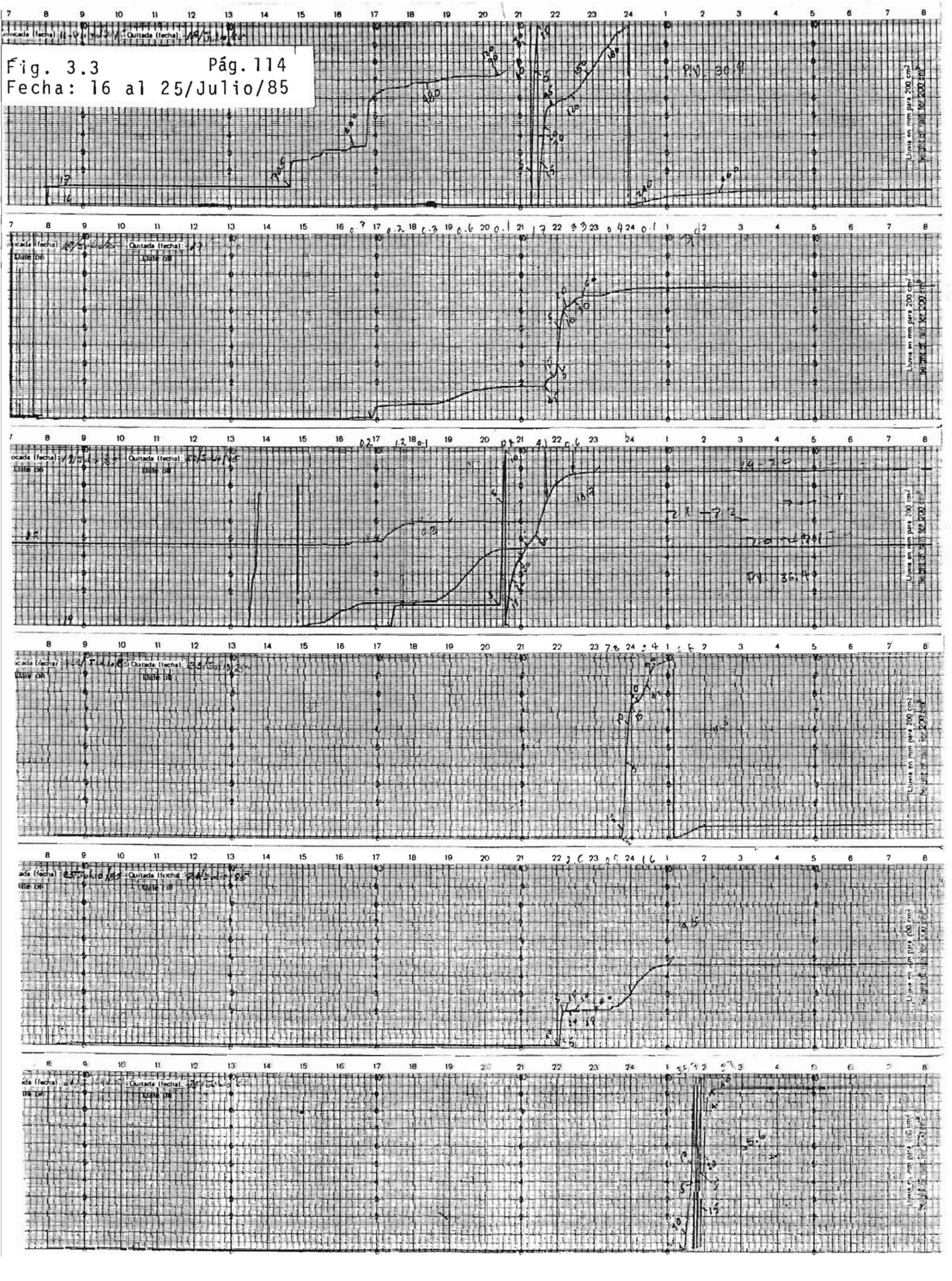


Fig. 3.4 Pág. 115
Fecha: 25 al 31/Julio/85

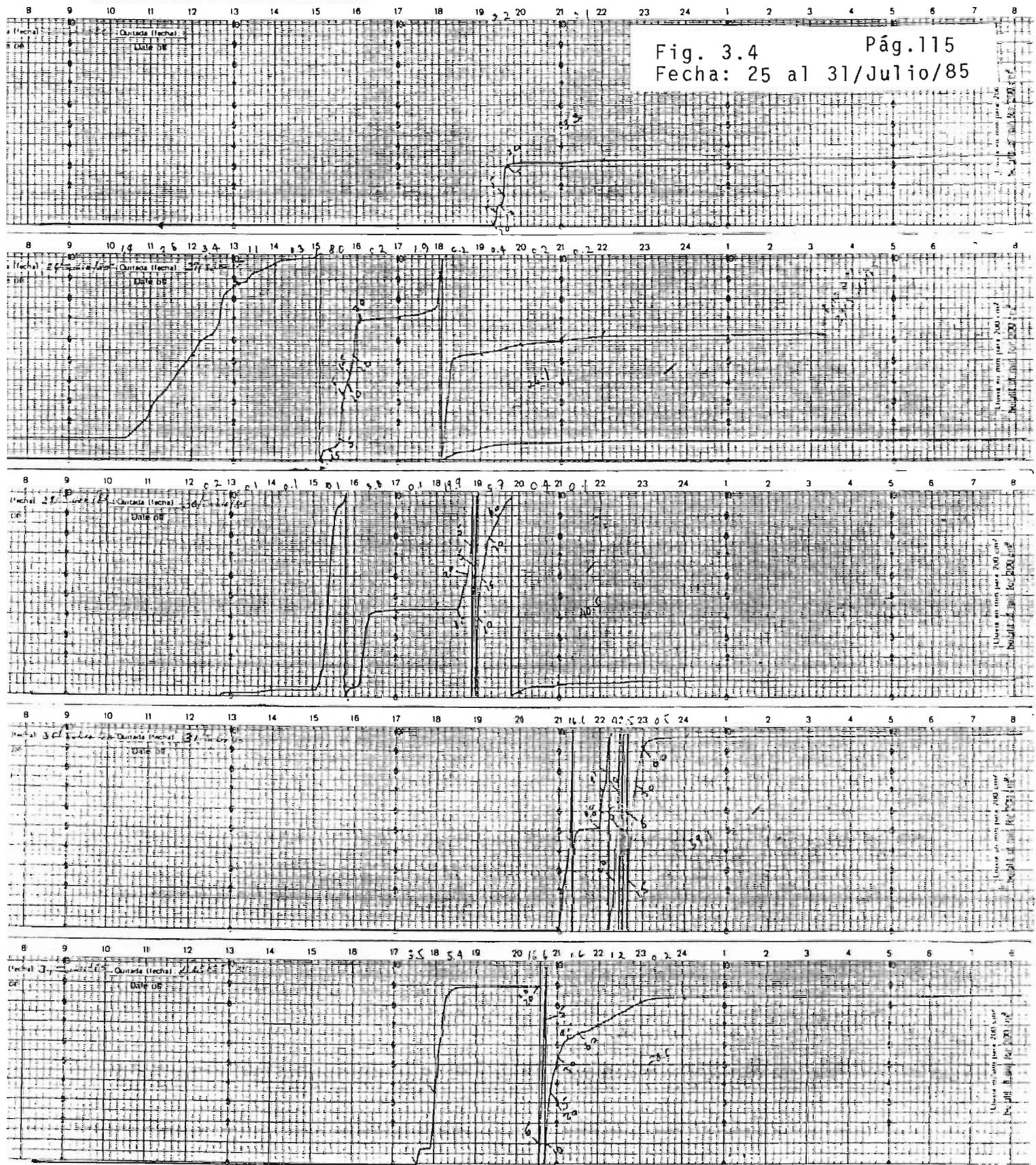


Fig. 3.5 Pag.116
 Fecha: 1 al 7/Agosto/85

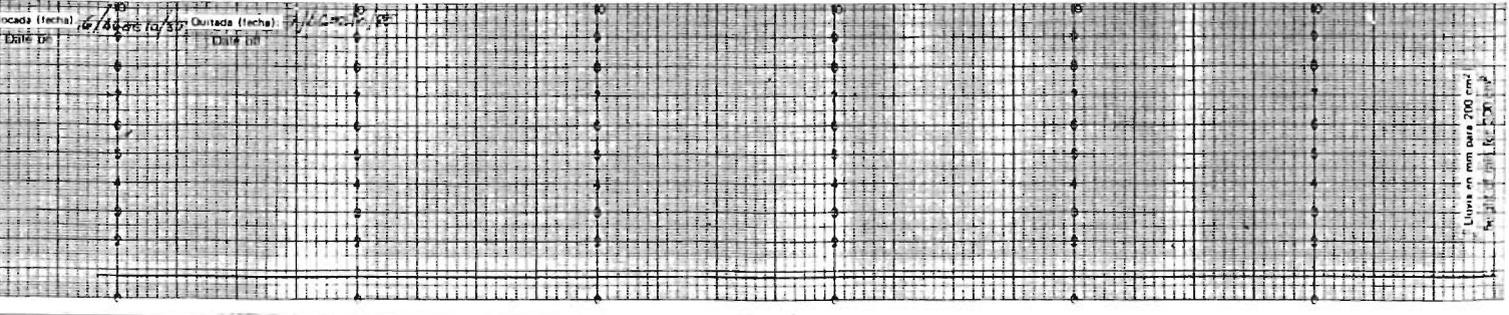
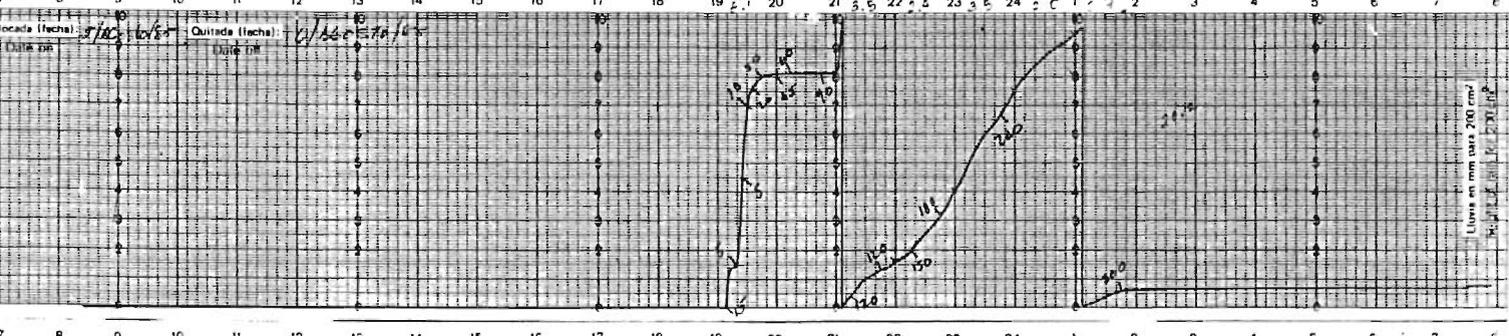
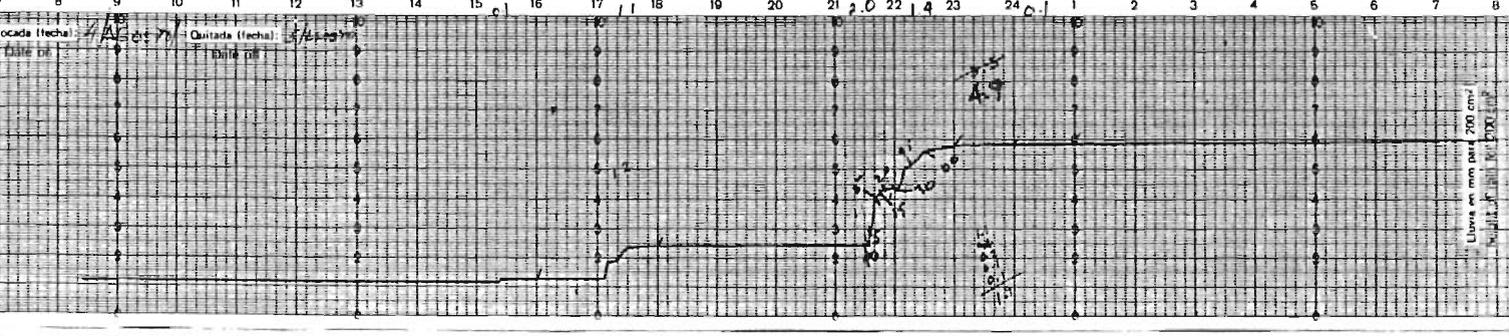
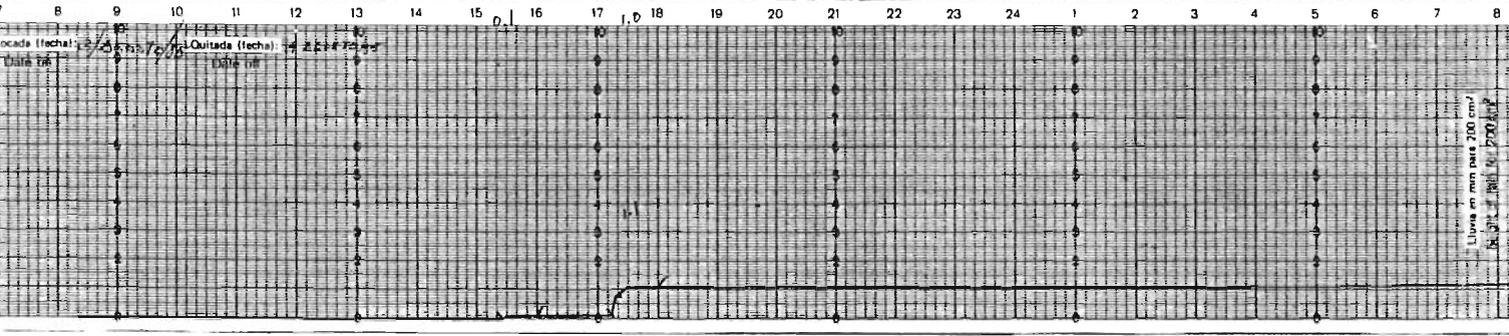
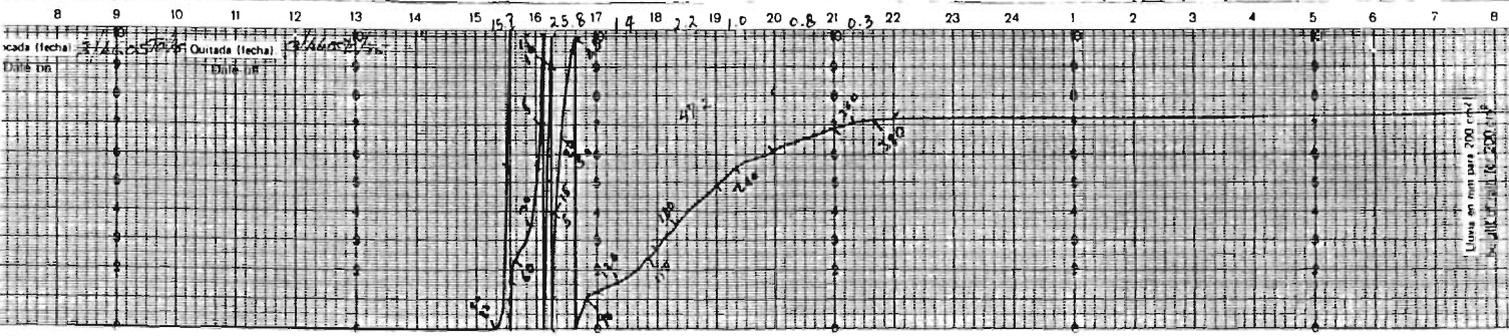
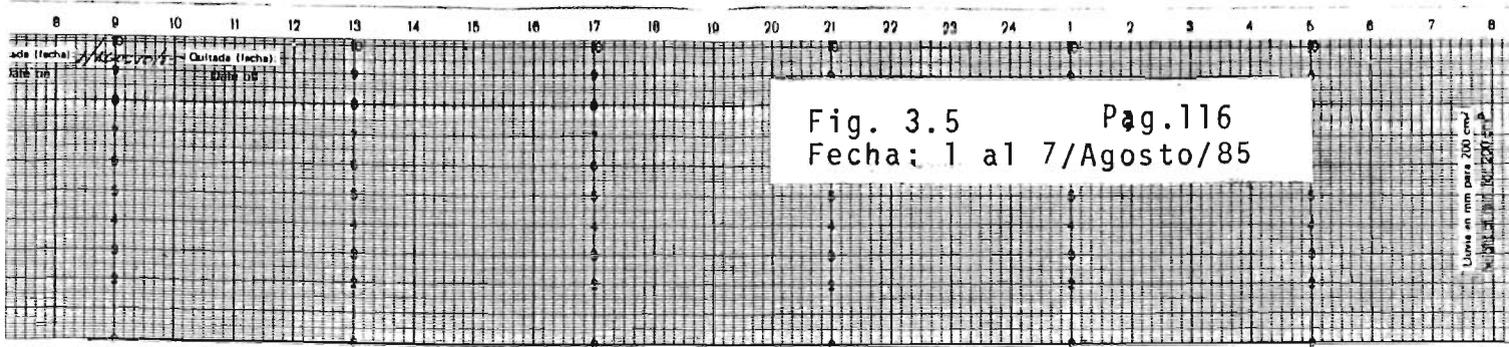
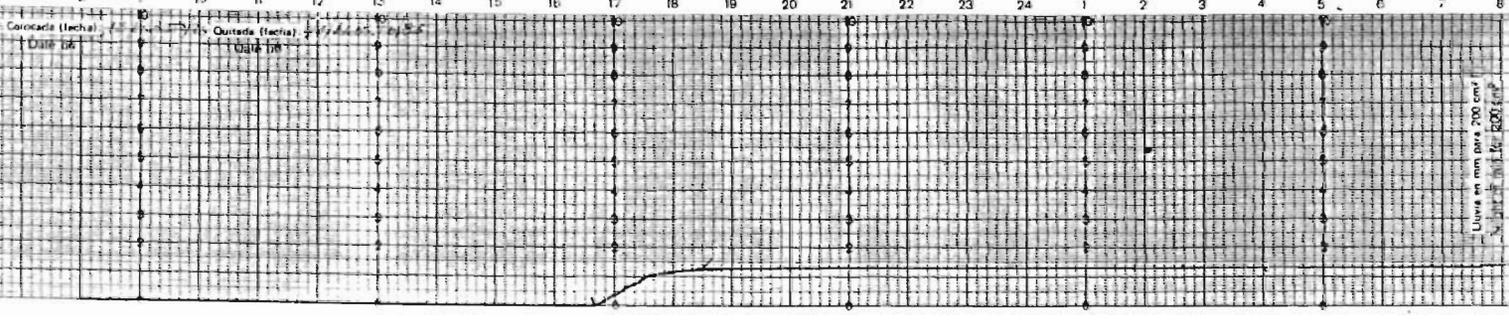
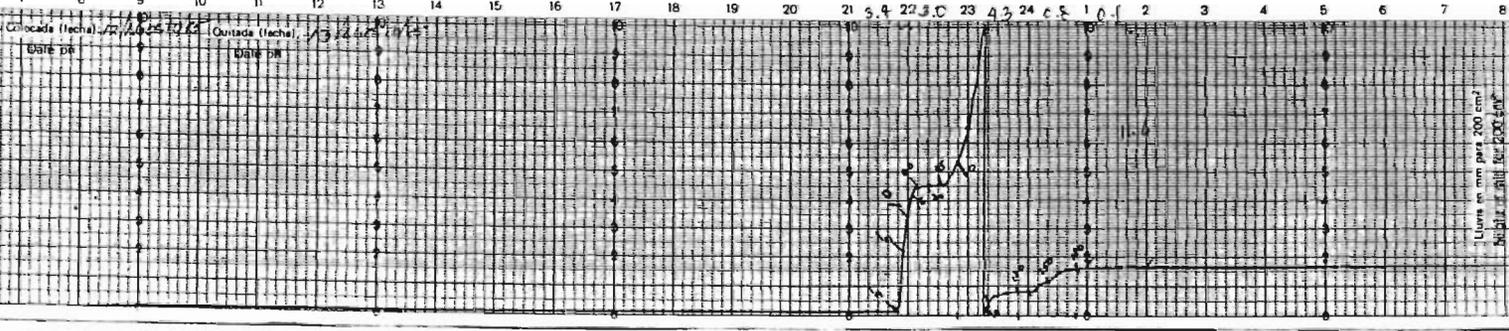
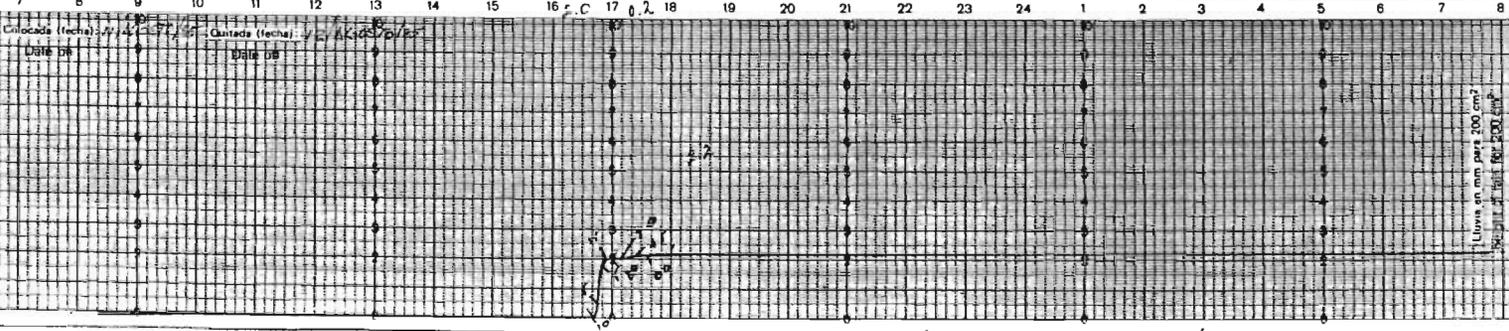
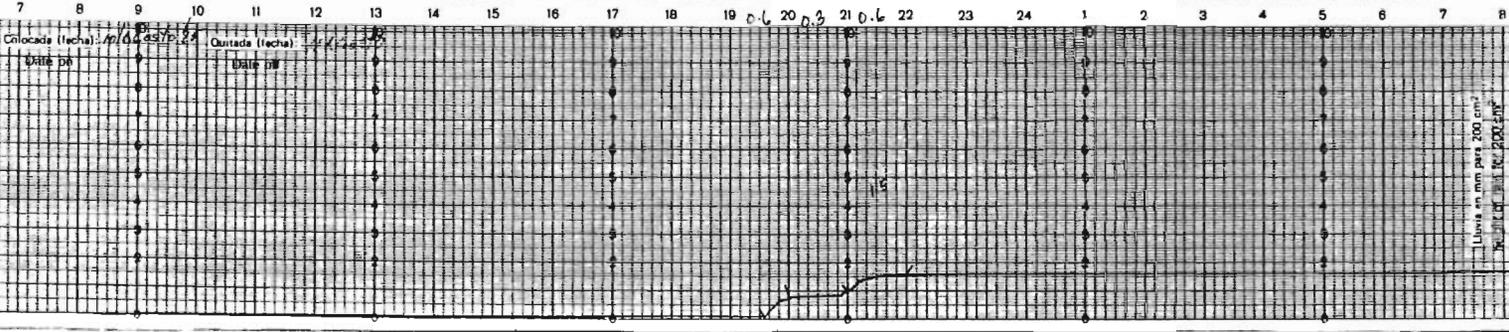
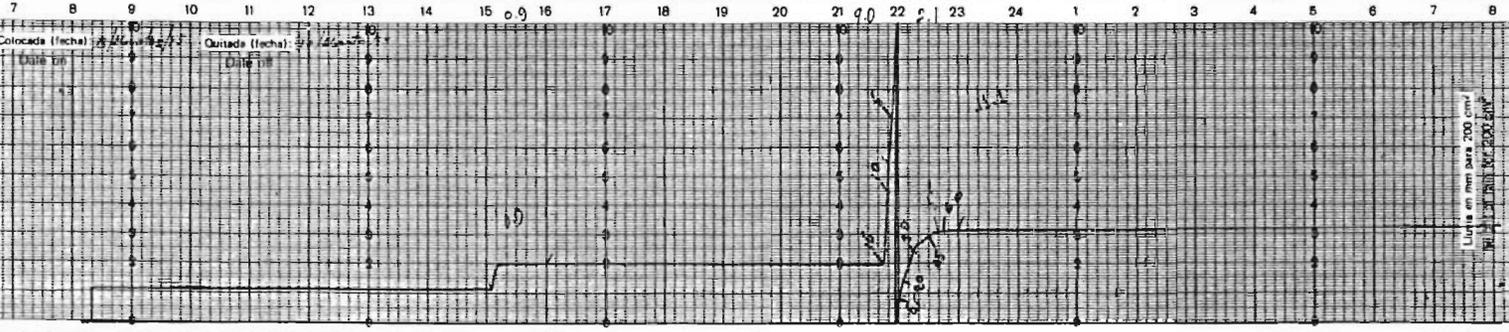
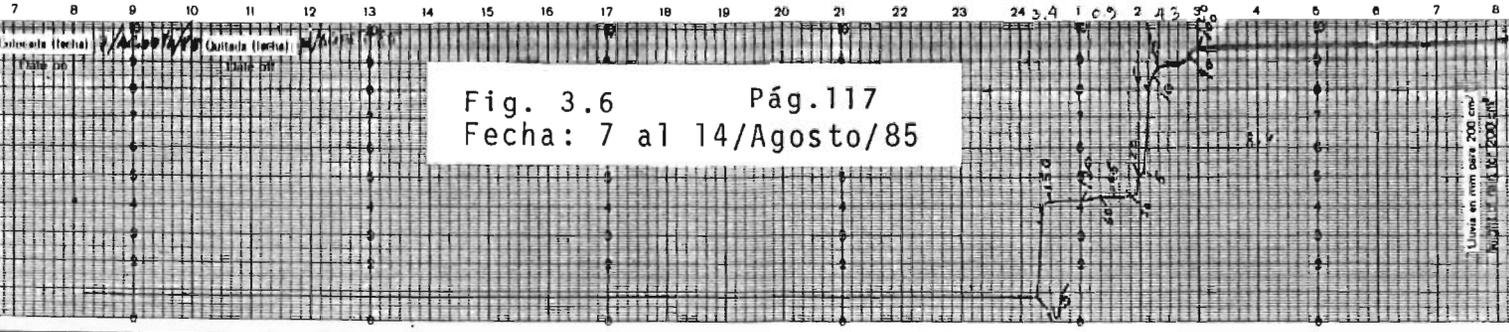


Fig. 3.6 Pág.117
Fecha: 7 al 14/Agosto/85



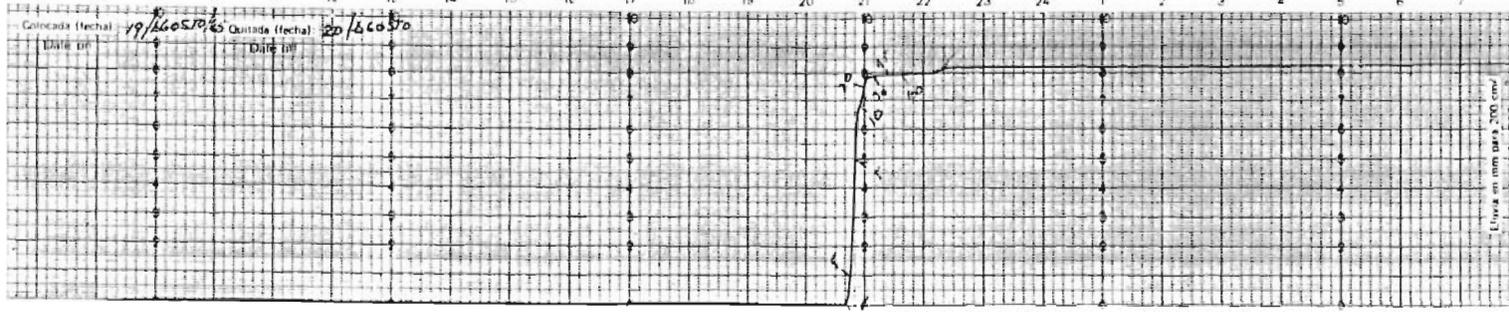
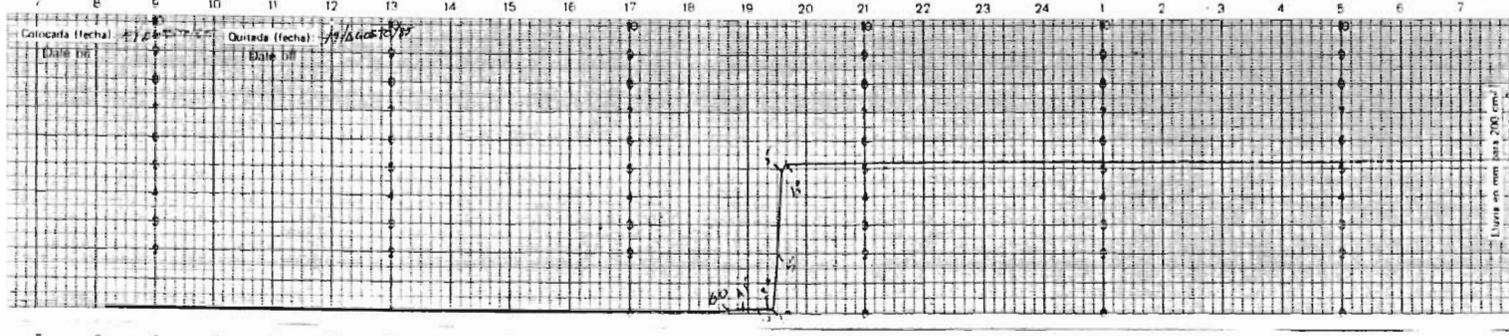
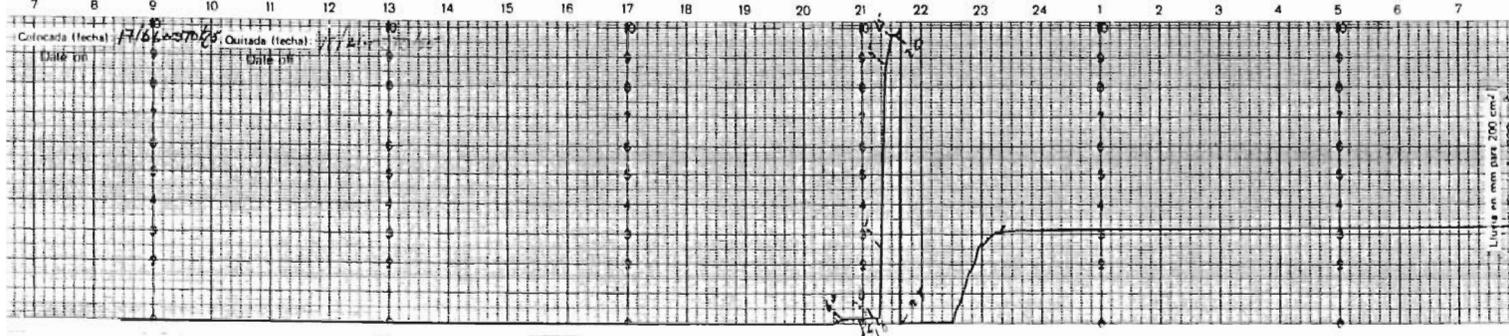
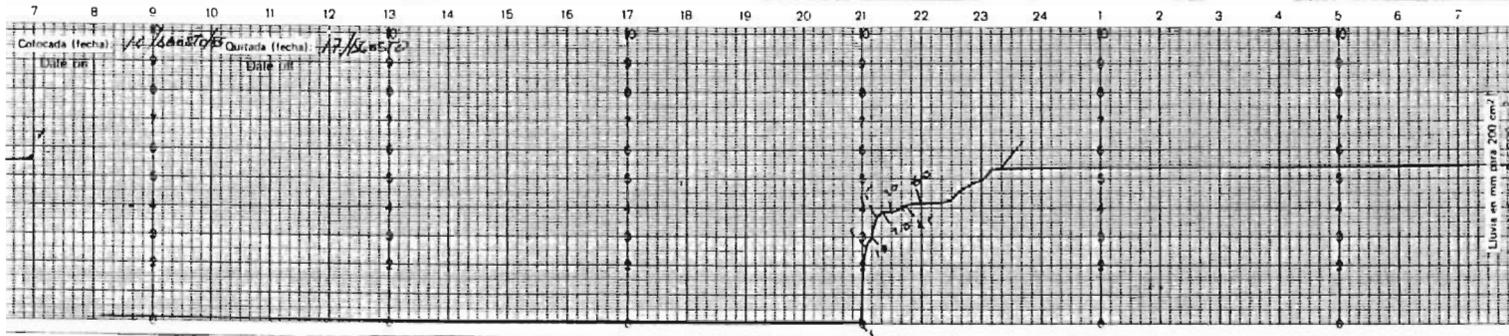
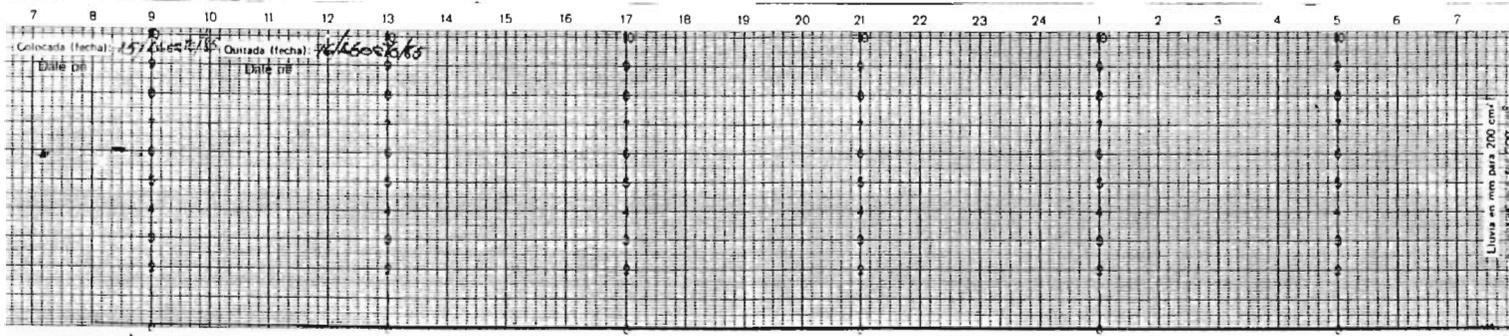
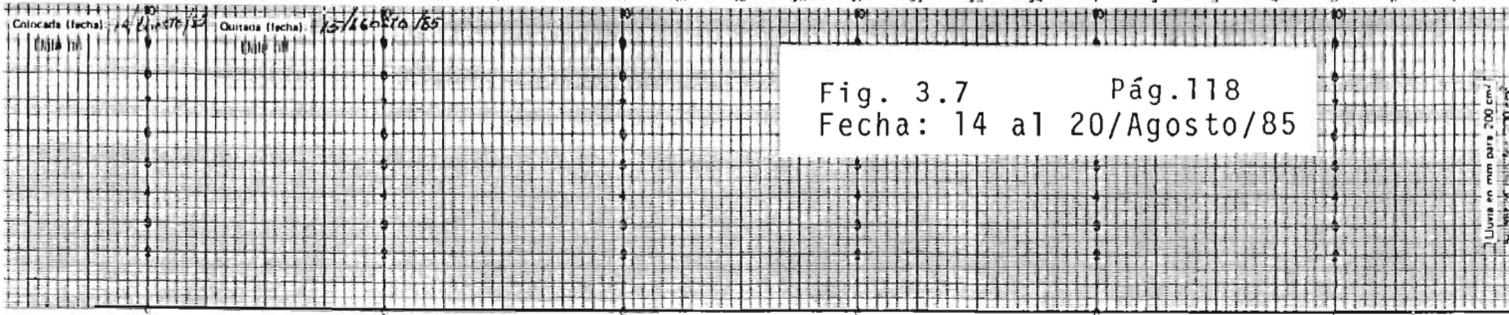


Fig. 3.8 Pág.119
 Fecha: 20 al 26/Agosto/85

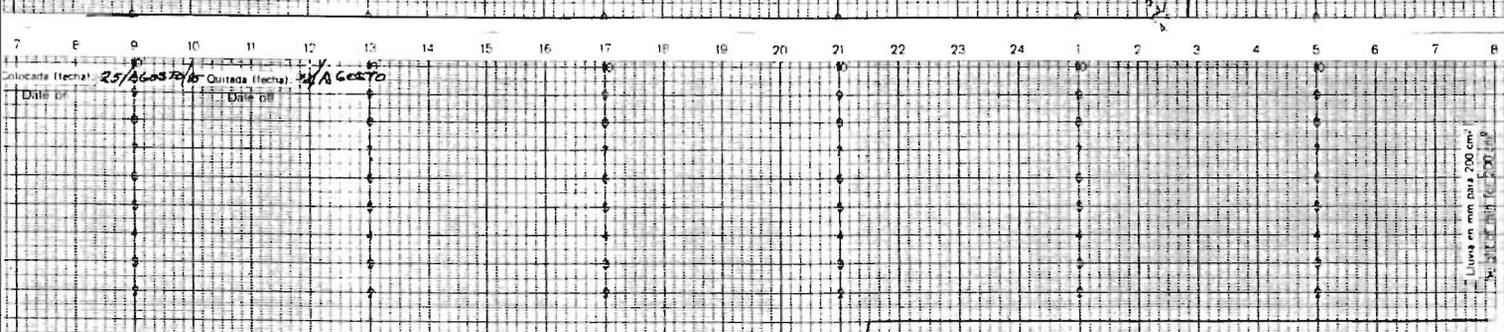
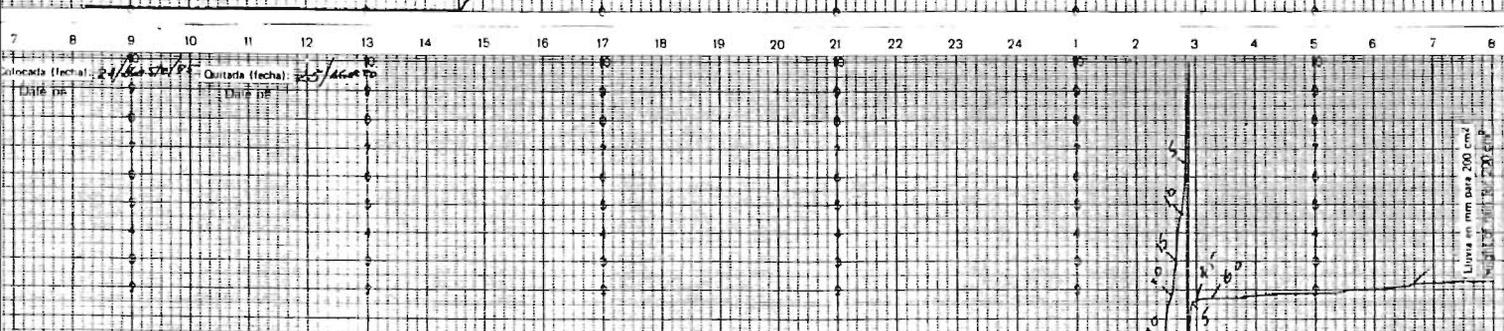
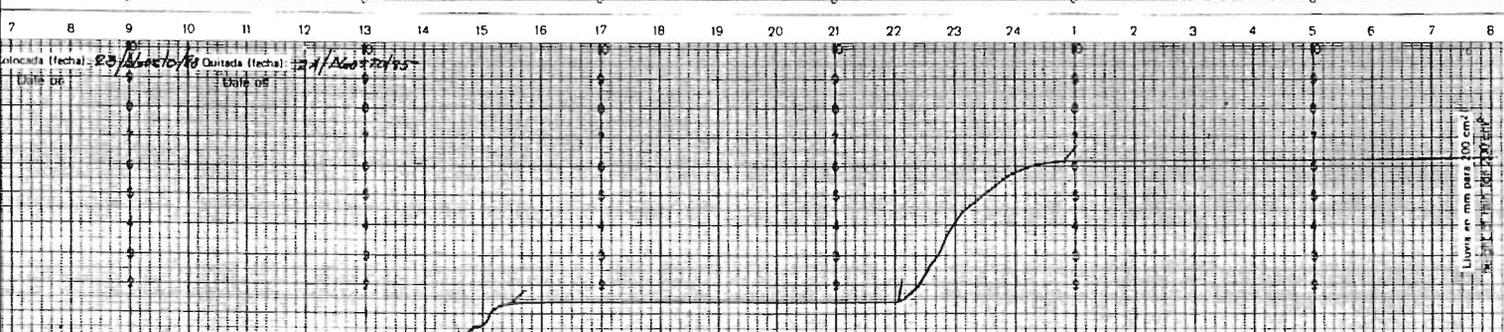
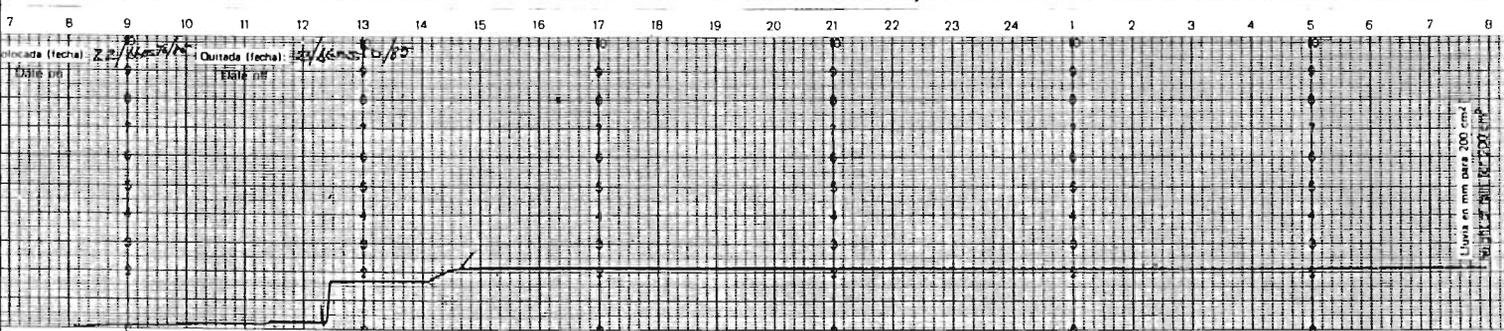
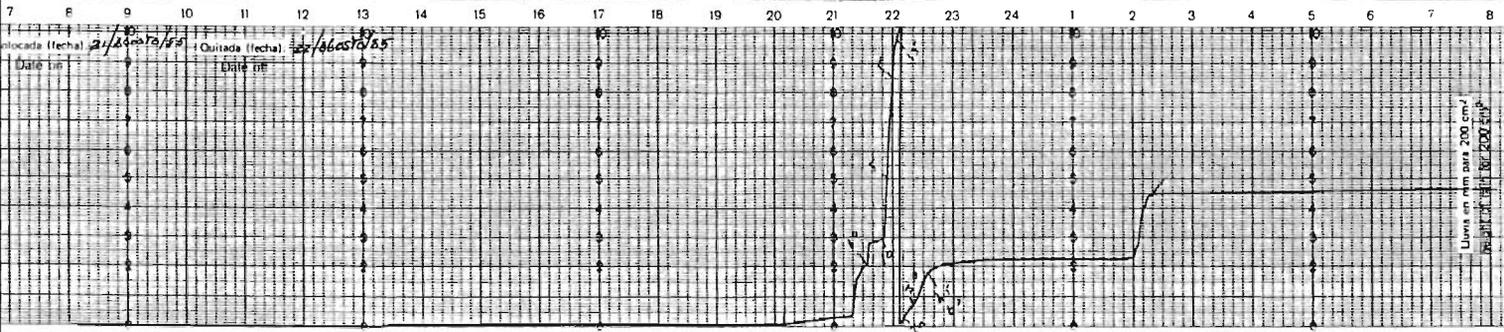
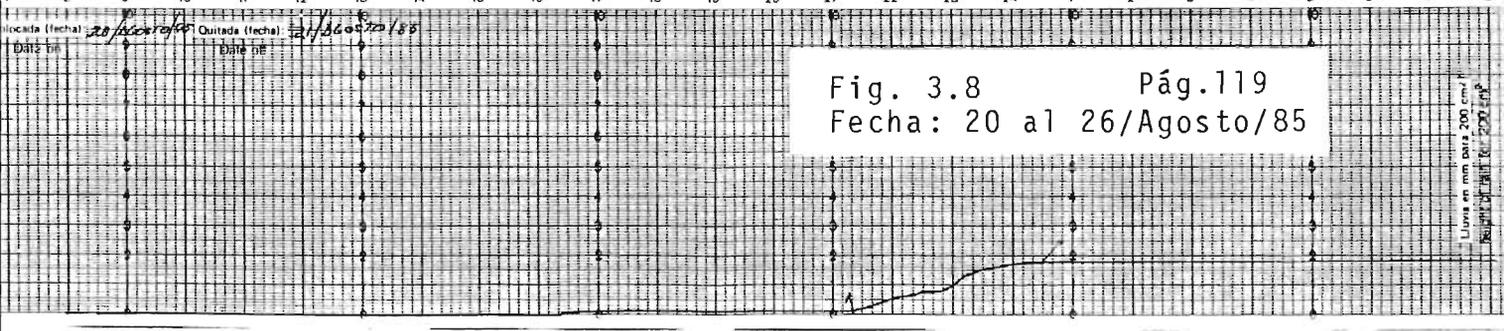
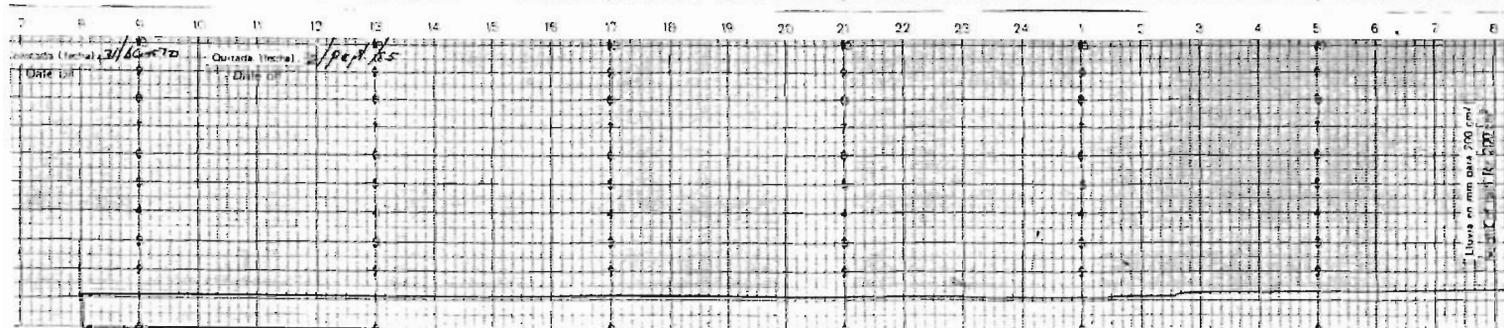
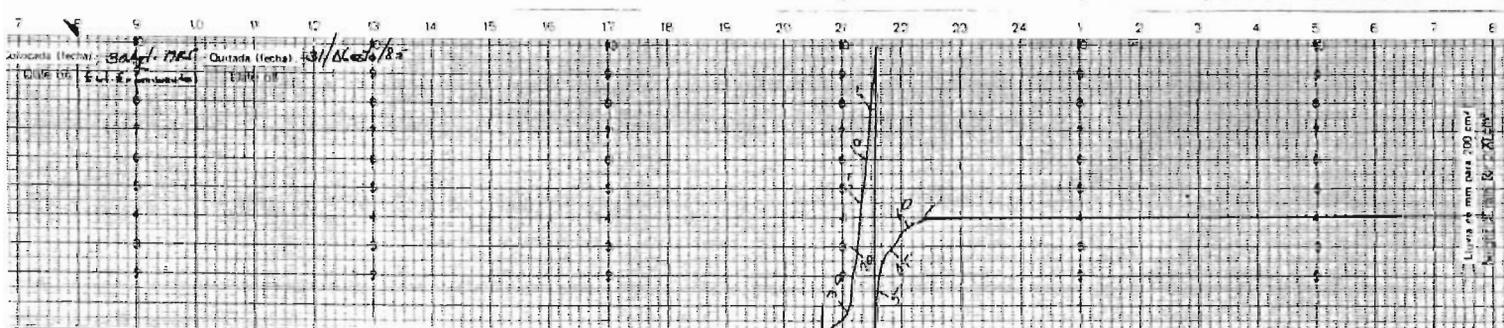
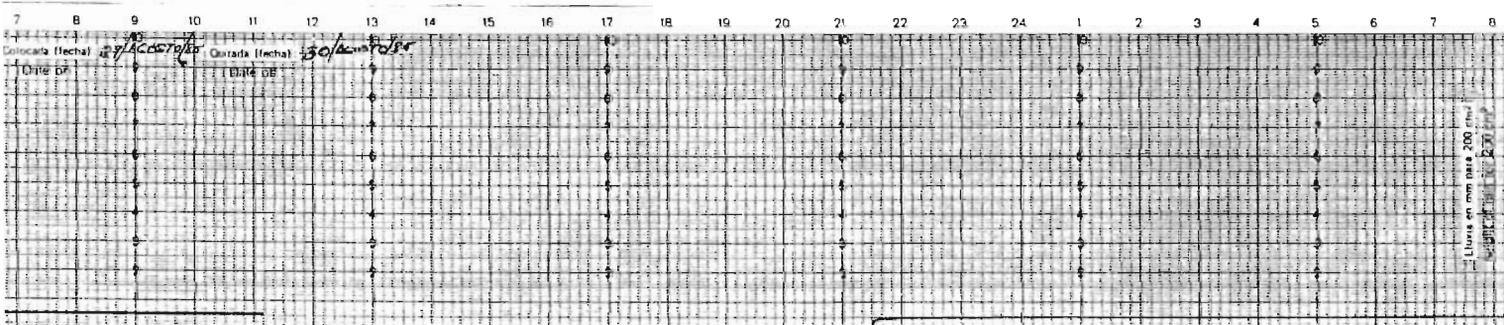
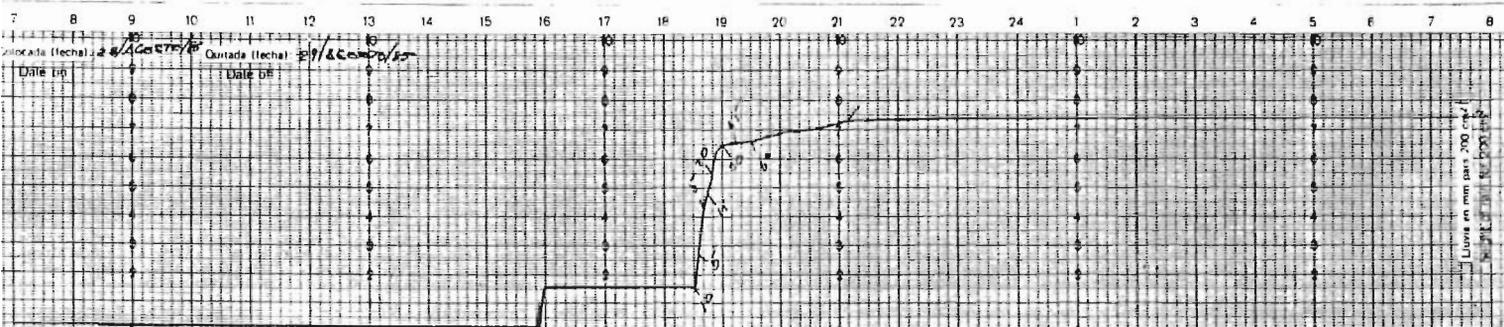
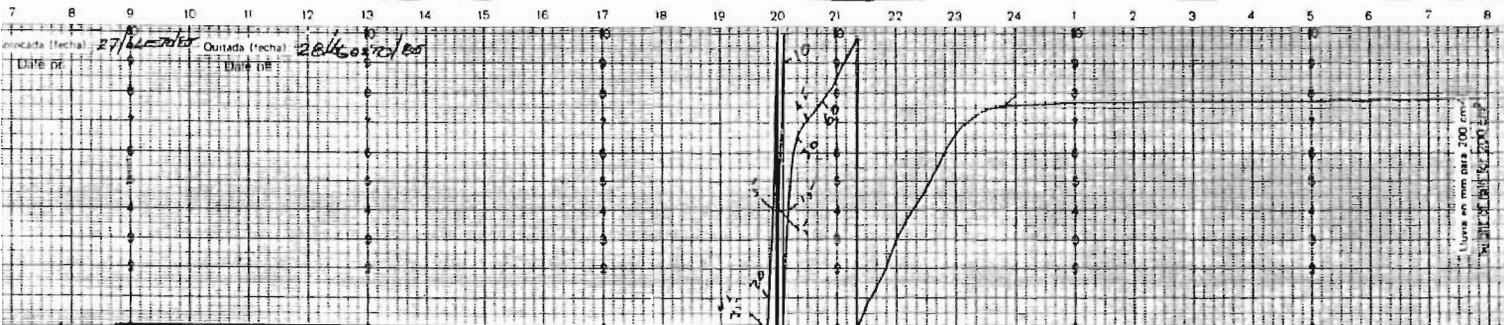
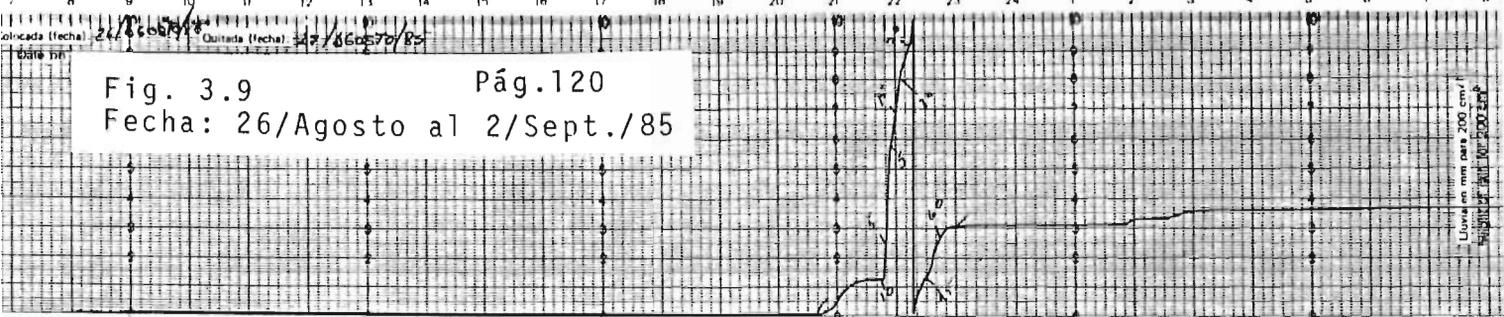


Fig. 3.9
Fecha: 26/Agosto al 2/Sept./85



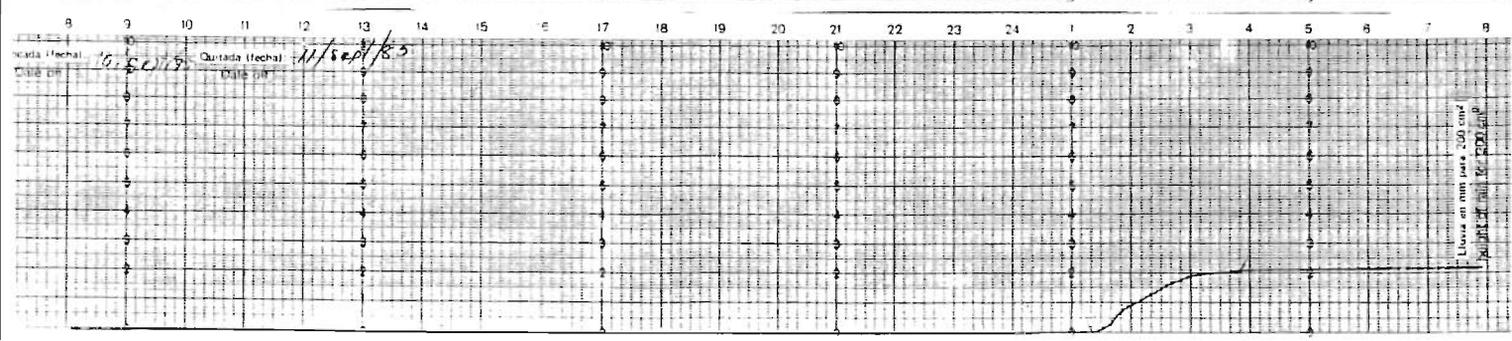
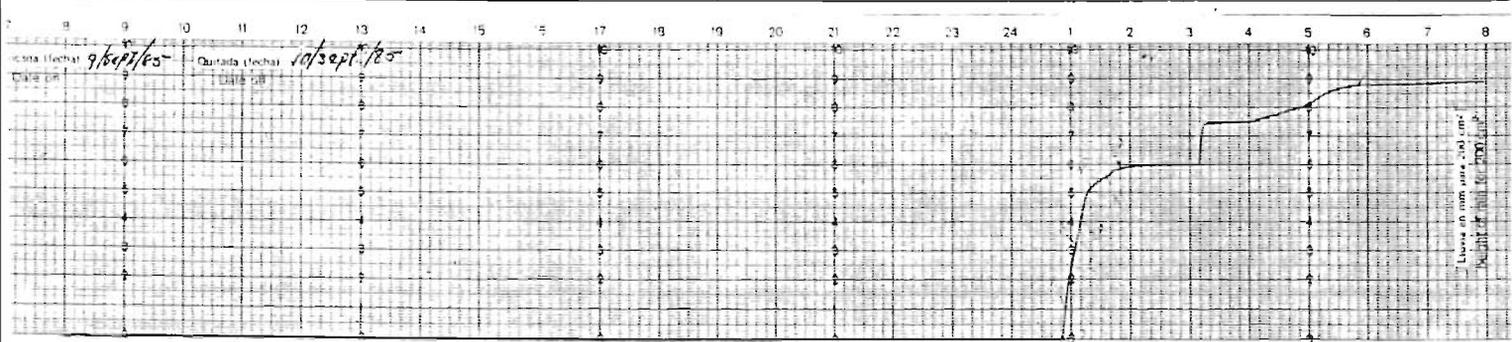
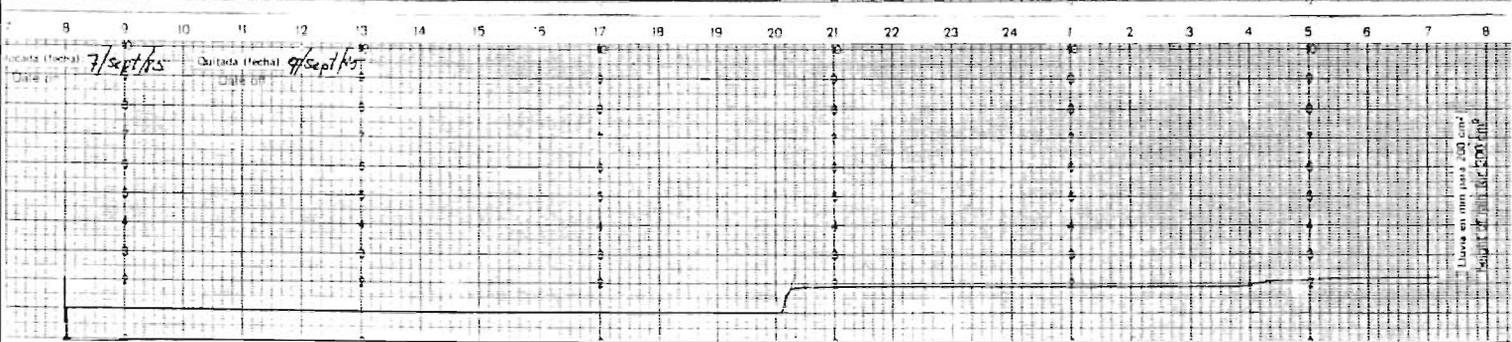
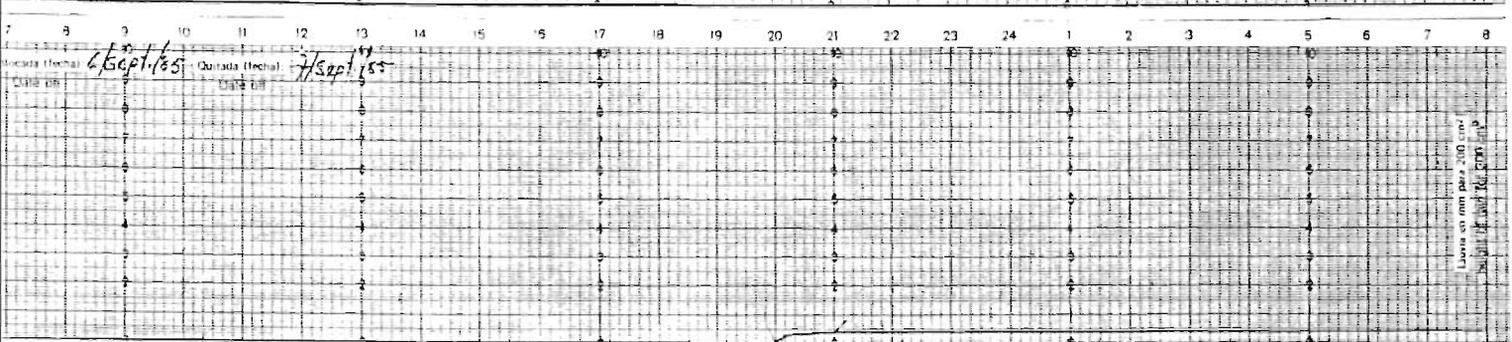
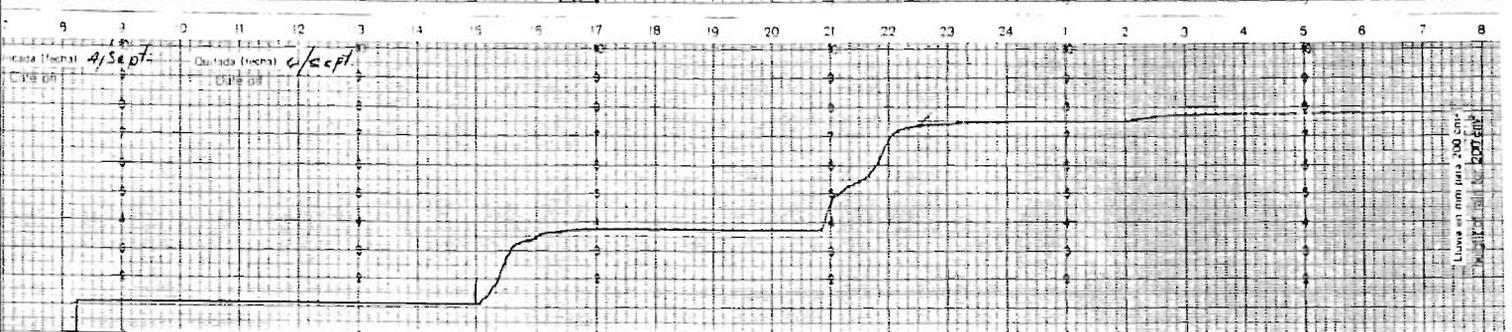
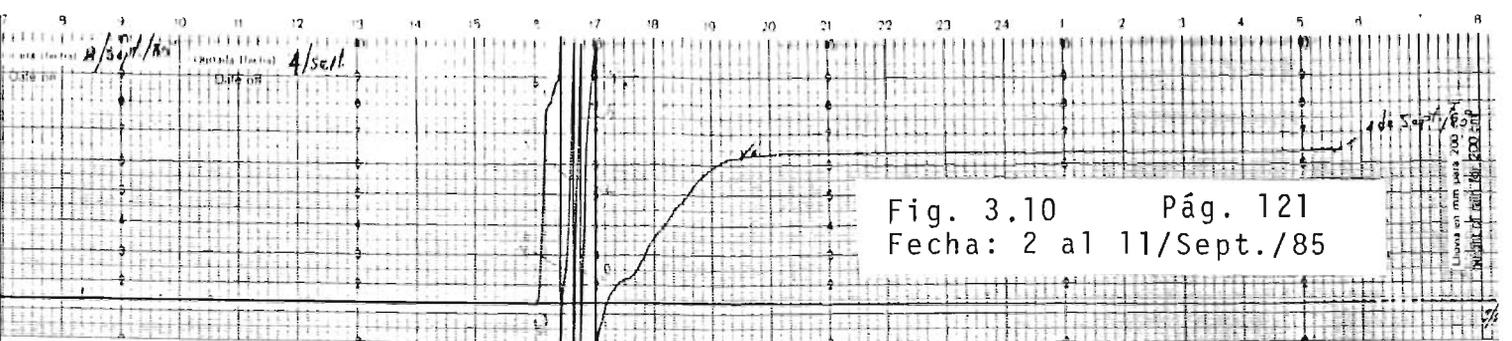
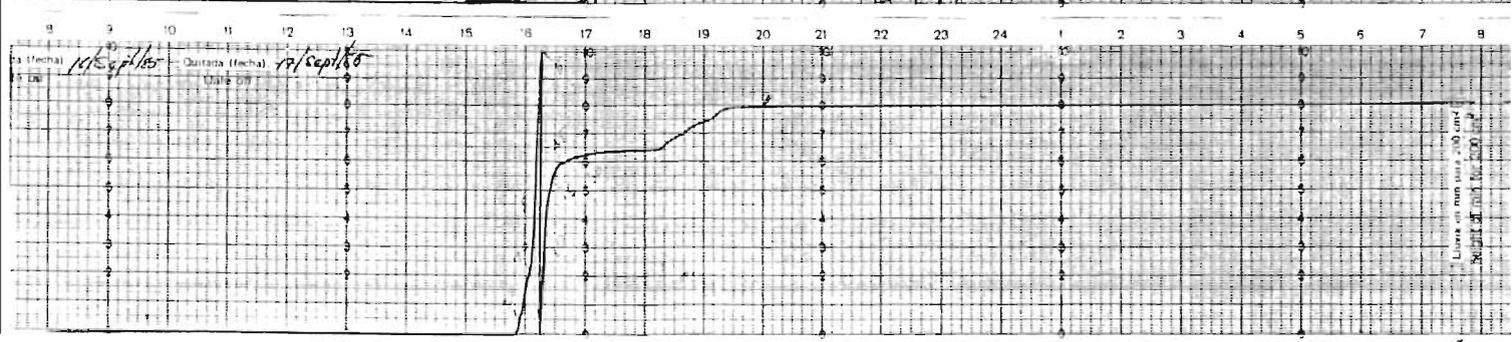
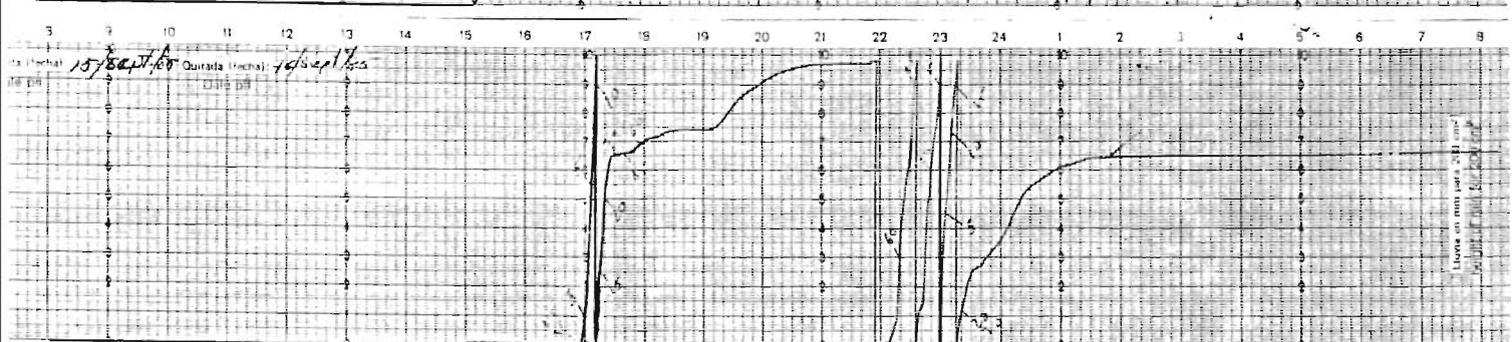
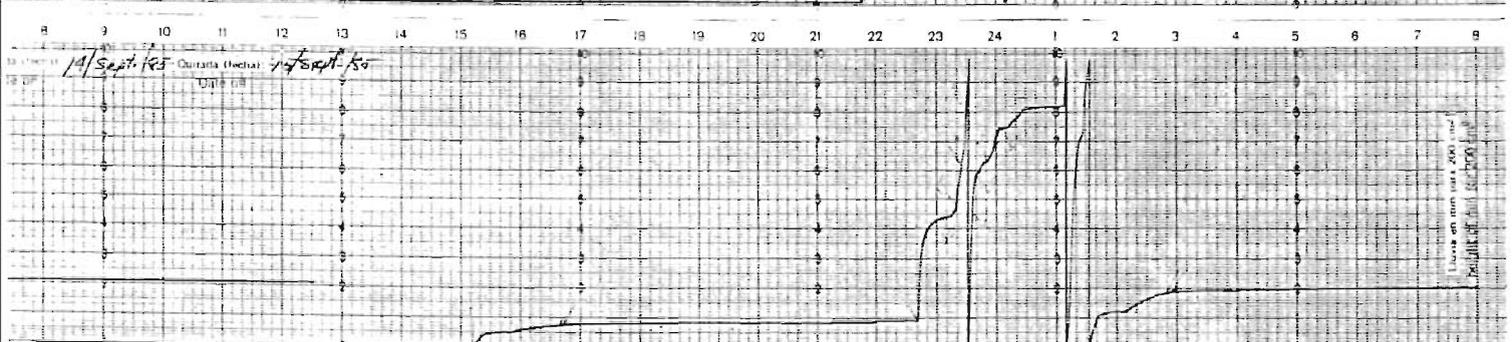
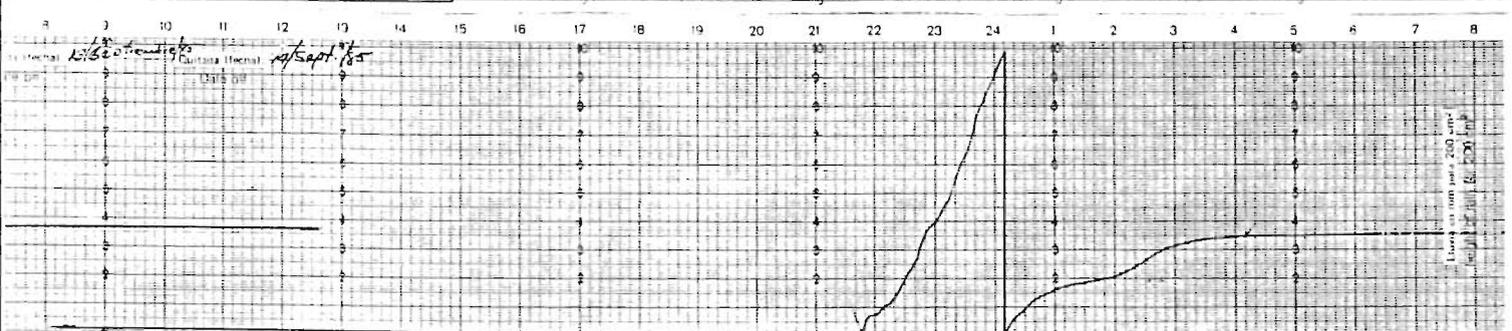
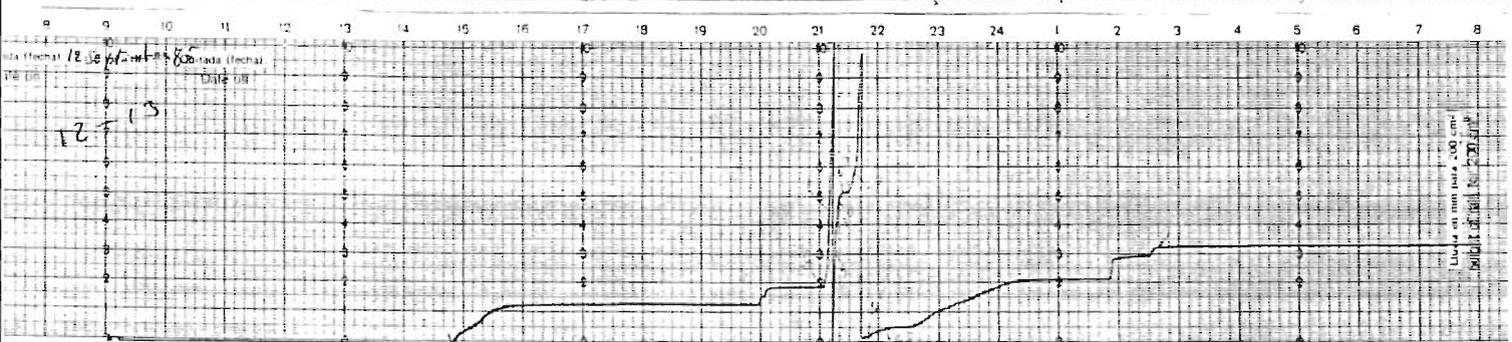
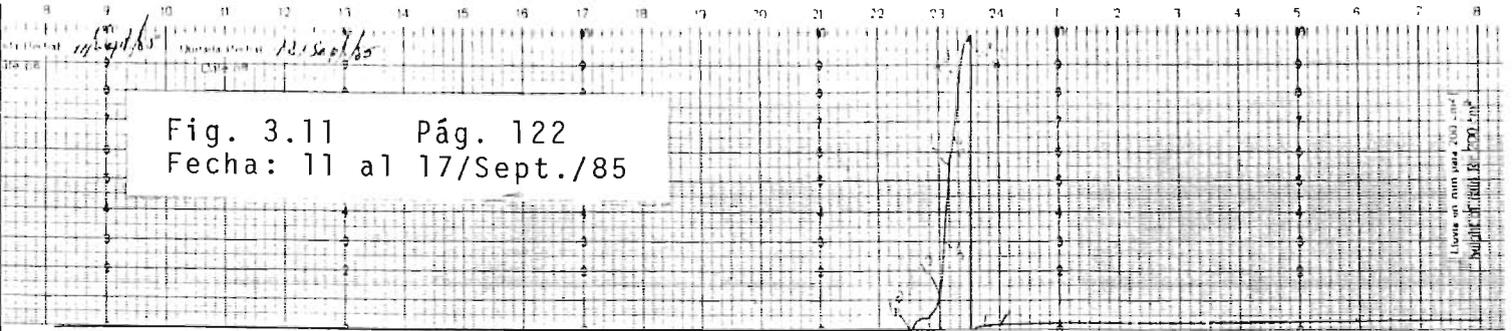


Fig. 3.11 Pág. 122
Fecha: 11 al 17/Sept./85



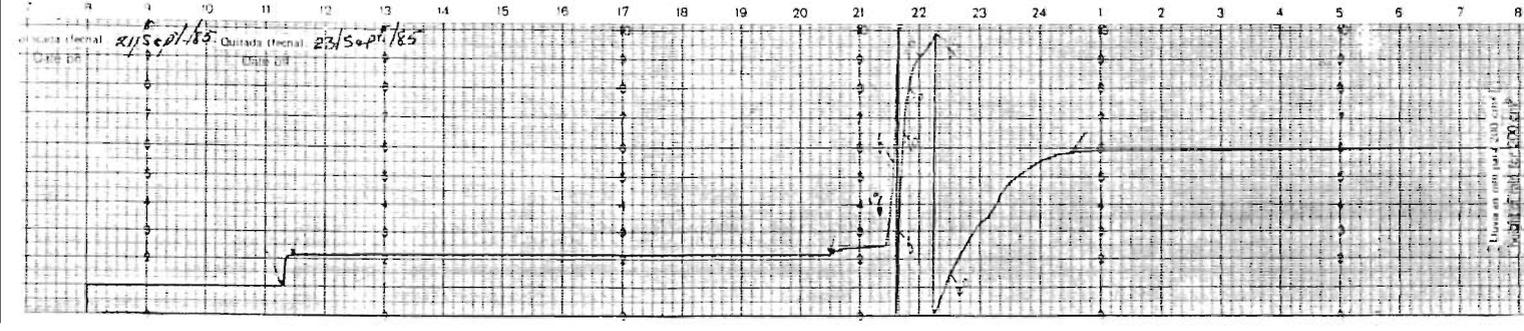
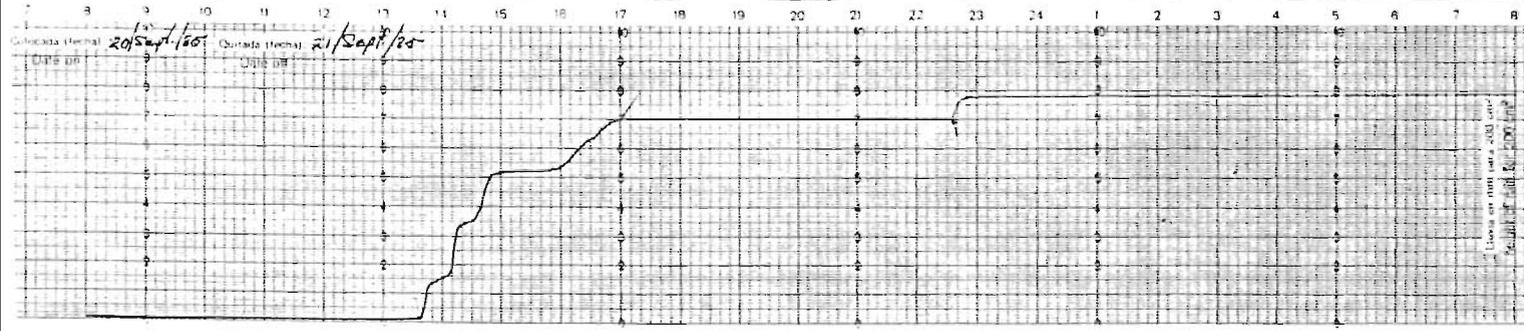
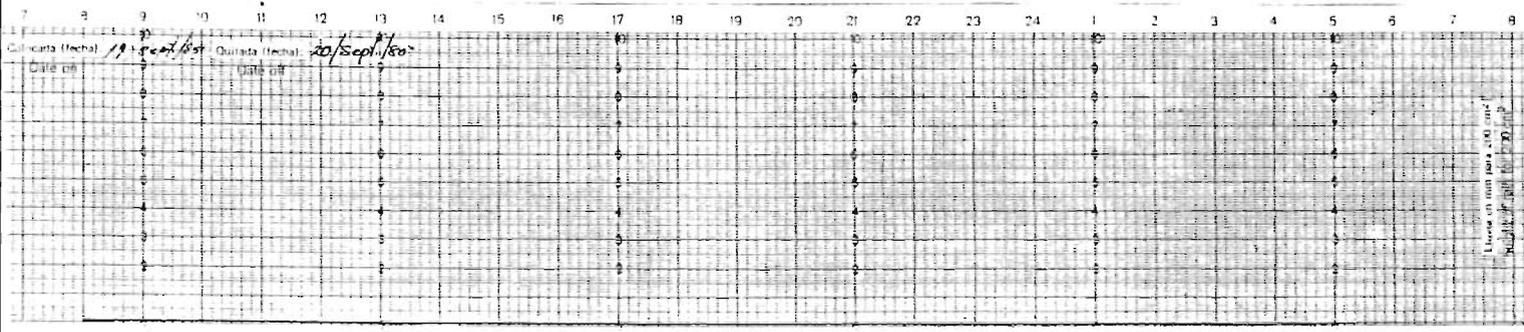
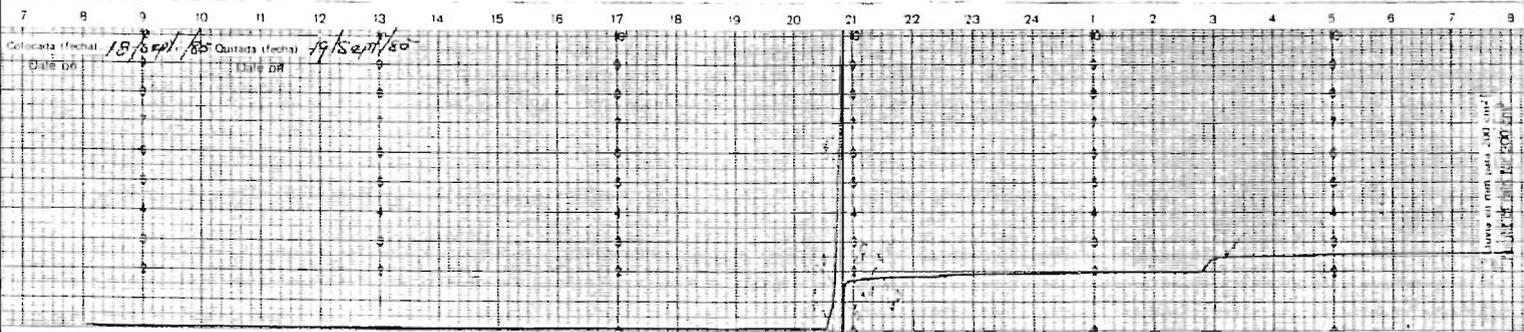
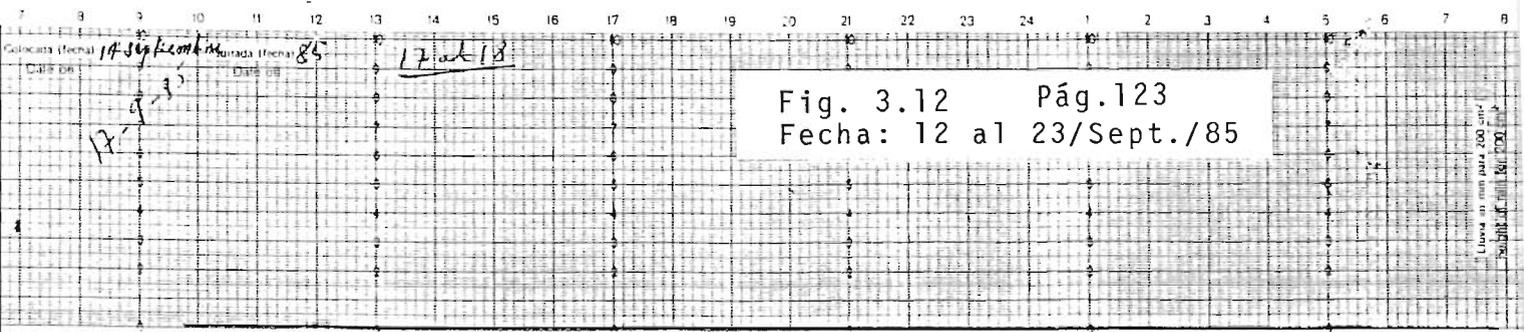


Fig. 3.13 Pág.124
Fecha: 23 al 30/Oct./85

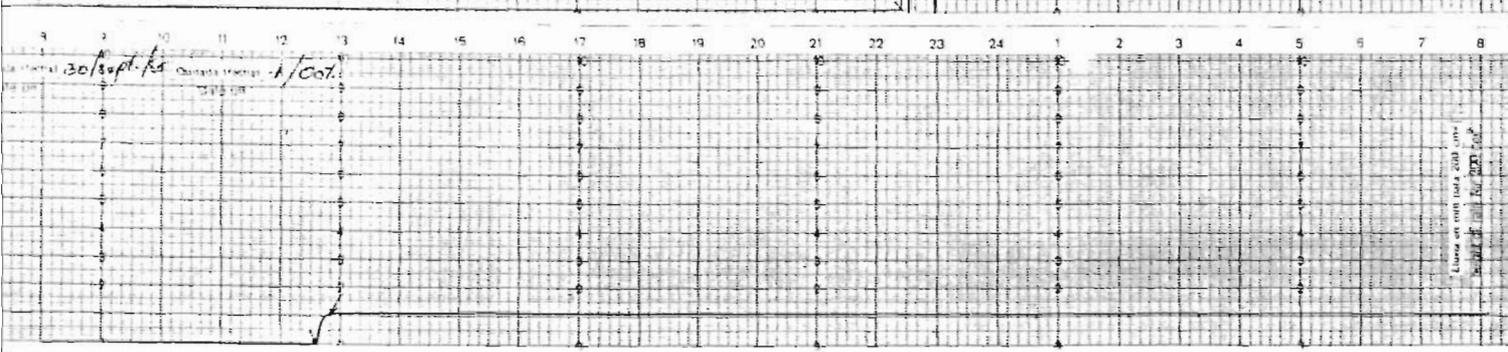
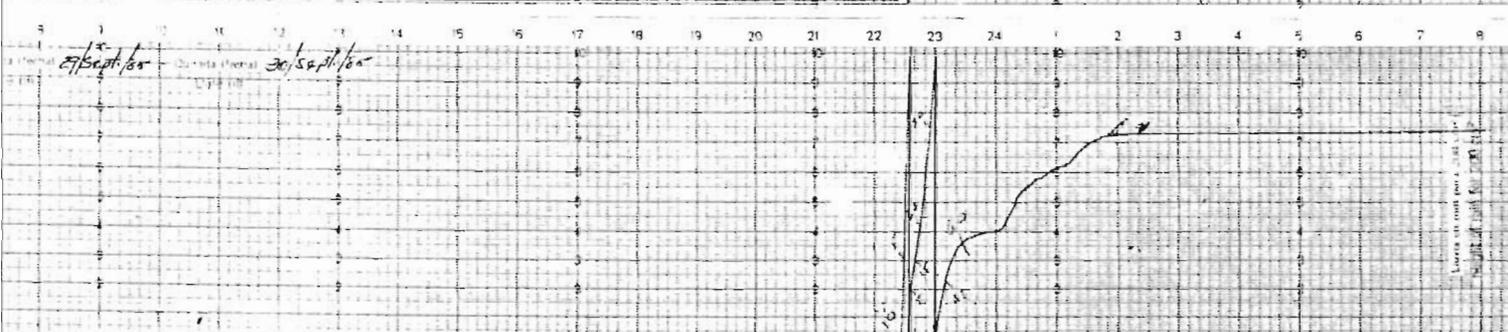
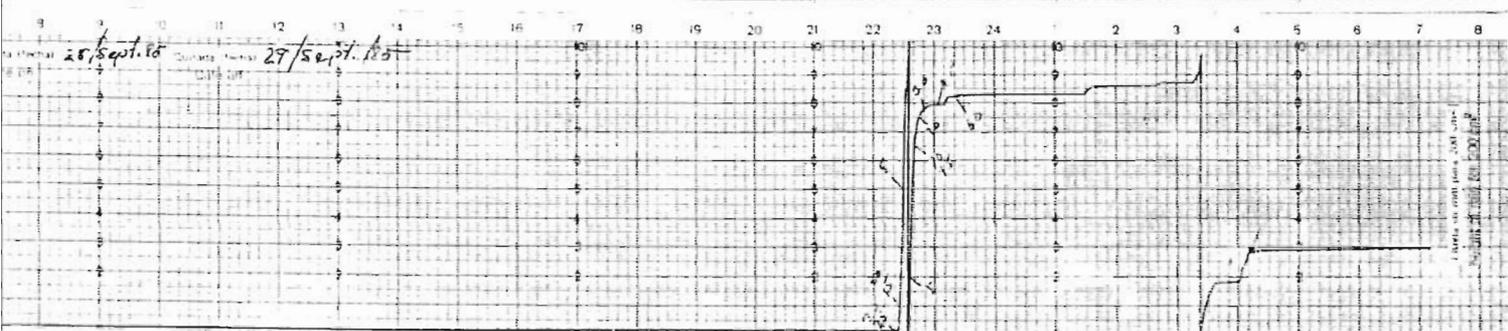
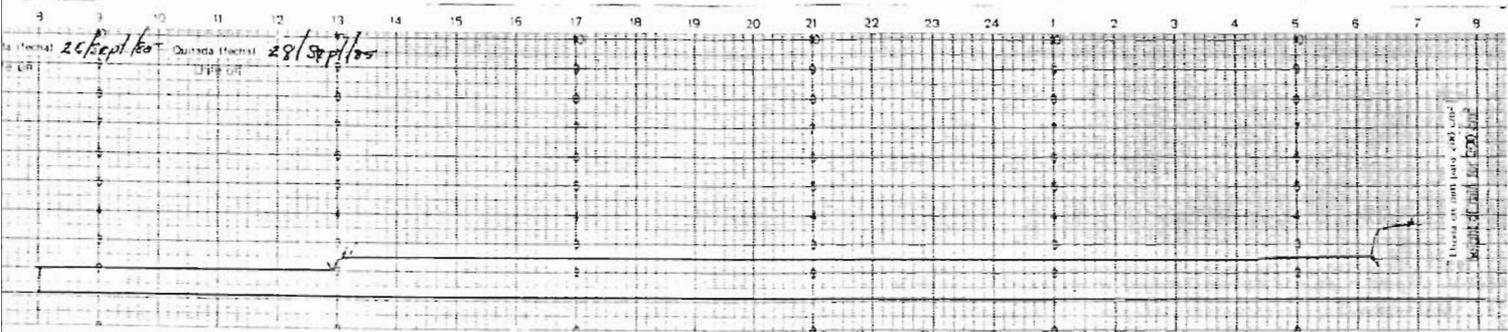
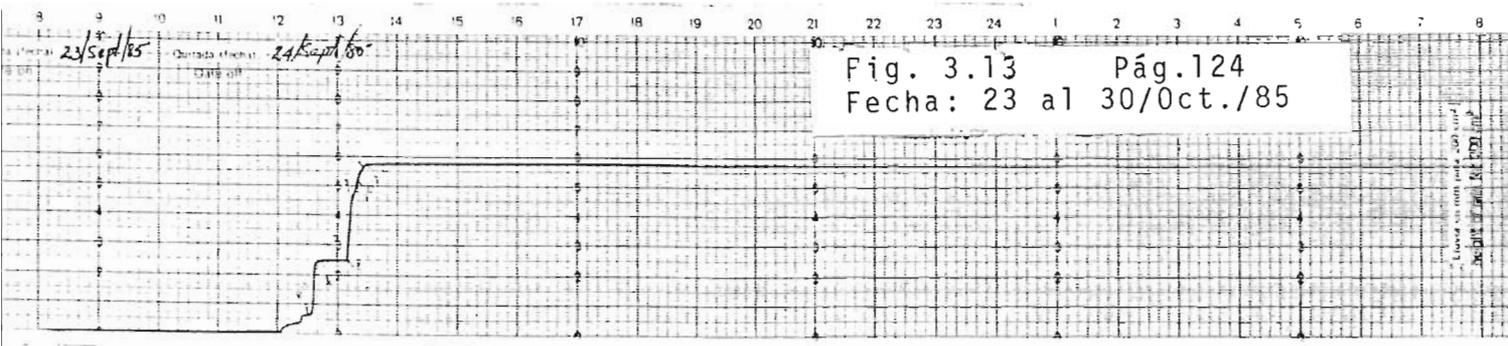


FIG. 3.14

Estación 0+00.0

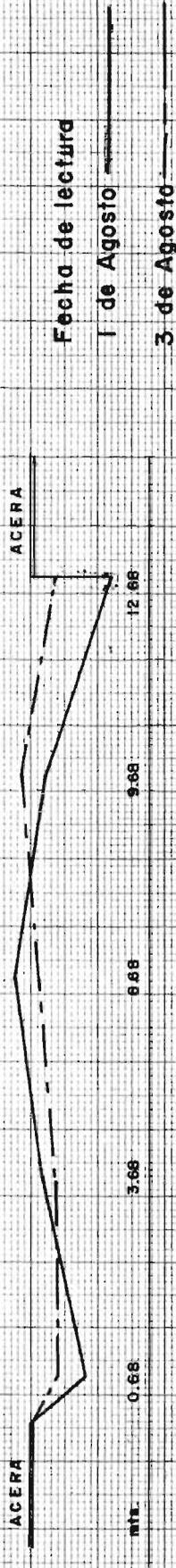


FIG. 3.15

Estación 0+058.50

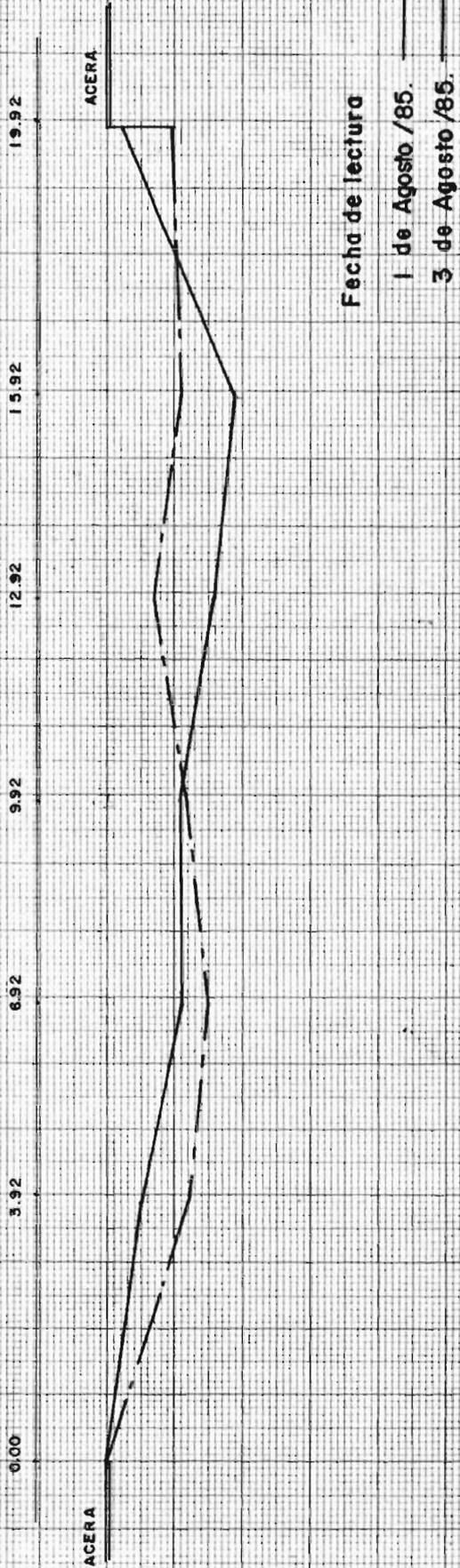


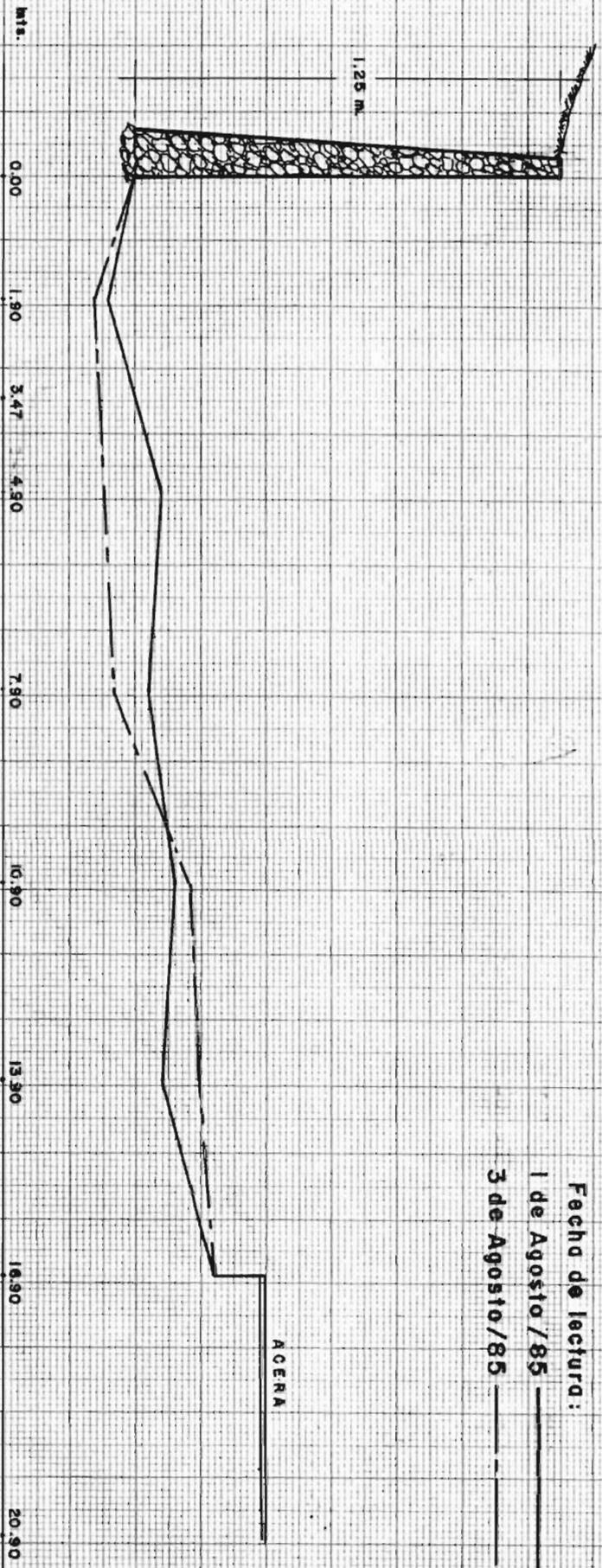
FIG. 3.16

Estación 0+109.25



FIG. 3.17

Estación 0+145.30



Fecha de lectura:

1 de Agosto /85

3 de Agosto /85

FIG. 3.18

Est. 0+196.75

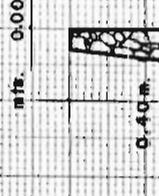
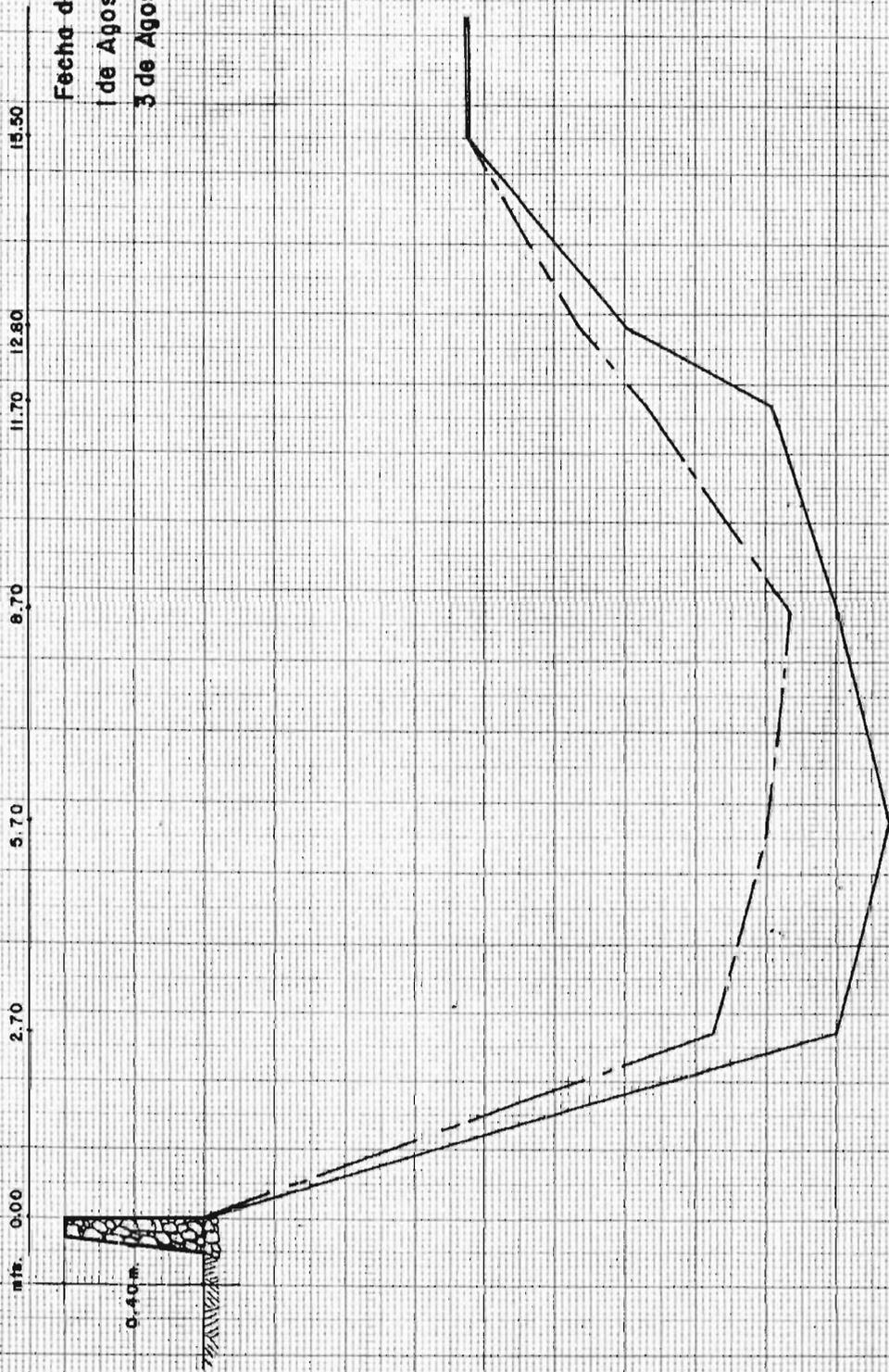


FIG. 3.19

Estación 0 + 331.72

mts. 0.00 1.90 2.20 3.00 4.40 7.40 10.40 13.40 17.30 18.40

Fecha de lectura:

1 de Agosto / 85

3 de Agosto / 85

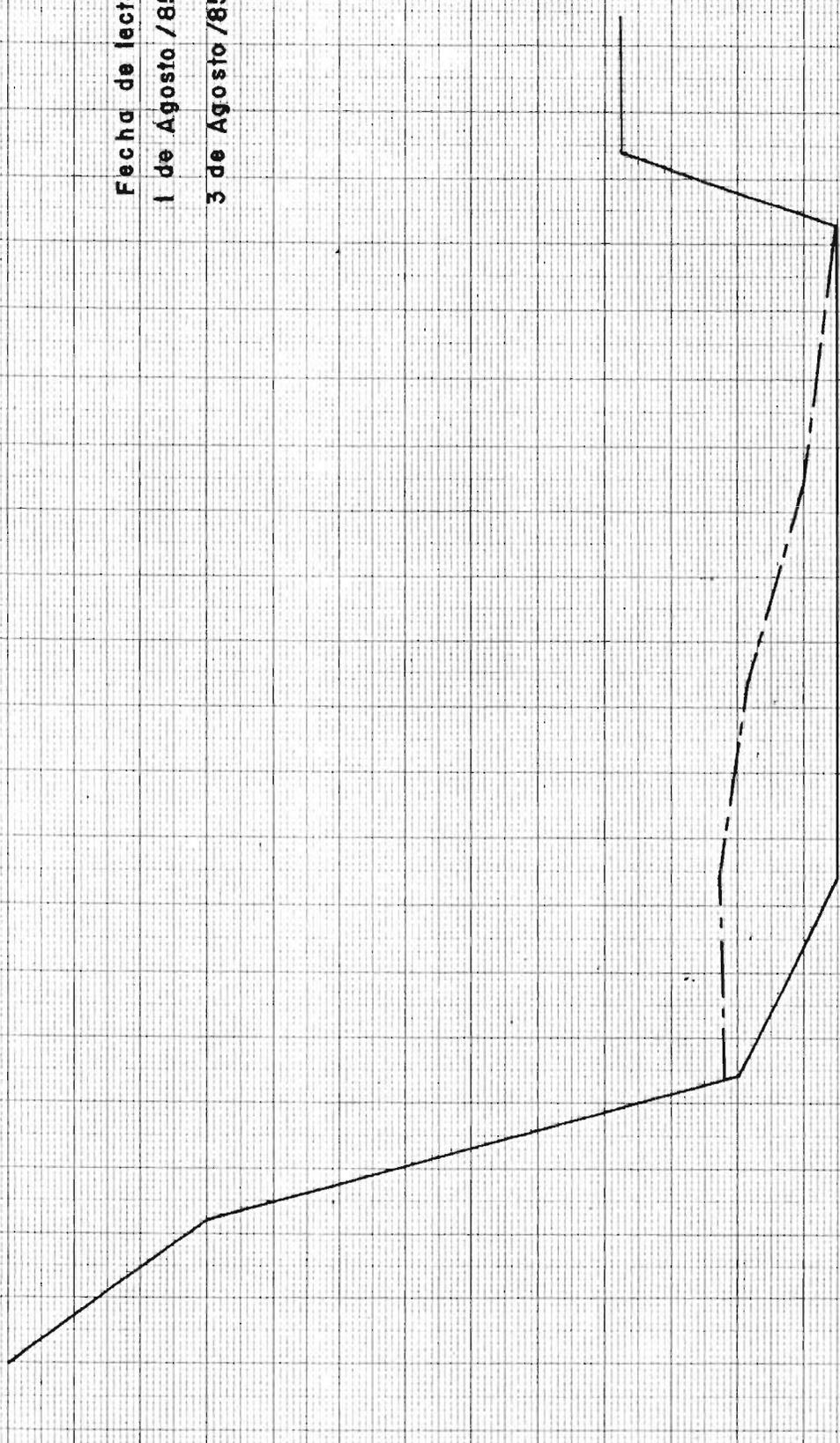


FIG. 3.20

Estación 0+575.35



Fecha de lectura:

1 de Agosto/85

3 de Agosto/85

FIG. 3.21

Estación 0+722.55

0.00 3.00 6.00 9.00 12.00 15.00 18.00 21.00

Fecha de lectura:

1 de Agosto/85

3 de Agosto/85

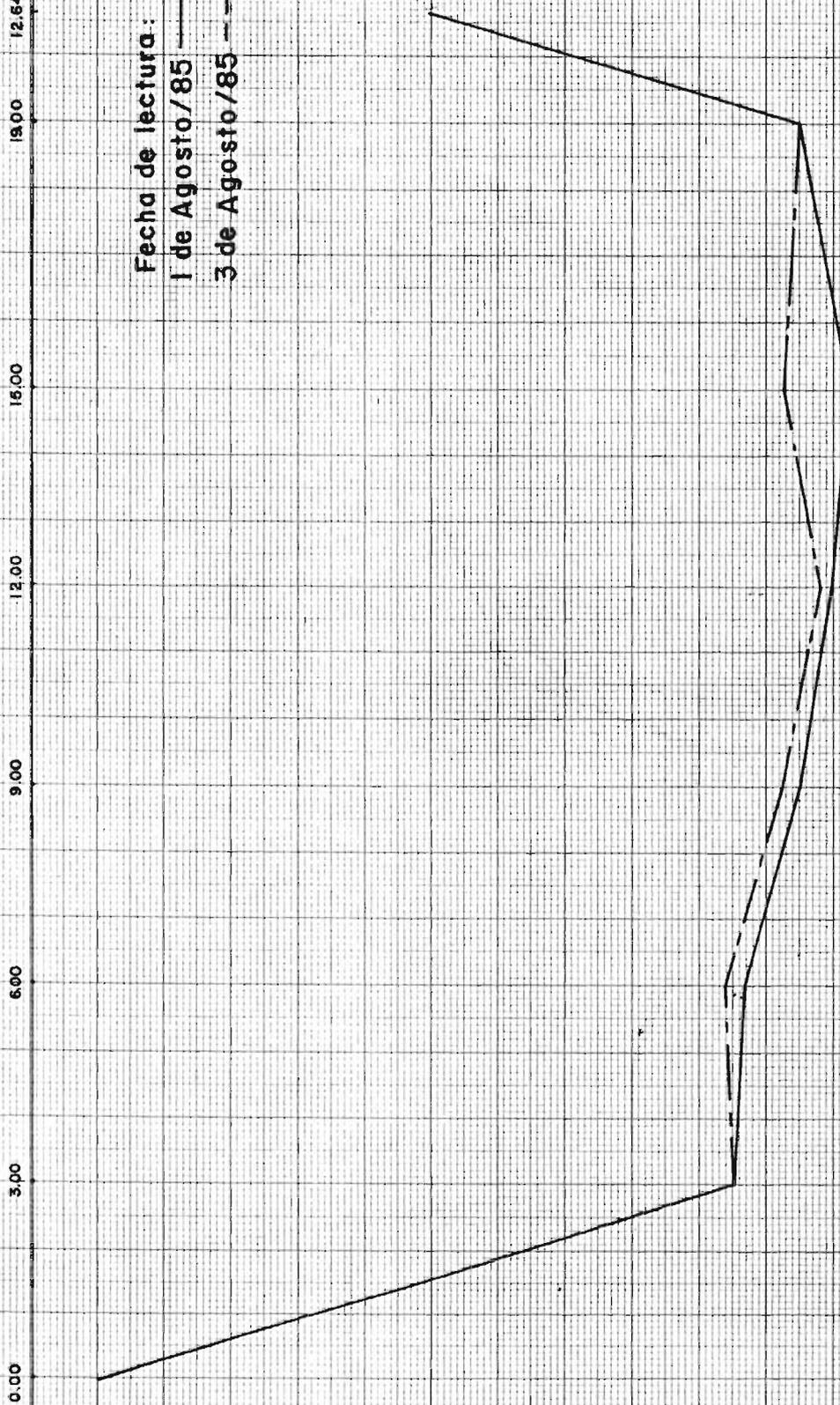


FIG. 3.22

Estación 0+800.75

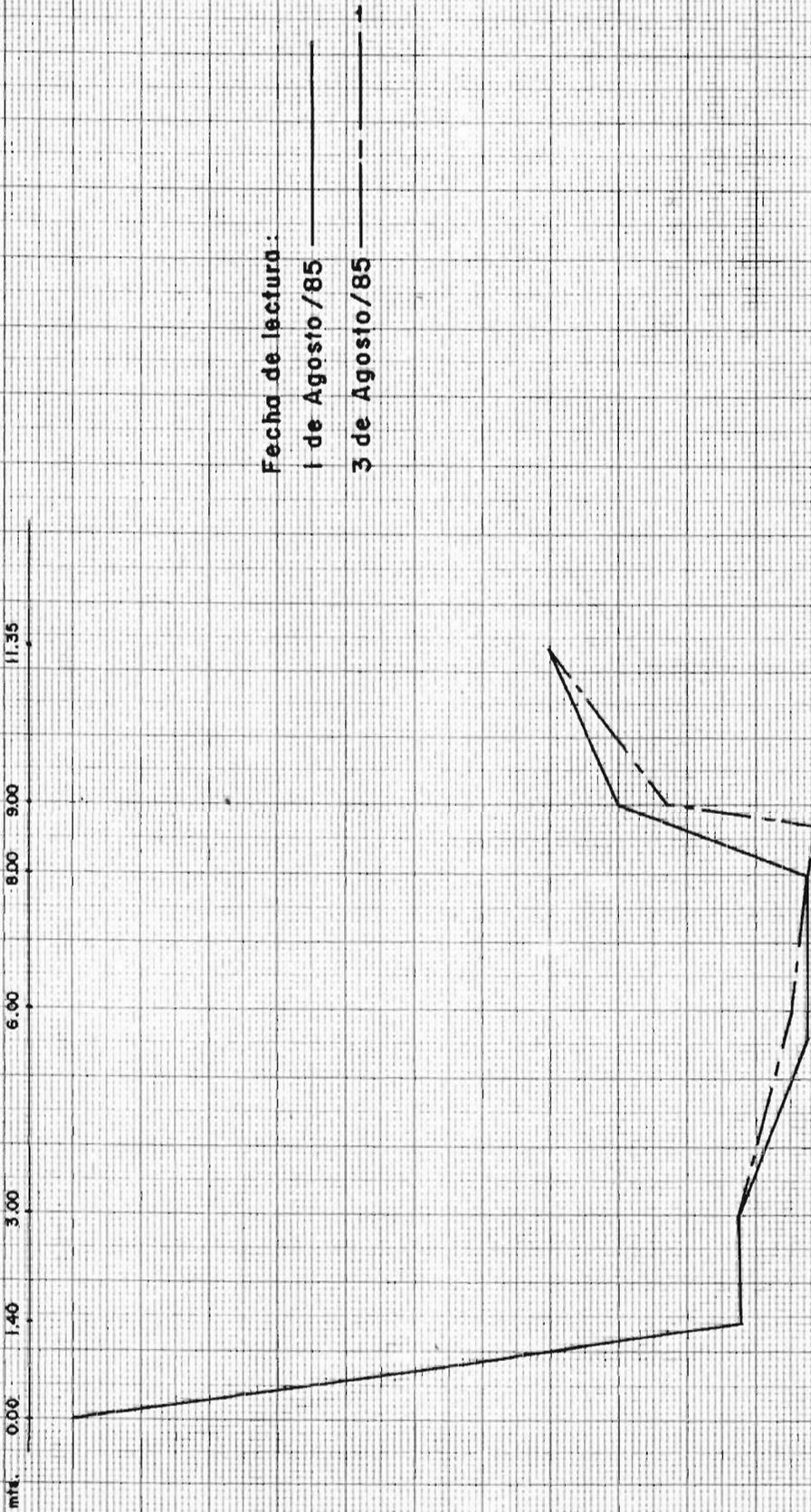
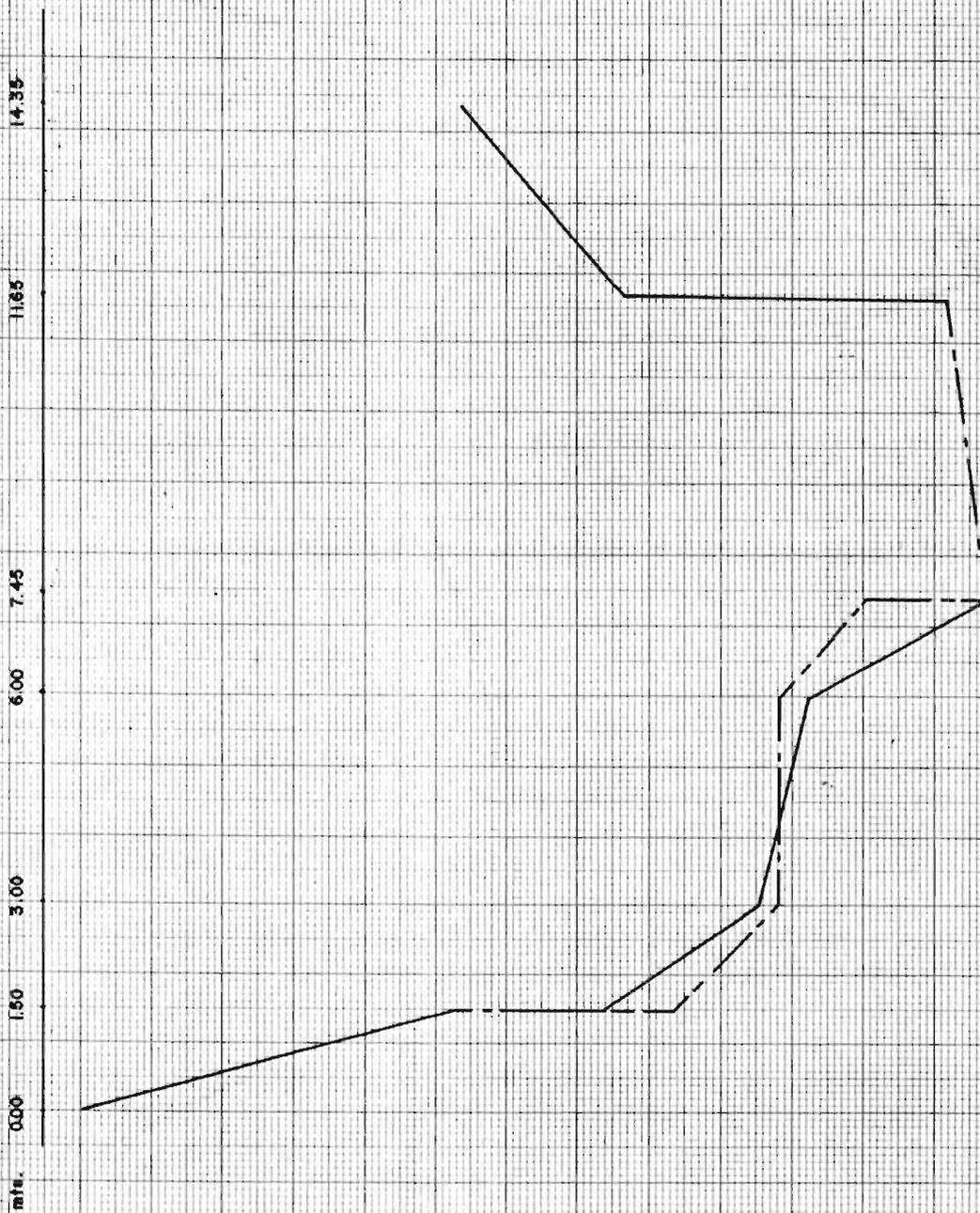


FIG. 3.23

Estación 0+853.35



Fecha de lectura:

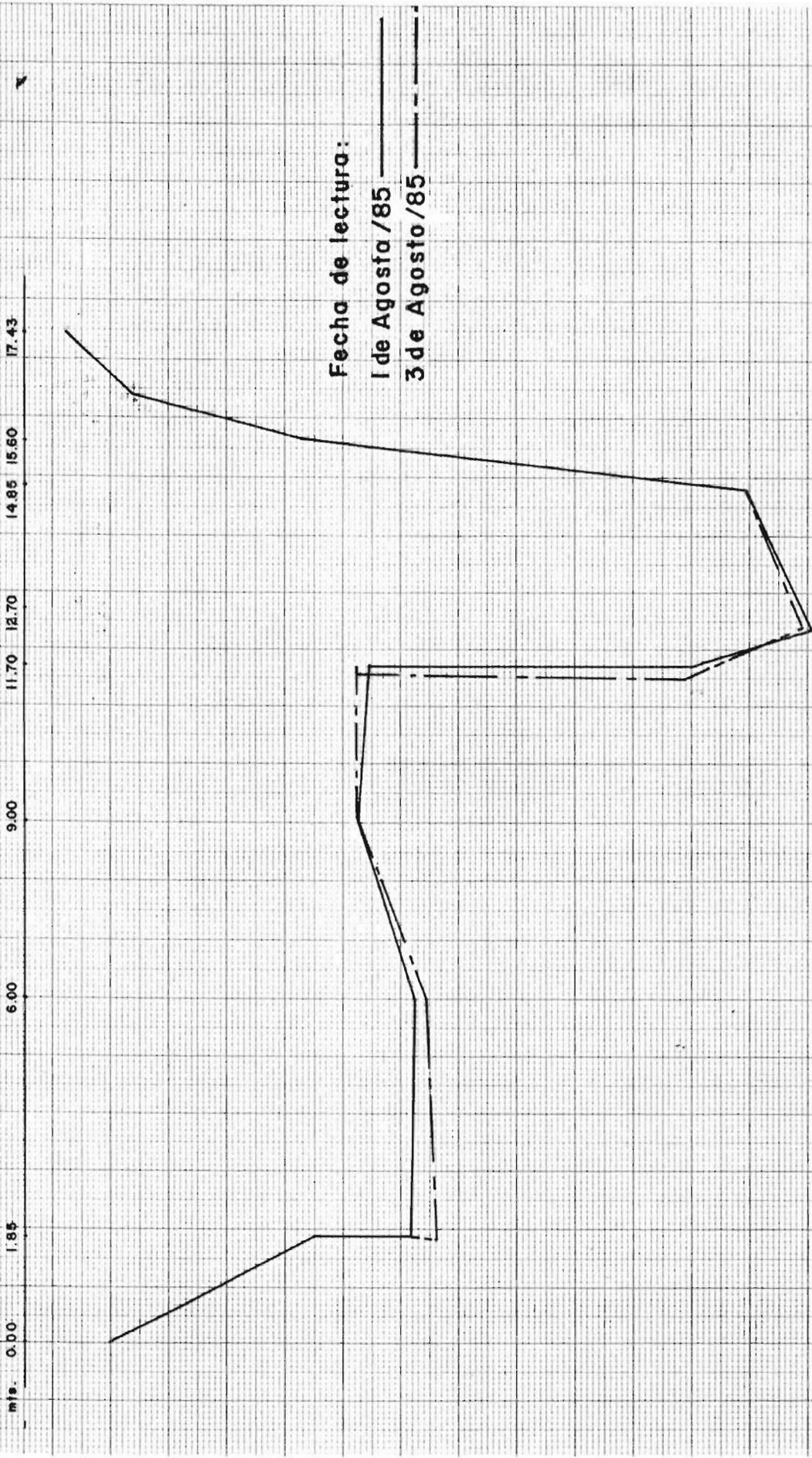
1 de Agosto /85.

3 de Agosto /85.

FIG. 3.24

Estación 0+912.15

m/s. 0.00 1.85 6.00 9.00 11.70 12.70 14.85 15.60 17.43

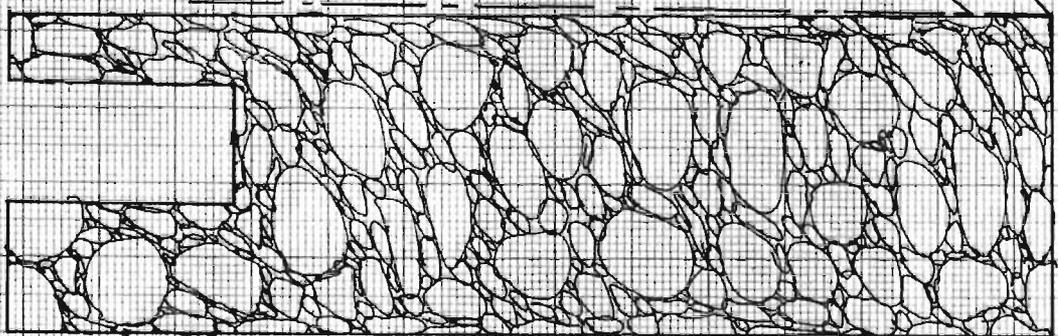


Fecha de lectura:
1 de Agosto /85
3 de Agosto /85

FIG.3.25

Estación | + 033.15

mte. 0.00 2.00 3.00 5.50 7.20 9.00 13.00 19.10 19.80 22.50



MURO GAVIÓN

Fecha de lectura:

1 de Agosto/85 .

3 de Agosto/85 -

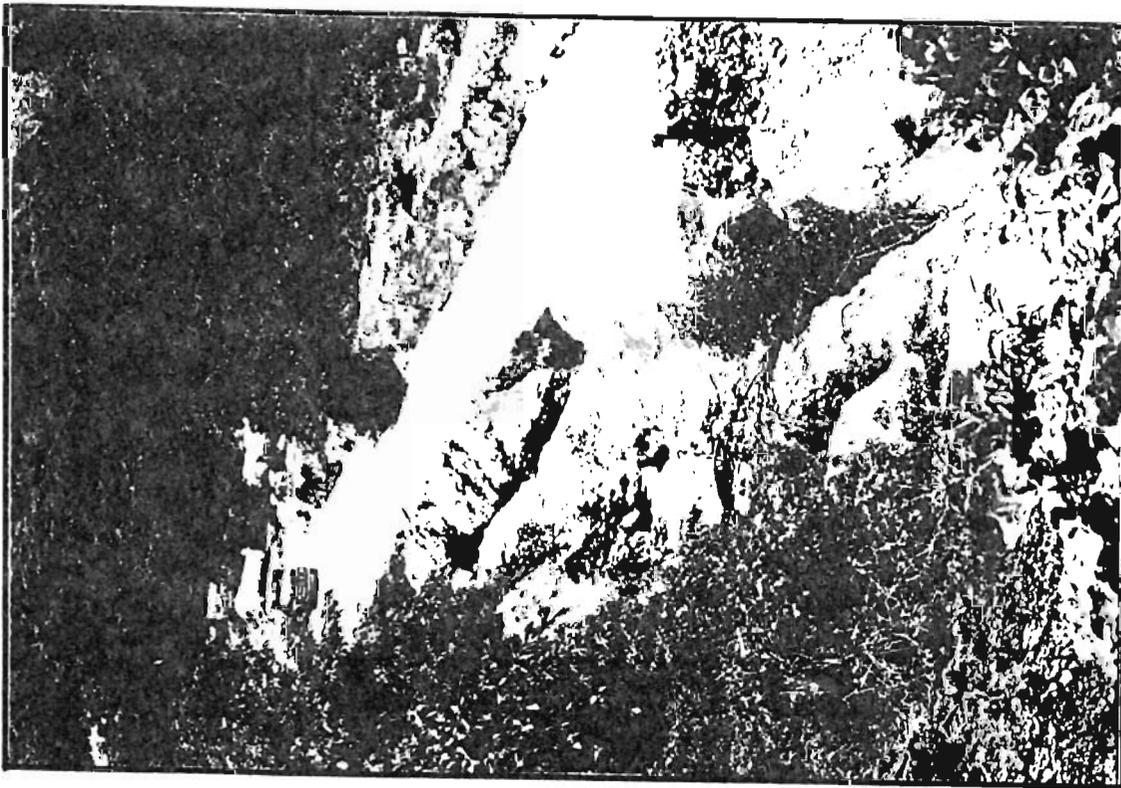
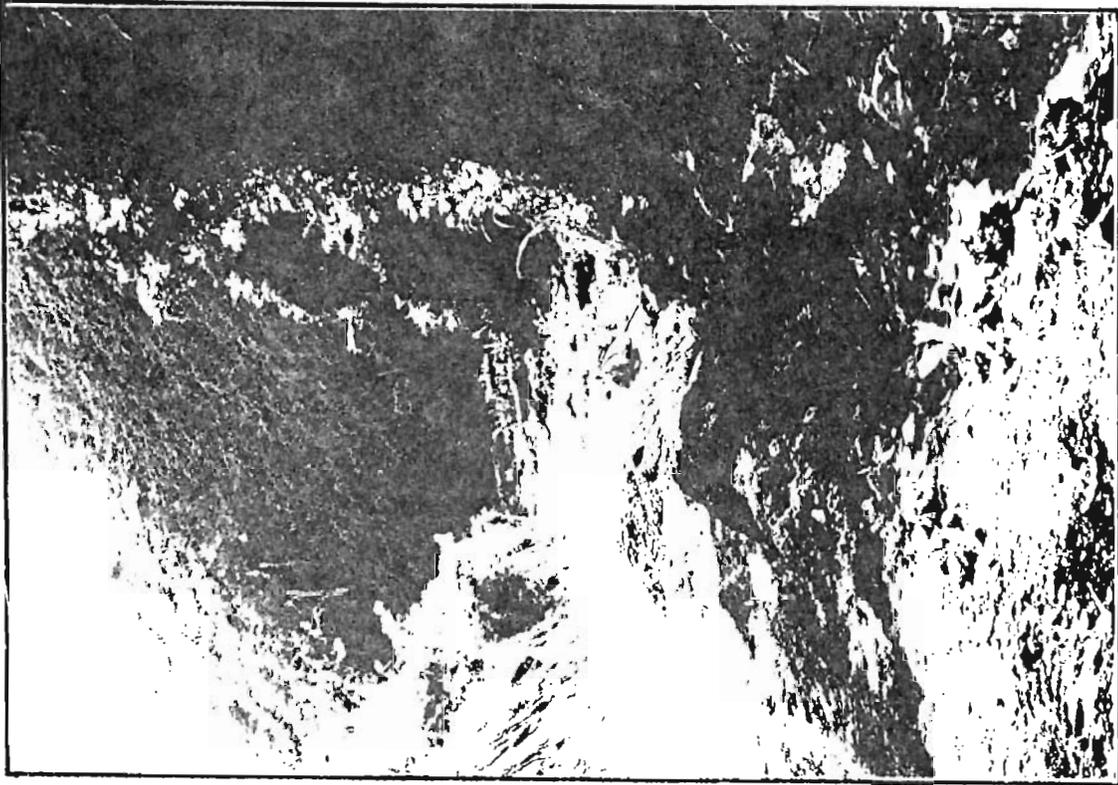


FIG.3.26a) Características de la sección de la calle quebrada El Guaje al inicio del invierno; se ha depositado roca sobre la calle para construir un gavión correctivo.



b) Ilustración obtenida al final del invierno; ha sido necesaria la construcción de obras y prolongación de las mismas; el gavión que se construía ha fallado en su lateral izquierdo y ha sido necesario prolongar su lateral derecho.



b) La misma sección de la figura anterior, pequeño surco en la margen derecha de la calle, a esta altura las obras de protección han disminuido en gran parte la velocidad de la escorrentía.

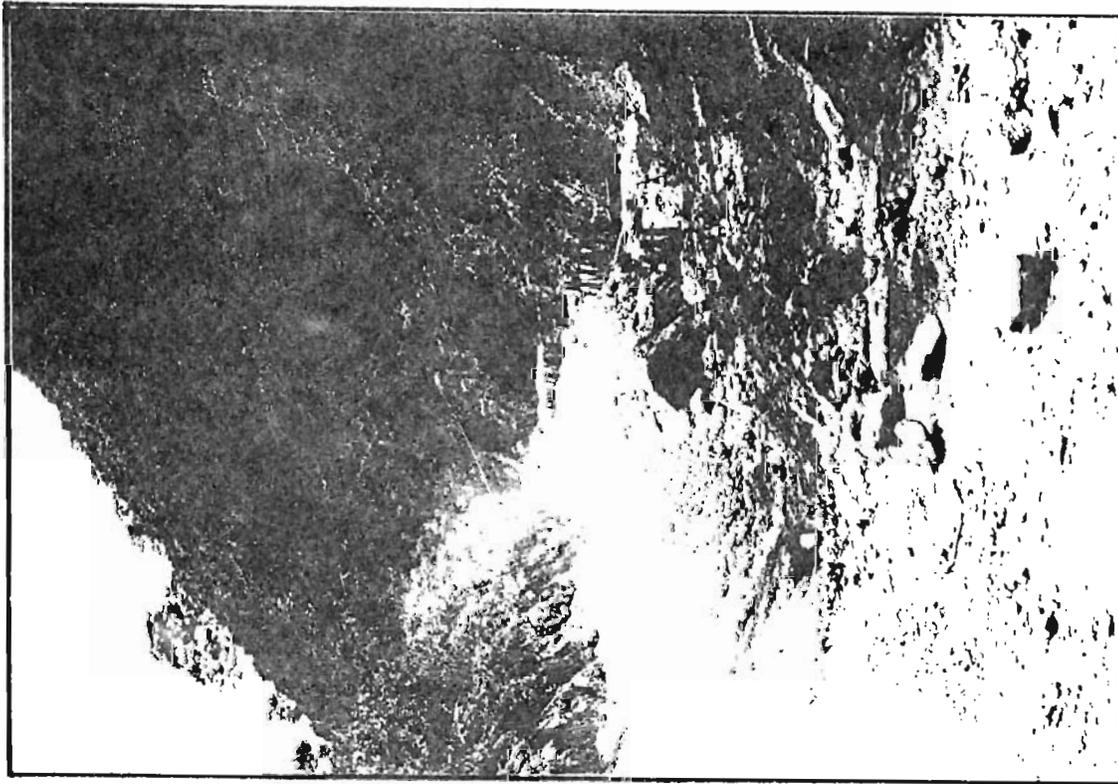


FIG. 5.27a) La sección que se muestra es a la altura de la estación 1+660, cerca de la trinchera a principios de invierno, donde la escorrentía se concentra en la margen derecha de la quebrada.

CAPITULO IV

"PROCESO, EVALUACION Y CONTROL DE LA SEDIMENTACION
Y EROSION HIDRICA"

CAPITULO IV

PROCESO, EVALUACION Y CONTROL DE LA SEDIMENTACION Y EROSION HIDRICA.

4.1 SEDIMENTACION

La sedimentación es parte integral del proceso de erosión; solamente puede ser transportado el suelo desprendido, siendo el grado de desprendimiento un factor limitante de la erosión.

Se puede definir como sedimento desde el punto de vista geológico a "cualquier material fragmentado transportado por, suspendido en, o depositado por, el agua o el aire".^{1/}

Partiendo de las necesidades de este trabajo únicamente consideraremos los sedimentos transportados por el agua; sin embargo, se hace notar que el movimiento producido por el aire puede ser muy importante bajo ciertas condiciones, pero no directamente desde el punto de vista hidrológico.

Se puede hablar de la sedimentación como un fenómeno principalmente superficial, ya que aunque el agua al infiltrarse en el suelo arrastra pequeñas cantidades de partículas muy finas, comparativamente sobre la superficie se mueven cantidades mucho mayores de sedimento.

^{1/} Applied Hydrology-Linsley, Kohler, Paulhus Mc Graw Hill, 1949.

Las partículas transportadas por las corrientes de agua superficial se forman al precipitarse la lluvia y deshacer los agregados que se encuentran sobre la superficie del terreno formando pequeñas partículas de suelo. Estas partículas son arrastradas por el agua superficial y transportadas a las partes más bajas.

El agua continúa desintegrando las partículas de suelo durante el transporte. La velocidad de la corriente de agua disminuye al llegar a cauces naturales o artificiales, y consecuentemente las partículas más pesadas se depositan en el fondo de cauce, sin embargo, si la velocidad de escurrimiento aumenta, las partículas ya depositadas pueden ser de nuevo arrastradas por la corriente.

Los dos aspectos fundamentales del transporte de sedimento son la velocidad de asentamiento de las partículas y las leyes del movimiento de los fluidos. La propiedad más fundamental de una partícula en relación con su comportamiento durante el transporte, es su velocidad de asentamiento. Tal propiedad es determinada por el tamaño, la esfericidad y la densidad de la partícula.

Las leyes físicas que rigen el asentamiento de las esferas son bastante conocidas, siendo su teoría aplicable a las partículas irregulares. Existen dos leyes de asentamien

to una aplicable a las partículas finas y la otra a las partículas gruesas; para las pequeñas puede utilizarse la Ley de Stokes, que demuestra que la velocidad de asentamiento (\mathcal{V}) es proporcional al cuadrado del diámetro de la partícula:

$$\mathcal{V} = C_1 d^2$$

En donde la constante C_1 , representa la densidad de la partícula, la densidad del fluido, aceleración de la gravedad y viscosidad del fluido.

Si la esfera es demasiado grande para que su velocidad de asentamiento sea regulada por la viscosidad del fluido, la resistencia a su movimiento es proporcional al producto de la densidad de la esfera, el cuadrado de su diámetro y el cuadrado de su velocidad; demostrando la ley de impacto, que para las partículas grandes la velocidad de asentamiento es proporcional a la raíz cuadrada del diámetro de la partícula:

$$\mathcal{V} = C_2 \sqrt{d}$$

Representando C_2 , las mismas constantes que representa C_1 .

En conclusión se tiene que las partículas pequeñas, principalmente de limo y arcilla, se asientan en condiciones de resistencia viscosa, mientras que las más grandes,

arenas y guijarros, se asientan en condiciones de inercia. Siendo el tamaño de la partícula un elemento importante de la textura en las rocas debido a su relación con las condiciones dinámicas del transporte y sedimentación.

Los sedimentos se clasifican atendiendo a las siguientes características: peso específico, tamaño, forma, composición mineralógica, color y otros aspectos.

CUADRO 4.1
CLASIFICACION POR TAMAÑO

TAMAÑO	NOMBRE	OBSERVACIONES
$D < 0.5\mu$	Coloides	Siempre floculado
$0.5 < D < 5\mu$	Arcilla	Parcialmente floculado
$5\mu < D < 64\mu$	Limo	Partículas individuales no floculadas
$64\mu < D < 2.0 \text{ mm.}$	Arena	
$2.0 \text{ mm.} < D$	Grava, canto rodado	

4.2 EROSION

La erosión se define como el desgaste continuo de la superficie del terreno. Agentes de erosión son el agua, el aire, el hielo y la gravedad. La extensión de erosión y, consecuentemente, la cantidad de sedimento que se mueve sobre una cuenca varía grandemente de una área a otra, dependiendo de sus condiciones geológicas, climáticas, físicas, vegetativas y otras. Las actividades humanas, como la explotación de canteras, minas, excavaciones para edificios, construcción de carreteras, etc., tienen una importancia local.

La erosión natural o geológica es un proceso por el cual los productos primarios de la temperización de las rocas se transportan al lugar donde serán depositadas para formar sedimentos o suelos de transóрте. También existe la erosión acelerada, y ocurre cuando el hombre rompe el equilibrio del suelo con su medio ambiente colocándolo en condiciones de inestabilidad mecánica.

La cantidad de erosión que tiene lugar en una cuenca puede estimarse midiendo la cantidad de sólido transportado. Para cada suelo hay una tolerancia específica a la erosión, con suelo profundo y uniforme o un suelo anualmente enriquecido por nuevos depósitos sedimentarios, tendrá

una mayor tolerancia que un suelo superficial o con muy poco espesor; produciéndose daño permanente cuando el grado de erosión excede al grado de renovación del suelo siendo necesario conocer cuánta erosión puede permitir un suelo sin sufrir daño permanente.

Se ha dado en llamar erosión geológica, al suavizamiento de la corteza terrestre por la acción del agua y del viento, que tienden a equilibrar los levantamientos de la corteza terrestre, siendo en gran parte responsable de la forma presente de la superficie de la tierra.

4.2.1 Clases de Erosión

Existen diferentes clases de erosión, tales como: lavado, erosión superficial, deslizamiento y arrastre del suelo, Eólica e hidrúa.

Lavado:

La solución de minerales y materia orgánica seguido por la percolación o movimiento lateral de las sustancias disueltas es probablemente la forma más efectiva de erosión geológica.

Deslizamiento y Arrastre del Suelo:

Cuando el terreno posee una pendiente pronunciada y se satura de agua, existe la posibilidad de que se produz-

ca un deslizamiento. Ocurre especialmente cuando una masa de suelo muy permeable está sobre un estrato impermeable como arcilla o roca.

Superficial:

En el transporte del suelo expuesto y de las rocas, se produce en cualquier parte de la superficie de la tierra, que no está protegida por la vegetación, siendo susceptible de ser atacada por el agua o el viento.

Eólica:

Ocurre principalmente donde la tierra no está cubierta por la vegetación, o sea en desiertos y zonas áridas o deforestadas, a lo largo del litoral y en las zonas de inundación de los ríos donde el agua arrastra abundante material del suelo.

Hídrica:

Esencialmente los componentes de la erosión son el desprendimiento de partículas y su transporte.

El desprendimiento se produce por el impacto de las gotas de lluvia, ejerciendo su acción erosiva, denominada erosión por salpicaduras, la cual proyecta las partículas en el aire. Las gotas de lluvia que caen a través de la

atmósfera sufren cambios en su tamaño, por condensación o evaporación, variando los diámetros medios entre 0.055 mm. a 4.0 mm. y cuya velocidad de caída puede oscilar entre 0.1 m/s a 9.0 m/s, siendo las lluvias más agresivas las de mayor poder destructivo. Si se considera que el transporte no es aquél producido por el impacto y desprendimiento de las partículas de los agregados y terrenos, sino aquel movimiento neto de suelos cuando es transportado por la escorrentía de un lugar a otro. Entonces, para que haya transporte debe haber escorrentía y ésta sólo se produce cuando la velocidad de ingreso del agua en el suelo es menor que la velocidad con que el agua es precipitada de la atmósfera (infiltración e intensidad de la lluvia).

4.2.2 Tipos de Erosión Hídrica

Cuando hay desprendimiento y transporte de partículas de suelo, según las condiciones, se presentan diversos tipos de erosión:

4.2.2.1 Erosión Laminar:

La erosión laminar consiste en una remoción de delgadas capas de suelo, extendidas uniformemente en toda una superficie. Apartando grandes cantidades de sedimento a

los cauces de agua, siendo por esta razón altamente perniciosa, permaneciendo a veces totalmente oculta, generalmente tiene lugar en los suelos desprovistos de vegetación, como lo evidencia el hecho de que en tales suelos las aguas se ven fluir más o menos lodosas. Los terrenos de suelo superficial que descansan en un sub-suelo impermeable, y en general, todos los suelos de poca cohesión y de escaso contenido de materia orgánica, son las que presentan las condiciones más críticas para este tipo de erosión. La porción del suelo que sufre primeramente los efectos es la más liviana, de menor peso específico y que ofrece menor resistencia.

Este tipo de erosión, para nuestra área de estudio, se presenta en todo el trayecto de la calle-quebrada "El Guaje"; el suelo es disgregado por el impacto de las gotas de lluvia, pero sobre todo por procedimientos mecánicos, el cual es arrastrado por la escorrentía superficial.

4.2.2.2 Erosión Interna

Como resultado del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, es el lavado de las partículas, hacia las grietas y poros del suelo. En esta forma el suelo se vuelve menos permeable al agua y aire.

Este tipo de erosión disminuye la capacidad de infil-

tración teniendo como consecuencia, el incremento de la escorrentía y erosión superficial.

4.2.2.3 Erosión en Surcos o Canales

El tipo de erosión por surcos, se produce al ocurrir concentraciones de la corriente con una potencia erosiva capaz de producir cortes y formar canículos en el terreno, orientados normalmente perpendiculares a las curvas de ni vel.

La concentración de las aguas al escurrir por la superficie obedece fundamentalmente a las irregularidades y desniveles del terreno. La presencia de algunos obstáculos en la corriente, como rocas y matas de vegetación aisladas, etc., motiva que el agua no escurra uniformemente, separando y concentrando la escorrentía en algunos puntos.

El arrastre laminar afecta a los elementos finos, y al desaparecer éstos de la superficie se origina un predominio de elementos gruesos y una formación de irregularidades superficiales que serán la causa de esta nueva forma de erosión.

Los daños causados por la erosión en surcos pueden ser muy graves, sin embargo, puede actuarse a su debido tiem po y hacer las correcciones oportunas que eviten una mayor

propagación.

4.2.2.4 Erosión en Cárcavas

Se producen generalmente cuando hay gran concentración de la escorrentía en una zona determinada, velocidad y volumen de magnitud considerable, lo que provoca cortes en el terreno que con el transcurso del tiempo y al intensificarse la acción erosiva se amplía ocasionando cárcavas o zanjones de gran dimensión.

No obstante, es de hacer notar, que en áreas donde no se ha producido fenómenos erosivos, la violencia de las precipitaciones juntamente con las condiciones propias del terreno, pueden provocar que se forme una cárcava en el transcurso de un aguacero.

La sección transversal de la cárcava o zanjón, si los estratos del suelo son de consistencia uniforme, puede adoptar la forma de U; si al profundizar se aumenta la resistencia de las capas, las paredes se inclinarán, tomando la sección la forma de V.

La erosión por cárcavas es más llamativa que la erosión laminar, y por tal motivo se le da una mayor importancia; sin embargo, es la erosión laminar la de mayores repercusiones, ya que además de estar más extendida y oculta, establece las condiciones propicias para la formación de

surcos y erosiones más profundas.

No se puede establecer una frontera entre los tres tipos de erosión antes mencionado, pero sí se puede establecer que sobre todo se deben al desprendimiento de partículas por la energía del flujo, y no por el impacto de las gotas de lluvia.

4.2.2.5 Corrientes de Lodo

Se presenta en el período de grandes lluvias, cuando el suelo se satura y si se encuentra en pendientes pronunciadas y no sujeto por la vegetación, una masa superficial puede escurrirse hacia partes más bajas, como un fluido viscoso, llamándose esta forma de erosión corrientes de lodo.

4.2.2.6 Deslizamiento

Los deslizamientos se presentan en dos formas, superficiales y de fondo.

Deslizamiento superficial, se sucede cuando capas de suelo más o menos profundas retienen grandes cantidades de agua, incrementando así el peso de la masa del suelo, éste pierde la estabilidad dando como resultado un resbalamiento de la capa de suelo hacia partes más bajas.

Deslizamiento de fondo, puede ocurrir si una capa de suelo permeable, descansa sobre una de naturaleza arcillosa. El agua al escurrirse se detiene en la masa arcillosa y forma entre las dos capas, un plano lubricante, dando lugar a que los materiales que se encuentran sobre él, puedan deslizarse si se rompe el equilibrio entre el rozamiento y la componente de las fuerzas en el sentido del movimiento.

4.2.2.7 Reptación.

Se produce cuando al variar la cantidad de agua en la parte superficial del terreno, se expande, y se retrae en los períodos secos; esto provoca un desplazamiento del suelo en la dirección de la pendiente.

4.2.2.8 Erosión en Túnel.

Se manifiesta por hundimiento y deslizamientos, los cuales son consecuencia de flujos subterráneos, que por disolución dejan cavernas.

4.3 EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA

4.3.1 Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo de Wischmeier

Combinando el efecto de los diversos factores que intervienen en la erosión de los suelos, se desarrolló la llamada "Ecuación Universal de Erosión"; en ella se incor -

poran observaciones y resultados experimentales logrados en más de 20 años y tiene valor como aproximación empírica a la predicción de la erosión que ocurrirá bajo determinadas condiciones. Su uso, sin embargo, debe ser cuidadoso buscando más bien, a través de él, ampliar las bases para valorar preliminarmente situaciones generales.

La ecuación universal de erosión expresa las pérdidas de suelo, en peso, por unidad de superficie y de tiempo, que ocurrirían al presentarse una combinación determinada de condiciones en un terreno. En el sistema métrico se trabaja con toneladas de suelo perdido por hectárea y por año.

El modelo de predicción de pérdida de suelo es:

$$A = R K L S C P$$

Donde la pérdida de suelo por erosión (A) en Ton/Ha x año es igual al producto de los siguientes factores:

R : Capacidad erosiva de las lluvias

K : Erodabilidad de los suelos

L : Longitud de la pendiente, mts.

S : Inclinação de la pendiente, %

C : Cobertura y el manejo de los suelos

P : Prácticas de conservación

La Capacidad erosiva de las Lluvias

La capacidad erosiva de las lluvias se expresa por medio del factor R de la ecuación universal. El Factor R, también llamado "INDICE DE EROSION", es un promedio anual y representa a la suma de ciertas características de las lluvias individuales que tienen relación directa con la erosión: La Energía (E) y la intensidad máxima de treinta minutos de cada lluvia (I_{30}).

Basado en información sobre la distribución de diámetros de gotas de lluvia en función de la intensidad y la velocidad terminal de las gotas; Wischmeier y Smith, determinaron una relación entre la energía y la intensidad:

$$Y = 210.3 + 89 \log_{10} I$$

Donde la energía instantánea (Y) en función de la intensidad de la lluvia (I, cm/hora) se expresa en toneladas-metro por hectárea por centímetro de lluvia.

Procedimiento para el Cálculo de R.

De un pluviograma se registran las alturas de agua caídas y tiempos en que la curva cambia de pendiente, por diferencia se calculan los intervalos de tiempo y alturas, la intensidad correspondiente y la energía por cm. y por período. La suma de los incrementos de energía en toda la lluvia constituye el valor de E. Luego se determina el valor de $I_{30/100}$ constituye el valor EI o índice de erosión

de la lluvia. La suma de los valores EI para todas las lluvias en el año es el factor R.

Además del valor promedio anual de R, interesa obtener, para cada localidad, la distribución mensual promedio del índice de erosión. Esta distribución es importante porque las lluvias no son igualmente erosivas en todo el año.

El índice de erosión EI se utiliza con expresión de la capacidad erosiva de las lluvias, después de haber analizado, entre un gran número de datos de erosión con varias otras características de las lluvias. Se encontró que EI explicaba cerca del 90 por ciento de la variación en los valores de pérdida de suelo. El índice de erosión se calcula utilizando todas las lluvias que exceden o igualan un centímetro de altura de agua y se considera independientes cuando están separadas por períodos de seis horas o más. Los datos se obtienen de pluviogramas de registro diario o semanal en los que pueden identificar períodos de treinta minutos como mínimo.

CUADRO 4.2

CALCULO DEL INDICE DE EROSION DE LA LLUVIA REGISTRADA EN EL PLUVIOGRAMA DE LAS FIGURAS 3.1 a 3.13

Fecha: 2/Agosto/85

Ton-m/Haxcm.

Tiempo T (min)	Lectura h (cms)	Incremento Ah (cms)	Intensidad $I = \frac{h}{t} \times 60$ (cm/hr)	Energía Y Ton-m/Haxcm	Incremento de energía $Y = Y \times h$ ton-m/Ha.
5	0.71	0.71	8.52	293	208
5	1.21	0.50	6.00	280	140
5	1.71	0.50	6.00	280	140
5	1.96	0.25	3.00	253	63
10	2.31	0.35	2.10	239	84
15	2.65	0.34	1.36	222	76
15	2.77	0.12	0.48	182	22
ENERGIA TOTAL (E) PARA ESTA LLUVIA				=	733

$$Y \text{ (ton-m/Haxcm)} = 210.3 + 89 \log_{10} I.$$

$$\text{Intensidad máxima de 30 minutos (I}_{30}\text{)}: 2.31 \frac{\text{cm}}{30 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr.}} = 4.62$$

: 4.62 cm/hr

$$EI = \frac{E \times I_{30}}{100} = \frac{733 \times 4.62}{100} = 33.86$$

$$EI \approx 34$$

La Erodabilidad de los Suelos (K)

La erodabilidad es la capacidad del suelo para erosionarse. El valor depende de las características que afectan la infiltración, permeabilidad y almacenamiento de agua, además de aquellas como las de resistencia a la dispersión, impacto, abrasión y arrastre.

Para la determinación del factor K se recomienda dos procedimientos alternativos.

a) Utilizar la ecuación siguiente:^{1/}

$$K = 0.010356 - 0.00378082 (\% \text{ arena}) + 0.00232882 (\% \text{ limo}) + 0.323545 (\text{densidad aparente gr/cc}).$$

Los límites de las fracciones texturales son:

Arena, entre 0.05 y 2.0 mm. de diámetro equivalente.

Limo, entre 0.002 y 0.05 mm. de diámetro equivalente.

Los análisis se hacen en muestras de suelo de los primeros veinte cms. de espesor.

b) Se determina experimentalmente por medio de la "PARCELA UNITARIA", pendiente 9%.

Vegetación: ninguna

Longitud: 22.13 m y

Labrada en el sentido de la pendiente.

^{1/} Paulet 1967.

En estas condiciones los valores: L, S, C y P valen 1 y la ecuación se reduce a $A = RK$. Si se mide A (peso arrastrado) y se determina R (factor de la lluvia) puede obtenerse el valor de K despejándolo.

Otro autor proporciona la siguiente fórmula:

$$K = 0.0276776 + 0.005740A + 0.418953 \quad (2)$$

La fórmula (1) está al 90% de probabilidad y la (2) está al 95%.

Existe un método gráfico^{1/} que es más aceptable, en el cual se redujo a cinco el número de variables necesarias para expresar con corrección el factor K.

Aplicando la ecuación 1, obtenemos los siguientes valores de K:

Banco de Acopio N° 1:

Arena: 21.97%

Limo: 5.61%

Densidad aparente: 2.7 gr/cc.

$$K = 0.010356 - 0.00378082 (21.97) + 0.00232882 (5.61) + 0.323545 (2.7).$$

$$K = 0.79$$

^{1/} Wischmeier W. H. Johnson, C.B.; and Cross B.V. 1971: A soil Erodibility nomograph for farmland and construction sites.

Journal of soil and water conservation. 26: 189-193.

Est. 0 + 624.15

Arena : 44.59 %
Limo : 7.09 % k = 0.73
Densidad aparente: 2.7 gr/cc.

Est. 822.15

Arena : 51.80 %
Limo : 6.54 % k = 0.70
Densidad aparente: 2.7 gr/cc.

Encontrando el valor de K, para las diferentes granulometrías, del material de la zona, se obtuvo un valor promedio $K = 0.75$.

El Factor de Prácticas de Control de la Erosión (P)

La protección que ofrecen los pastos o cultivos densos necesita complementarse con prácticas que reduzcan la velocidad de escorrentía aminorando su capacidad para transportar sedimentos. El factor (P) en la ecuación es la relación de pérdidas de suelo cuando se utiliza determinada práctica, con respecto a la pérdida de suelo cuando el cultivo es en el sentido de la inclinación de la pendiente.

Los estudios de campo indican que esta práctica provee protección casi completa contra la erosión cuando las lluvias son de moderada o baja intensidad.

CUADRO 4.3

VALORES DEL FACTOR (P) PARA CULTIVOS EN CONTORNO

PENDIENTES DEL TERRENO	VALOR P
1.1 a 2	0.60
2.2 a 7	0.50
7.1 a 12	0.60
12.1 a 18	0.80
18.1 a 24	0.90

Estos son valores promedios y pueden variar con el tipo de suelo, tipo de cultivo y patrón de lluvias.

Los Factores longitud e inclinación de la pendiente (LS)

El grado en que se produce la erosión por el agua es afectado en gran proporción por la inclinación y la longitud de la pendiente.

Los dos efectos han sido evaluados en forma independiente por la investigación y se representan en la ecuación de erosión por S y L respectivamente. En la aplicación de Campo de la ecuación, sin embargo, es conveniente considerar los dos como un solo factor topográfico.

El factor LS es la relación de pérdida de suelo que se

espera por unidad de área en una pendiente cualquiera y la pendiente del 9 por ciento de la parcela unitaria.

Cuando la ecuación se usa como guía para la selección de prácticas en el área donde se combinan varias pendientes en un solo campo, se debe considerar las características de pendientes del segmento significativamente más erosivo y determinar la relación de erosión, usando la fórmula:

$$LS = (0.0138 + 0.0096S + 0.00138S^2) \sqrt{\lambda}$$

Donde:

λ = Longitud de la pendiente del campo en metros.

S = Inclinação de la pendiente en %.

La longitud de la pendiente se define como la distancia entre el punto de origen del flujo del agua de escorrentía y cualquiera de los siguientes, según el que sea limitante para el área que se considere:

- 1.- El punto donde la pendiente decrece hasta el punto donde comienza a haber deposición.
- 2.- El punto donde la escorrentía entra a un canal bien definido que puede ser parte de un sistema de drenaje a un canal construido tal como una terraza o un canal de desviación.

CUADRO 4.4

CALCULO DEL FACTOR LS

MICROCUENCA	LONGITUD DEL CAUCE Lc	PENDIENTE % S	FACTOR LS	FACTOR P
1	350	57.14	94.81	0.95
2	375	54.66	90.97	0.95
3	250	46.00	53.37	0.95
4	212	35.37	30.28	0.95
5	50	80.00	67.98	0.95
6	50	30.00	10.92	0.95
7	200	40.00	36.85	0.95
8	100	90.00	120.56	0.95
9	50	40.00	18.43	0.95
10	175	45.71	44.13	0.95
11	65	23.07	7.82	0.90
12	75	53.33	38.54	0.95
13	25	40.00	13.03	0.95
14	100	25.00	11.16	0.95
15	150	56.66	61.09	0.95
16	250	12.00	5.18	0.60
17	600	30.83	39.72	0.95
18	250	48.00	57.78	0.95
19	200	40.00	36.85	0.95
20	300	43.33	52.32	0.95
21	450	15.55	10.54	0.80
22	375	9.33	4.33	0.60
23	300	15.00	8.11	0.80
24	100	25.00	11.16	0.95
25	300	30.00	26.74	0.95
26	50	10.00	1.75	0.60
27	150	10.00	3.03	0.60
28	300	10.00	4.29	0.60

MICROCUENCA	LONGITUD DEL CAUCE Lc	PENDIENTE % S	FACTOR LS	FACTOR P
29	125	6.40	1.47	0.50
30	150	13.33	4.74	0.80
31	125	16.00	5.82	0.80
32	50	20.00	5.36	0.90
33	50	10.00	1.75	0.60
34	25	20.00	3.79	0.90
35	200	5.00	1.36	0.50
36	125	16.00	5.82	0.80
37	150	13.33	4.74	0.80
38	100	20.00	7.58	0.90
39	175	14.28	5.72	0.80
40	75	20.00	6.56	0.90
41	770	4.55	2.39	0.50

- El Factor Cultivo - Manejo (C)

Los efectos de los cultivos y manejo de las tierras no pueden ser evaluadas independientemente debido a muchas interrelaciones implicadas. La protección de la cobertura no solamente depende del tipo de vegetación, de la densidad, de la calidad del crecimiento sino también varía grandemente con el mes y la estación. Las combinaciones diferentes de todas estas variables han de producir probablemente diferentes efectos en la pérdida de suelo.

Definición del Factor (C)

El factor (C), en la ecuación de pérdida de suelo es la relación de pérdida de suelo de tierras en condiciones específicas y la de arado continuo.

La pérdida de suelo que ocurriría en un determinado campo, si estuviera en arado continuo, se halla por el producto de los cuatro factores R K L S en la ecuación de erosión. La pérdida de suelo en un campo cultivado es mucho menor que esta cantidad y depende de la combinación particular de cobertura, secuencia de cultivos y prácticas de manejo. Depende igualmente del determinado estado de crecimiento y desarrollo del vegetal al momento de la lluvia.

Para determinar los valores de C apropiados a un lugar dado, es necesario conocer la probable distribución de las lluvias erosivas durante los doce meses del año. También es necesario conocer el grado de protección que da la cobertura y prácticas de manejo durante el tiempo en que ocurren las lluvias erosivas.

El uso actual de la cuenca es el siguiente:

CUADRO 4.5

NOMBRE	AREA (Ha.)	%	C
Bosques frondosos	16.50	17.96	0.30
Bosques secundarios	15.75	17.14	0.50
Bosques ralos	22.75	24.76	0.40
Matorral y cultivos limpios	3.25	3.54	0.30
Cárcava y Area de Influencia (Zona urbana)	33.64	36.61	0.80
TOTAL	91.89	100.00	

=====

Los valores de C, fueron encontrados utilizando los datos presentados en las Tablas 2.1, 2.2 y 2.3, y los porcentajes de área de cada zona:

$$0.30 \times 0.1796 = 0.054$$

$$0.50 \times 0.1714 = 0.086$$

$$0.40 \times 0.2476 = 0.099$$

$$0.30 \times 0.0354 = 0.011$$

$$0.80 \times 0.3661 = 0.2929$$

$$0.5421$$

Usaremos el factor ponderado de C = 0.54.

4.3.1.1 Cálculo de la Erosión utilizando la Ecuación Universal de Wischmeier

Utilizando las variables que intervienen en la Ecuación de Wischmeier y efectuando una clasificación de los datos presentados en el Cuadro 3.12, de las precipitaciones mayores de 10 mm., con un tiempo de duración de 30 minutos, siendo éstas las más agresivas, se han encontrado los volúmenes de pérdida de material para los períodos indicados, con una precipitación máxima promedio, éstos se han tabulado en el Cuadro 4.6. Los volúmenes erosionados en los días de mayor intensidad en los meses de Julio, Agosto y Septiembre se presentan en el Cuadro 4.7.

CUADRO 4.6: VOLUMENES PERIODICOS

MES	PERIODOS (Días)	PRECIPITACION Promedio Máxima Pp30	VOLUMEN m ³ /DIA
J U L I O	3 - 5	25	2639.94
	10 - 12	10.6	324.35
	17 - 19	10.03	347.50
	24 - 26	18.55	4029.78
	29 - 30	28.05	2965.40
	31 - 2	19.85	1325.95
A G O S T O	24 - 25	11.30	350.74
	26 - 27	16.70	1151.87
	2 - 3	27.20	470.90
S E P T I E M B R E	11 - 13	11.35	420.23
	14 - 15	13.97	701.48
	16 - 17	14.80	399.43
	18 - 20	11.80	398.07
	21 - 22	16.00	810.32
	28 - 29	22.75	2368.98

CUADRO 4.7: VOLUMENES DIARIOS

MES	FECHA	PRECIPITACION MAXIMA (mm.)	VOLUMEN m ³ /DIA
J U L I O	3	25	2639.94
	10	10.60	324.35
	17	13.50	563.02
	19	12.40	451.55
	25	34.00	4029.78
	29	21.50	1475.70
	30	34.60	4455.09
A G O S T O	2	23.10	1835.13
	9	10.60	269.39
	25	11.30	350.74
	27	25.50	2088.14
	30	10.70	340.93
S E P T I E M B R E	3	27.20	470.90
	12	14.10	735.44
	15	15.50	683.17
	16	14.80	399.43
	18	11.80	398.07
	22	16.00	810.32
	28-29	27.90	2368.98

4.3.2 Ecuación de Meyer-Peter y Müller

Originalmente (1934) era una fórmula para el cálculo del transporte del gasto sólido basada en experimentos con material de grano uniforme y peso específico (Pe).

$$Pe = 2680 \text{ kg/m}^3$$

Con estos datos fijos se establecieron las siguiente relaciones:

$$q \frac{2/3}{dm} S = a + b \frac{G_s^{2/3}}{dm}$$

donde:

q = La cantidad de descarga del transporte de gasto sólido por unidad de ancho de la sección y tiempo

$$\left(\frac{\text{kgf}}{\text{m} \times \text{seg}} \right)$$

G_s = El peso, fuera del agua, en el aire, del gasto sólido por unidad de ancho de la sección y tiempo

$$\left(\frac{\text{kgf}}{\text{m} \times \text{seg}} \right)$$

También se usa G_s' = peso en el agua por unidad de ancho de la sección y tiempo.

dm = Diámetro medio de la partícula (mts).

S = Pendiente del gradiente de energía.
a y b = Coeficientes, para la condición límite
de transporte a = 17 y b = 0.4

Meyer-Peter y Müller (1948), después de ensayos efectuados con materiales de granulometría no uniforme propusieron una fórmula que toma en cuenta la influencia de la densidad o peso específico de los materiales y separa la resistencia intrínseca debido a la rugosidad y a la fricción a lo largo del fondo del lecho. Sus resultados cubren un campo bastante extenso y están representados por la fórmula:

$$\left(\frac{K_s}{K_r}\right)^{3/2} \tau_{Rhs} = 0.047 (\tau_{s-} - \tau) dm + 0.25 \left(\frac{\tau}{g}\right)^{1/3} \left(\frac{\tau_{s-} - \tau}{\tau}\right)^{2/3} G_s^{2/3}$$

Ec. 1

Donde:

G_s = El peso del gasto sólido (sedimento transportado) por unidad de ancho de la sección y tiempo.

K_s = El coeficiente de rugosidad de Strickler, del lecho.

K_r = El coeficiente de rugosidad intrínseca de Strickler, debido a las partículas del lecho. (Se notará que K_s = K_r, para un lecho rigurosamente plano).

La relación entre los coeficientes de Strickler y de Manning es $K_s = \frac{1}{n}$ en el sistema métrico decimal (Kg/m/seg).

Luego:
$$V = K_s R_h^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ec. 2}$$

Se tienen también las relaciones:

$$C = \left(\frac{8g}{f} \right)^{1/2}$$

y
$$C = K_r R_h^{1/6}$$

Se puede escribir:

$$K_r = \left(\frac{8g}{f} \right)^{1/2} R_h^{-1/6} \quad \text{Ec. 3}$$

Combinando la Ec. 2 y Ec. 3, se tiene:

$$\frac{K_s}{K_r} = \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} \frac{V}{(g R_h S)^{1/2}}$$

Es de hacer notar que la parte izquierda de la Ecuación 1, expresa la fuerza de tracción \bar{G}_0 . El primer término del miembro de la derecha representa la fuerza de tracción crítica \bar{G}_c , que es proporcional a $(\gamma_s - \gamma) dm$.

La Ecuación 1 puede escribirse de la siguiente forma:

$$G_s = N (\bar{G}_0 - \bar{G}_c)^{3/2} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$$N = 8 \left(\frac{g}{\gamma_w} \right)^{1/2} \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)$$

también:

$$\tau_o = \gamma_w R_h S, \text{ cortante en el fondo producido por la corriente. (Kg/m}^2\text{).}$$

$$\tau_c = A (\gamma_s - \gamma_w), \text{ cortante de tracción crítica del material. (Kg/m}^2\text{). } A = 0.047, \text{ condición límite para transporte.}$$

$$\gamma_w = \text{Peso específico del agua (Kgs/m}^3\text{).}$$

$$\gamma_s = \text{Peso específico del material (Kgs/m}^3\text{).}$$

$$g = \text{Gravedad (m/seg}^2\text{)}$$

$$R_h = \text{Radio hidráulico (mts.).}$$

Se han evaluado los parámetros o variables de la Ec.4, Cuadro N° 4.8, utilizando los datos obtenidos de campo, como son pendiente de tramo, diámetro medio de la partícula y radio hidráulico de la sección; se ha determinado el valor de la velocidad, cortante en el fondo y cortante crítico.

Igualando τ_o y τ_c se ha encontrado el valor de la pendiente máxima para producir el movimiento logrando con esto que el material se deposite en el tramo, se da también el valor de velocidad correspondiente para esta pendiente.

Sustituyendo los valores obtenidos, se ha determina
do el gasto sólido por día. (Cuadro N° 4.9).

CUADRO 4.8

EVALUACION DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN LA ECUACION DE MEYER-PETER Y MULLER

SECCION	PENDIEN- TE S(%)	Ø50 (mm)	Rh (cm)	$C = \frac{R^{1/16}}{n}$ n=0.028	$Vr = G\sqrt{R}S$ (M/s).	$\tau_0 = \gamma R_n S$ (Kg/m ²)	$\bar{\tau}_c$ (Kg/m ²)
0 + 000							
	2.03		6.0	22.	0.77	1.22	
0 + 058.50		2.68					0.2141
	2.48		6.0	22.	0.85	1.47	
0 + 109.25		2.68					0.2141
	3.15		8.25	24.	1.22	2.60	
0 + 145.30		3.32*					0.2653
	3.82		14.25	26.	1.92	5.44	
0 + 196.75		3.95					0.3156
	4.66		15.50	26.	2.21	7.22	
0 + 331.72		2.52					0.2013
	5.47		10.0	24.	1.78	5.47	
0 + 575.35		2.28					0.2237
	6.20		8.5	24.	1.74	5.27	
0 + 722.55		2.68					0.2141
	5.98		7.0	23.0	1.49	4.19	
0 + 800.75		2.05					0.1638
	6.58		5.5	22.0	1.32	3.62	
0 + 853.35		1.50					0.1197
	4.85		4.70	21.0	1.00	2.28	
0 + 912.15		1.3*					0.1039
	7.63		6.20	22.0	1.51	4.73	
1 + 033,15		1.10					0.0879
	10.34		9.00	24.0	2.32	7.30	
1 + 320.00		5.08					0.4059
	13.75		9.00	24.	2.67	12.38	
1 + 660.0		5.08					0.4059

* Promedio entre secciones.

CUADRO 4.9

CALCULO DEL GASTO SOLIDO POR LA FORMULA DE MEYER-PETER Y MULLER

21 de Agosto/85

SECCION	ξ_o	ξ_c	Gs/Unidad de	b (ancho)	Gs Kgs/seg.	VOLUMEN m ³ /día
0 + 000				12		
	1.22					
0 + 058.50		0.2141	0.4700	12	5.64	10.15
	1.49					
0 + 109.25		0.2141	0.6714	14.50	9.74	17.53
	2.60					
0 + 145.30		0.2653	1.661	17.0	28.24	50.83
	5.44					
0 + 196.75		0.3156	5.404	9.0	48.64	87.55
	7.22					
0 + 331.72		0.2013	8.662	13.00	112.61	202.70
	5.47					
0 + 575.35		0.2237	5.598	12.0	67.18	120.92
	5.27					
0 + 722.55		0.2141	5.296	11.00	58.26	104.87
	4.19					
0 + 800.75		0.1638	3.7635	8.00	30.11	54.20
	3.62					
0 + 853.35		0.1199	3.0505	4.50	13.73	124.71
	2.28					
0 + 912.15		0.1039	1.4955	4.50	6.73	12.11
	4.73					
1 + 033.15		0.0879	4.6594	9.00	41.93	75.47
	9.30					
1 + 320.00		0.4059	12.3568	6.50	80.32	144.58
	12.38					
1 + 660.00		0.4059	19.3027	10.00	193.03	347.45
					696.16	1.253.09

4.3.3 Comparación de Métodos de Evaluación

La evaluación de los volúmenes de sedimentados se realizó por medio de los siguientes métodos:

- Mediciones directas en el campo
- Ecuación universal de la pérdida de suelo de Wischmeier
- Ecuación de Meyer-Peter y Müller.

Los factores que intervienen en la variación de los datos son los siguientes:

En el método directo influyen en su aplicación fenómenos externos a la metodología a seguir, tales como: el tránsito de vehículos, el constante mantenimiento que se le da a la calle-quebrada para conservarla habilitada; el no haber realizado mediciones después de cada tormenta.

En la ecuación universal de pérdida de suelo influye la no uniformidad de la intensidad de precipitación, en el cálculo de los factores que intervienen en su evaluación, como lo son el factor de erodabilidad (K), la capacidad erosiva (R) y la práctica de conservación (P); así como el corto período de registros, siendo necesario la ampliación del método de control de las cantidades precipitadas.

Para una mejor evaluación de esta ecuación es necesario un estudio más extenso y minucioso de todas las variables que intervienen, adaptándolas a las condiciones de nue

tro medio, dado que éste es un método empírico, donde se incorporan observaciones y resultados experimentales.

La ecuación de Meyer-Peter y Müller, está basada en experimentos con material de tamaño de grano uniforme y peso específico determinado, influyendo además la rugosidad del lecho y de la partícula, la cual nos da un factor de corrección o ajuste en conexión con la forma de la sección transversal de la corriente.

Para una relación satisfactoria de estas variables, es necesario implementar las experiencias en laboratorio. Puesto que muy poco se conoce de cómo cambian las relaciones de transporte, y sobre todo cuando la corriente es no uniforme. Además es necesario la recolección de muestras, para efectuarles su respectivo análisis granulométrico y densidad o peso específico del material, después de cada tormenta.

Los resultados obtenidos de la evaluación por los métodos anteriores, se presentan en el Cuadro 4.10, donde se puede observar que los volúmenes diarios sedimentados, tienen una diferencia bastante considerable. El valor medio de estas mediciones es de $1,166.47 \text{ m}^3/\text{d}$, obteniendo que, el método directo varía respecto al valor medio en un 21%; el resultado obtenido a través de la ecuación de Wishmeier,

excede el valor medio en 14%; siendo el valor más aceptable el resultado obtenido por la Ecuación de Meyer-Peter y Müller, la que varía únicamente 7.5%, también respecto al valor medio.

La comparación corresponde al período del 1º al 3 de Agosto, dado que en esta fecha fue posible la obtención de datos que permitieron evaluar la ecuación de Meyer-Peter y Müller. Siendo evaluados únicamente los métodos Directo y el de la Ecuación Universal para las fechas restantes.

La comparación de los métodos evaluados se efectúa en función del promedio de volumen de material diario sedimentado obteniendo que las lecturas del método Directo tienen una variación de 18.7% con respecto al valor promedio de los m^3/d para el período en estudio, la Ecuación Universal oscila en un 16.4% y la de Meyer-Peter y Müller en un 7.5%.

Una correlación más aceptable puede establecerse a través de un período continuo de evaluación, control y comparación de métodos. Así como también la implementación de trabajos de investigación que aporten más sobre este campo.

CUADRO 4.10

COMPARACION DE VOLUMENES

FECHA	P (mm)	VOLUMEN (m ³)						Promedio m ³ /d
		Medición Directa		Ecuación Universal		Ec.de Meyer Peter y Muller		
		m ³ /d	%	m ³ /d	%	m ³ /d	%	
1-3 Agosto	23.1	920.37	21.0	1,325.95	14.0	1,253.09	7.5	1,166.47
21-31 Agosto	15.83	967.16	12.6	751.31	12.6	-	-	859.24
2-4 Sept.	27.20	744.11	22.5	470.90	22.5			607.51
11-14 Sept.	14.10	-432.27*	-	420.23	-			- 6.02
PROMEDIO GLOBAL			18.7		16.4		7.5	

* El signo negativo de este dato indica que se ha producido erosión, debido a trabajos de reparación de la calle-quebrada.

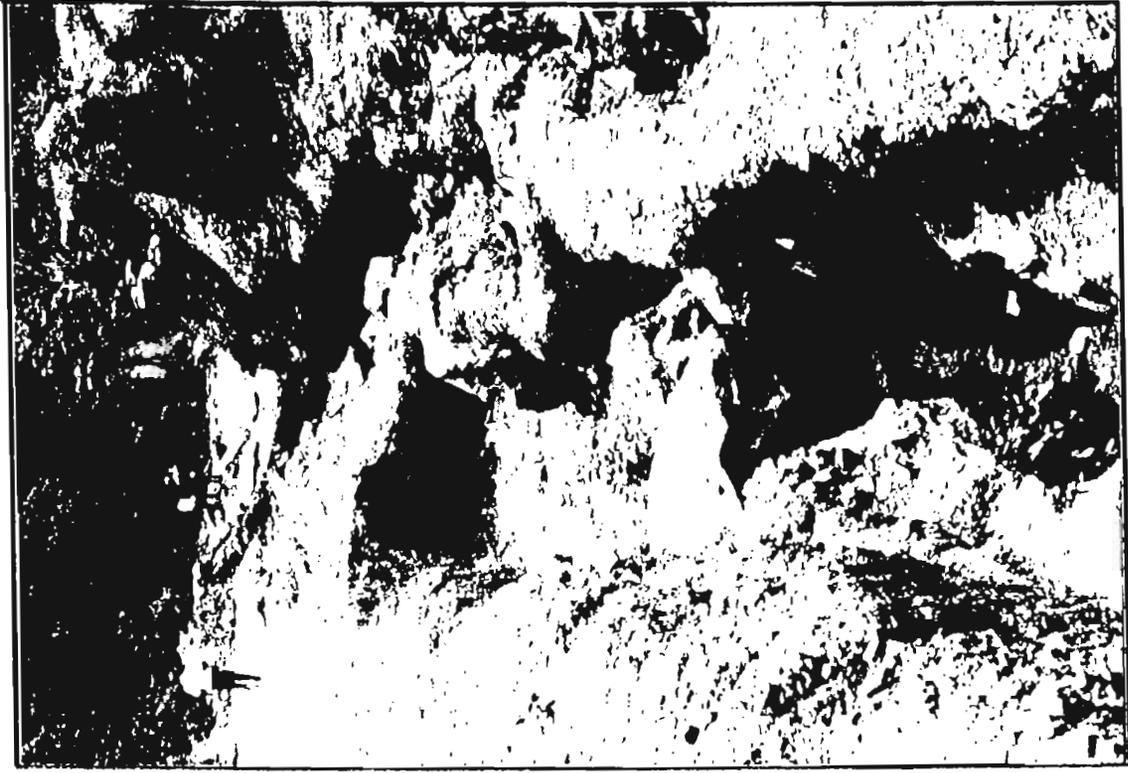


FIG.4.2 Tipo de erosión en Áreava.

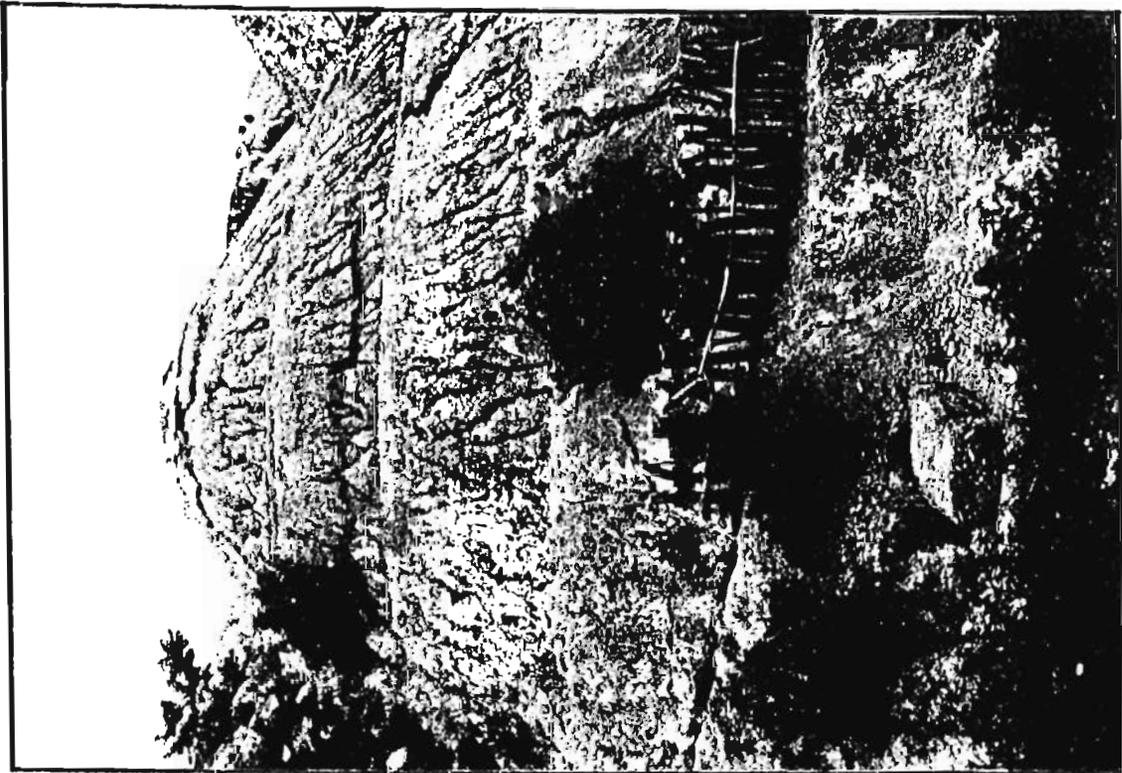


FIG.4.1 Tipo de erosión en surcos.



FIG.4.3 Sección 01800, la fuerza de la escorrentía ha formado una cárcava de aproximadamente 4 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad.

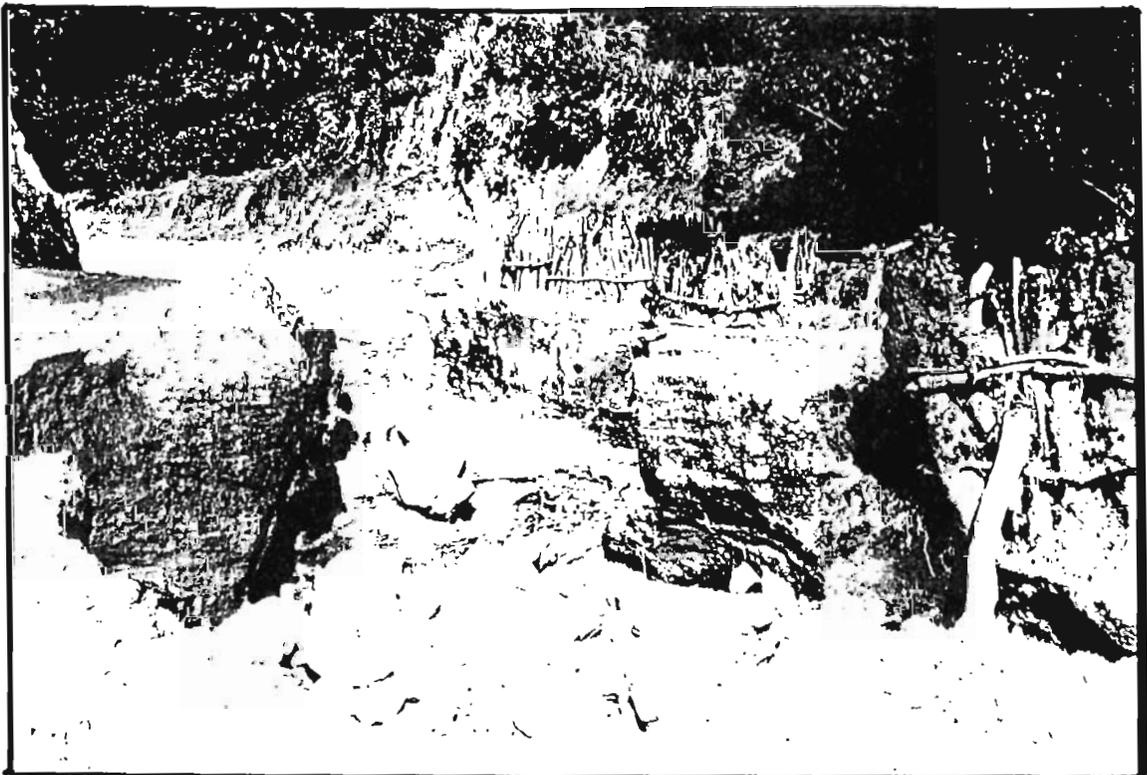


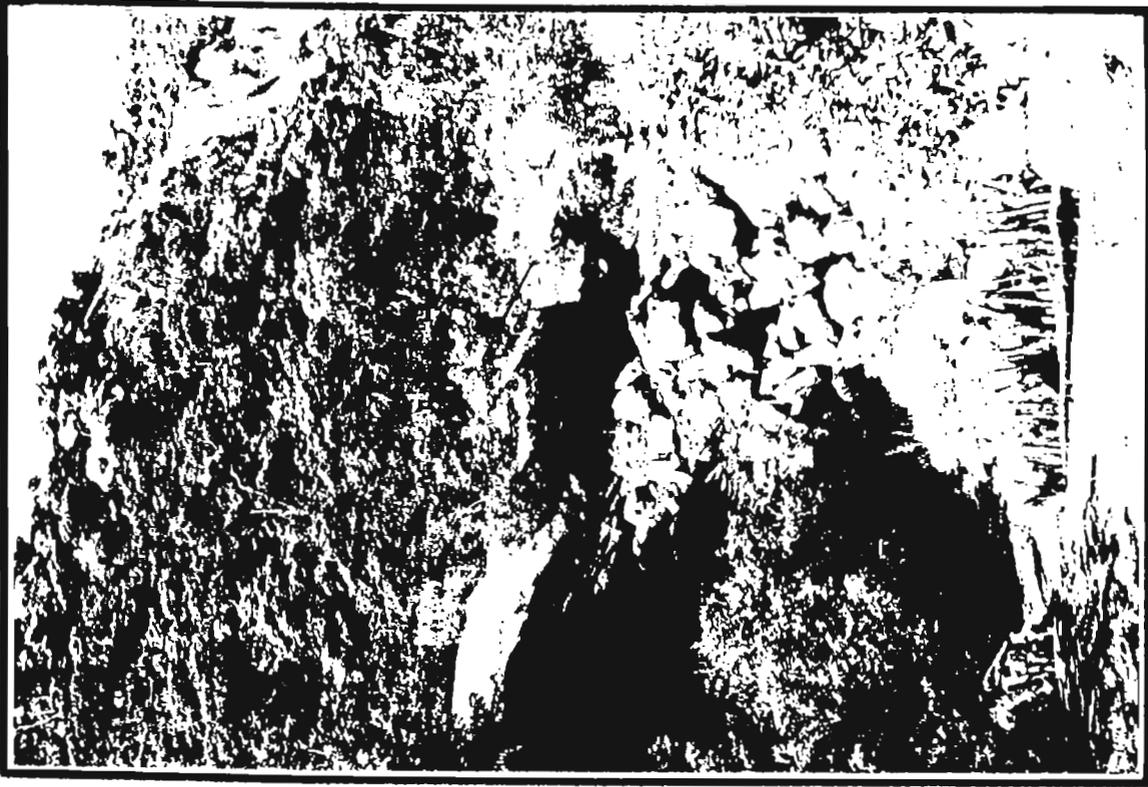
FIG.4.4 Sección 01900, la corriente ha evadido las obras de protección, formando cárcava y permitiendo el afloramiento de grandes rocas.



FIG. 4.5 Muro gavión sobre la sección I+033. La falla en la parte derecha del muro se produjo por la socavación y el cambio de trayectoria de la escorrentía, lo cual ha obligado a la prolongación del muro, produciendo cárcava de 4.00 metros aproximadamente de ancho y 2 metros de profundidad, ésta ha sido cubierta con roca.



a)



b)

FIG. 4.6 a) Banco de acopio de material #2 sobre la margen izquierda de la calle de acceso al banco de acopio #1, el cual contibuye con material al cauce de la quebrada, como se muestra en la figura b).

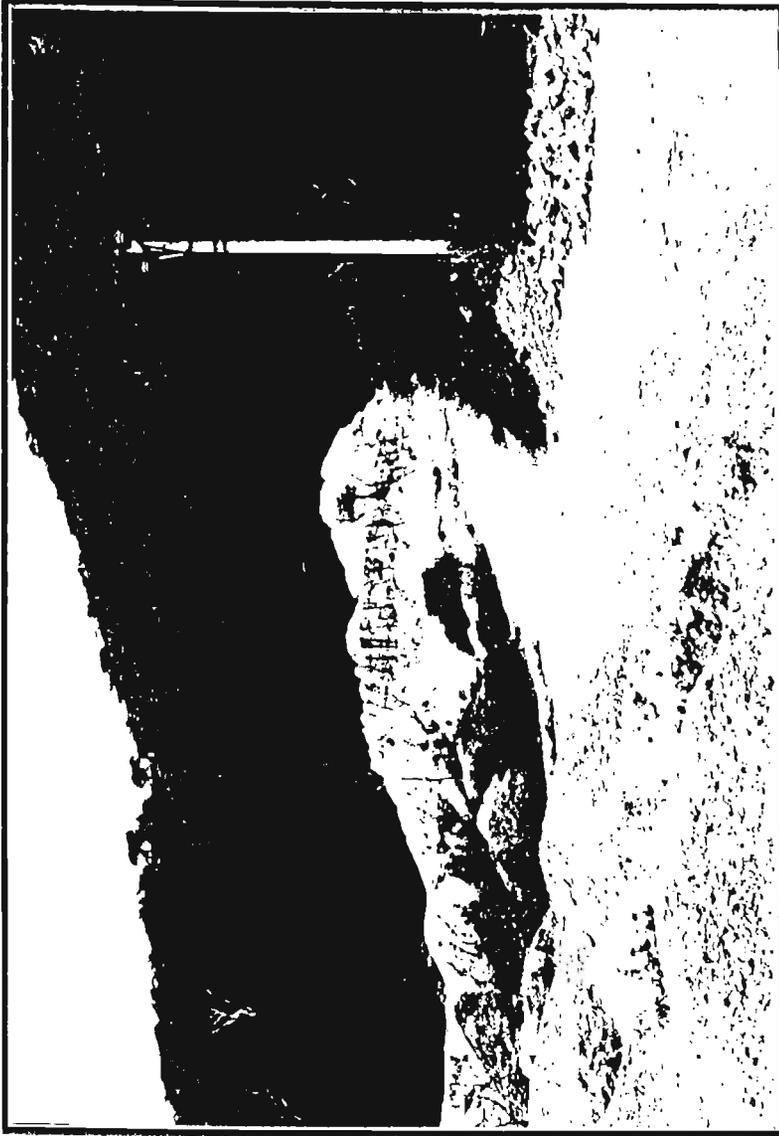


FIG. 4.7
Desde otro aspecto, donde se muestra el
efecto de la erosión sobre la calle de
acceso a la pedrera.

CAPITULO V
"ALTERNATIVAS DE SOLUCION"

CAPITULO V

"ALTERNATIVAS DE SOLUCION "

5.1 PROPUESTA ALTERNATIVA DE OBRAS DE CORRECCION PARA EL CAUCE DE LA QUEBRADA "EL GUAJE".

Como medidas de corrección y regulación para el área hidrográfica, y con el objeto de evitar que el material erosionado por la escorrentía superficial pluvial, ocasione los inconvenientes mencionados en el planteamiento del problema (Capítulo I, 1.2), podemos considerar moderar la velocidad de la corriente en los tramos de pendiente pronunciada, y su forma de amortiguarlo es, diseñando pendientes longitudinales mínimas.

Es indudable, pues, que si corregimos las condiciones naturales de la escorrentía superficial que provoca las turbulencias al aumentar el caudal, habremos minimizado gran parte del problema. Existe una determinada pendiente a partir de la cual el proceso de escorrentía - arrastre se estabiliza; el volumen de material se reduce en lo sucesivo a un mínimo.

El fundamento de este concepto de corrección, es proceder a disminuir la pendiente, lo cual se llevará a cabo en

mayor o menor grado, según nos lo reflejen los cálculos a realizar para resolver el problema planteado.

El procedimiento más simple para disminuir la pendiente consiste en la construcción de una serie de guarda niveles, ya que simultáneamente reducen y estabilizan el arrastre sólido (poder erosivo) de la escorrentía superficial, contribuyen a consolidar laderas, las cuales adoptan una menor inclinación al elevarse el nivel de terreno debido a la acumulación de material que generan los guardaniveles, aguas arriba de su paramento interno; material que actúa como cuñas intercaladas en el cauce (proceso de colmatación).

Los guardaniveles de consolidación para la corrección de escorrentía deben emplazarse en los puntos críticos previamente establecidos; han de alcanzar una altura determinada y los espesores en la base y corona han de cumplir las condiciones teóricas expuestas en el estudio de los muros de contención y sostenimiento a fin de comportarse como tales, de acuerdo con los esfuerzos a que han de estar sometidos.

Entre otras medidas estructurales de corrección se pueden mencionar: represas y vertederos; su diseño y construcción varía según el propósito que van a cumplir:

- i) Estabilizar el gradiente del lecho de la cárcava, en/o debajo del gradiente crítico de erosión.
- ii) Atrapar los sedimentos.
- iii) Proteger la cabecera de la cárcava contra la erosión.

Según su tiempo de duración se pueden clasificar en estructuras temporales y permanentes:

Estructuras Temporales

Consisten en estructuras tales como barreras vivas, presas de madera y presas de roca con alambre (gaviones), recomendándose en los casos siguientes:

- a) Si se está emprendiendo simultáneamente medidas permanentes, tales como revegetación, siendo el papel de la estructura realmente temporal.
- b) Cuando se puede asegurar una inspección y mantenimiento adecuados.
- c) Se diseñan de acuerdo a criterios propios de la ingeniería con una adecuada vida de diseño.

Estructuras Permanentes

Estas son de concreto armado o de mampostería, corres-

pondiendo su diseño a los criterios básicos para obras hidráulicas, siendo su costo inicial relativamente alto.

Se recomienda en los casos siguientes:

- a) Disminuir la velocidad y la energía cinética del agua.
- b) Disminuir su descarga máxima.

Además de controlar las cárcavas, algunas veces se construyen con una cierta capacidad de almacenamiento, con el objeto de regular el caudal aguas abajo. Las estructuras básicas que se usan en el control de cárcavas son:

- 1) Caídas con vertedero.
- 2) Caídas con boca de entrada.
- 3) Canales.

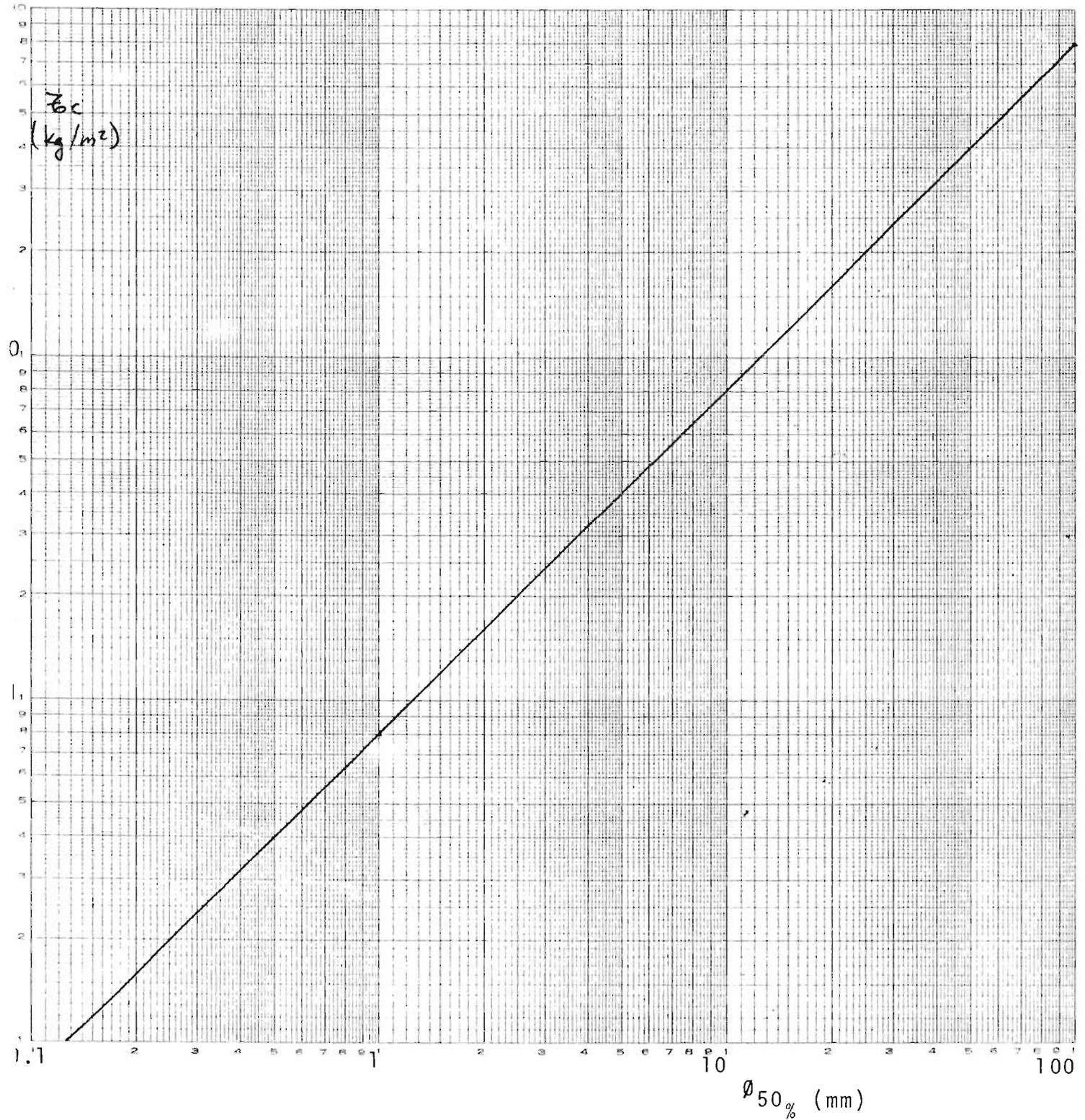
Para cumplir con el objetivo de regularizar los procesos que intervienen en las crecidas o aludes torrenciales, minimizar los efectos del fenómeno, disminuir la producción de sedimentos y evitar el transporte de material sólido, tomaremos como base las pendientes críticas encontradas por el método de Meyer-Peter y Müller, en función del diámetro medio de la partícula depositada en un punto determinado, para lo cual se han encontrado las gráficas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, que relacionan las características topográficas e hidráulicas del cauce.

Uso de Gráficas

Haciendo uso de la granulometría, de la muestra tomada in-situ, se encuentra el diámetro medio ($\phi 50$), con dicha variable se intercepta la curva de la gráfica 5.1, obteniendo en el eje de las abscisas el valor del esfuerzo cortante de tracción crítico (τ_c) del material, esfuerzo inminente. Con dicho valor τ_c , igual a τ_o , y utilizando una constante C, en función del radio hidráulico de la sección, tabulados en el Cuadro 4.7, y del coeficiente de rugosidad de Manning adecuado; en la Gráfica 5.2, se obtiene la pendiente crítica del terreno. Utilizando este dato en la Gráfica 5.3, se obtiene una velocidad crítica, con la cual se comprueba en la Gráfica 5.4, si el diámetro medio ($\phi 50$) es el inicial, cerrando así el ciclo de las Gráficas.

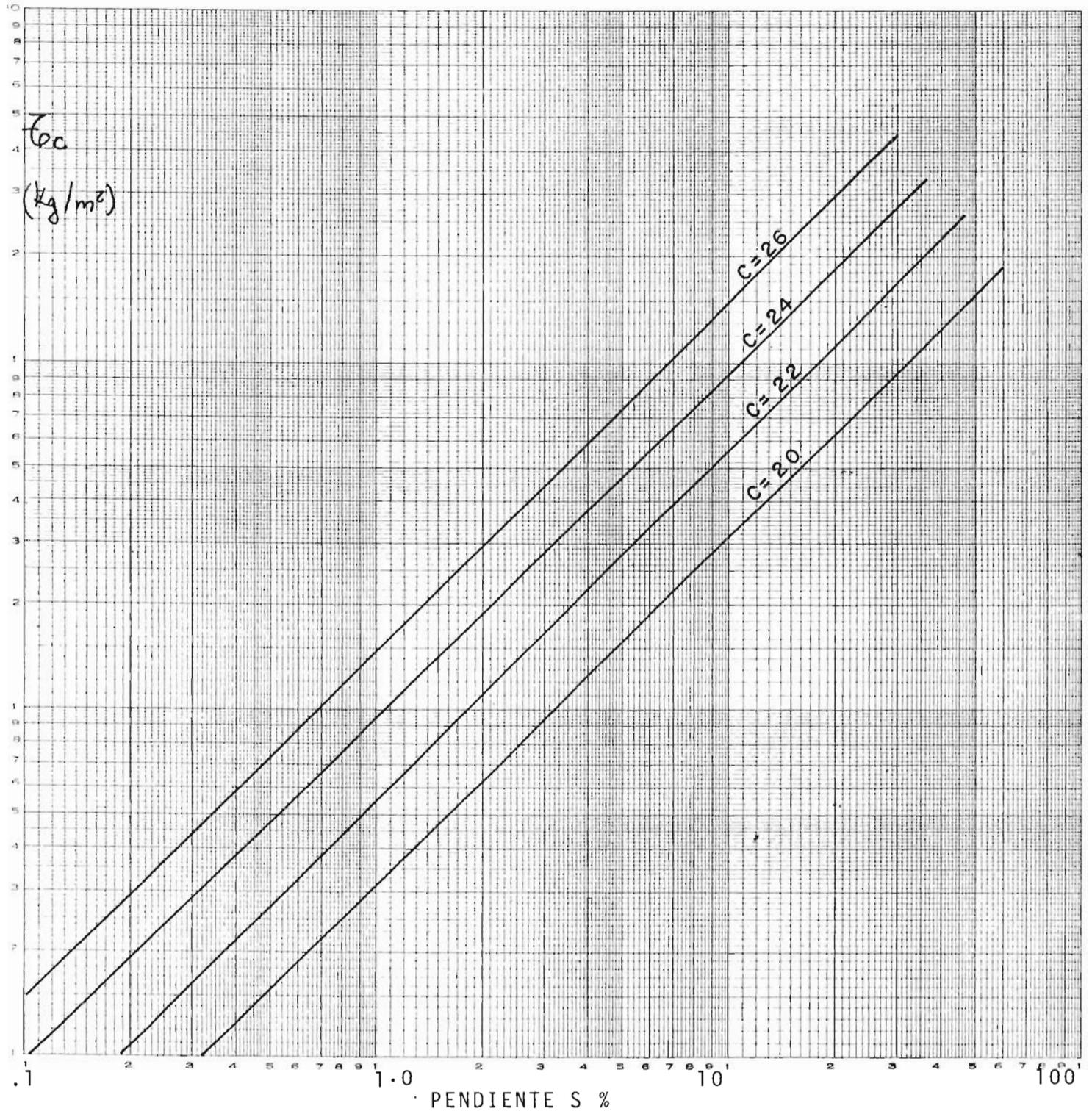
GRAFICA 5.1:

CORTANTE CRITICO $\tau_c = A (\gamma_s - \gamma_w) \phi_m$.



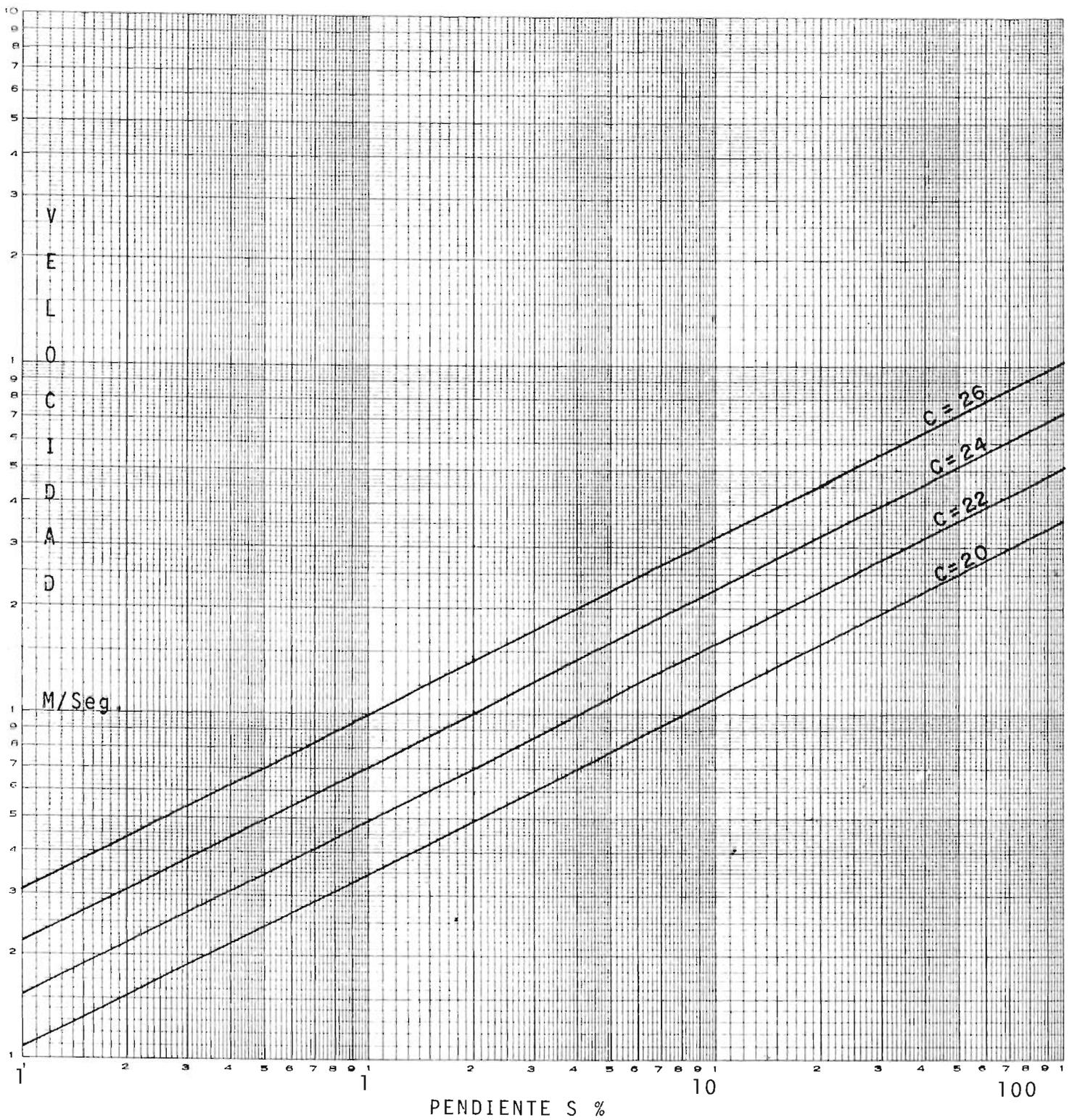
GRAFICA 5.2:

CORTANTE EN EL FONDO $\tau_0 = \gamma R_h S$



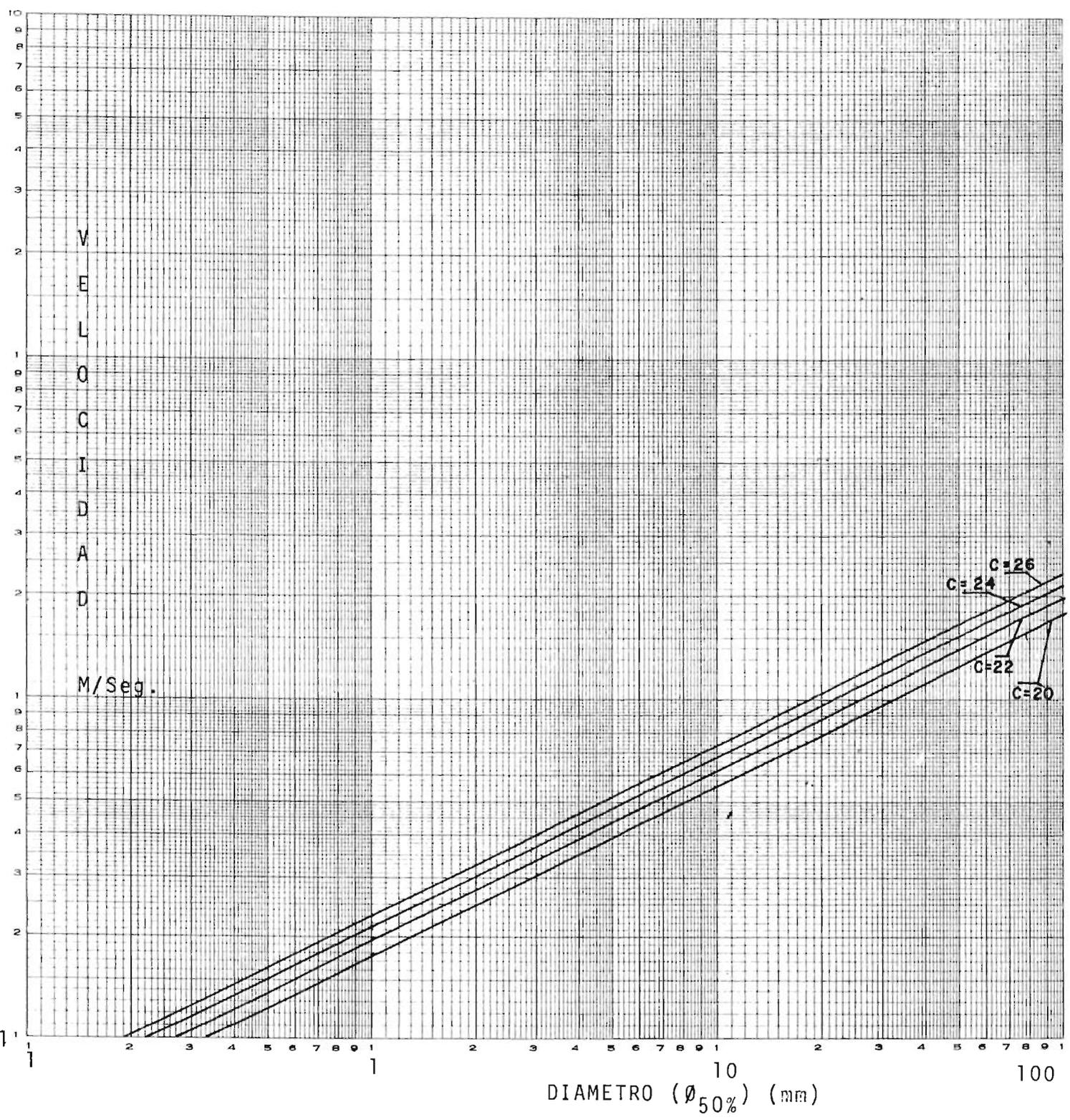
GRAFICA 5.3:

VELOCIDAD REAL $V_r = C_r \sqrt{R_h S_r}$



GRAFICA 5.4:

VELOCIDAD CRITICA $V_c = C_c \sqrt{R_h S_c}$



5.1.1 Pendientes Críticas de esfuerzo inminente para el tratamiento del cauce de la quebrada, paralela a la Calle "El Guaje".

Como medida de corrección en la calle-quebrada "El Guaje", es de vital importancia, realizar las obras de protección adecuadas para el encauzamiento de la quebrada, la fijación del lecho de la misma, protección de márgenes, rectificación del cauce y defensa de los terrenos limítrofes contra inundaciones.

En las obras de defensa pluvial, así como en toda obra encaminada a establecer un obstáculo protector contra la acción del agua en movimiento, para que sea realmente eficaz es necesario que no impida bruscamente el curso de la corriente; mas bien, debe amortiguar su impulso natural para restarle fuerza y dominar su dirección.

Vemos, pues, que para establecer un sistema de defensa de los márgenes u orillas de un cauce, hay que empezar por resolver la regularización de la corriente, y para ello prever de antemano la rectificación del propio cauce. En base a los datos obtenidos en el Cuadro 4.7, evaluación de las variables involucradas en la ecuación de Meyer-Peter y Müller, y utilizando las Gráficas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, se

han encontrado las siguientes pendientes y velocidades críticas, tabulados en el Cuadro 5.1, con los cuales el lecho de la quebrada se estabilizaría, impidiendo el arrastre desmedido de materiales sólidos. Con estos datos se puede encontrar la sección tentativa en el proyecto del cauce, en función de los caudales calculados por la fórmula racional, utilizando la intensidad para un período de retorno de 5 años de la Gráfica 2.4, intensidad-duración-frecuencia de la estación matriz, en el inicio de la cuenca necesaria y capaz de transportar el volumen respectivo. Así mismo al final del cauce es necesaria una sección de mayor capacidad, afectada por un factor de seguridad adecuado a criterio del constructor que erradique definitivamente el problema.

CUADRO 5.1

CALCULO DE PENDIENTES Y VELOCIDADES CRITICAS

SECCION	PENDIENTE CRITICA	VELOCIDAD (m/seg) CRITICA
	$S_c = \frac{V_c^2}{a R h} (\%)$	$V_c = C_r \quad R h^S$
0 + 000	0.3568	0.3218
0 + 058.50	0.3568	0.320
0 + 109.25	0.3216	0.390
0 + 145.30	0.2215	0.4619
0 + 196.75	0.130	0.369
0 + 331.72	0.224	0.3592
0 + 575.35	0.2519	0.3512
0 + 722.55	0.234	0.290
0 + 800.75	0.218	0.240
0 + 853.35	0.2211	0.210
0 + 912.15	0.140	0.205
1 + 033.15	0.451	0.484
1 + 320.00	0.451	0.484
1 + 660.00		

5.1.2 Propuesta Alternativa Complementaria para corregir el problema del área hidrográfica.

Para corregir el flujo de escorrentía y el arrastre de sedimentación en la quebrada "El Guaje", además de la corrección propia del cauce, interesa completarlo con o - tras obras que resuelven los problemas en la parte baja del mismo, como consecuencia directa del caudal total en el punto de observación, y la capacidad de la red hidráulica establecida en la zona urbana.

Se puede construir canales secundarios que sirvan de alivio al cauce principal, éstos pueden realizarse alternativamente en diferentes puntos adecuados o construirse simultáneamente, diseñados bajo el criterio de evacuación de la escorrentía superficial de una zona determinada, o ya sea en base a un porcentaje del caudal total que llega a un punto de convergencia pre-establecido.

En el Plano N° 6, se han planteado dos alternativas de solución, estos canales pueden construirse a la altura del estacionamiento 1 + 152.87, conocido como la pluma o caseta de control, contribuyendo cada uno con el desalojo del escurrimiento que se genera al norte y sur de la calle-quebrada.

Partiendo con el canal principal del lugar donde se ubica las instalaciones de la trituradora, proporcionando al cauce, las pendientes que eviten el arrastre de material, construyendo las obras necesarias, disipadoras de energía a distancias prudentes y acorde a la topografía del terreno; para tal fin se hará uso de las pendientes y velocidades críticas calculadas por medio de las gráficas 5.1 a la 5.4 y datos tabulados en el Cuadro 5.1.

Como obra especial, a la altura de la pluma deberá construirse una obra hidráulica de paso por la calle "El Guaje", lugar de inicio del canal secundario norte. La trayectoria se ha trazado sobre una calle que pasa atrás de los edificios de CENREN, desembocando en la intercepción de la calle "El Matazano" y la vía férrea, el caudal transportado sería incorporado al canal de "Cajas y Bolsas", el cual estaría sujeto a un análisis posterior en su capacidad hidráulica.

El canal secundario sur inicia su recorrido del banco de acopio identificado como número dos hasta descargar en el Río Chagüite.

Los canales secundarios también deberán ser construidos con las obras correctivas que impidan el arrastre de material.

5.2 PROPUESTA ALTERNATIVA DE LA DISTRIBUCION PLANIFICADA DE LA OPERACION DE LA PEDRERA.

Debido a las innumerables pérdidas económicas y materiales, causadas por un desordenamiento de los diferentes elementos que componen la pedrera "El Refugio", tales como, la trituradora, los bancos de acopio, vías de acceso y plantel de mantenimiento, etc. Es necesario realizar a corto y mediano plazo, una distribución planificada de dichos elementos, para un buen aprovechamiento y obtener una mejor eficiencia del sistema.

En la zona donde se encuentra ubicada la trituradora, es necesario dotarla con un área de estacionamiento y circulación vehicular de acuerdo a un estudio de necesidades.

Con respecto a los bancos de acopio, es indispensable ubicarlos en una zona donde no exista recogimiento de aguas lluvias y que su nivel de terraza sea definido, con las respectivas obras que permitan el drenaje superficial.

Pero también los actuales bancos de acopio, pueden ser confinados con obras de protección, tal como; muros de retención a lo largo de su contorno; diseñados con criterios de ingeniería en la cual se plantee una altura previamente de - terminada. los espesores en la base y en la coronación han de cumplir las condiciones teóricas del estudio de los mu -

ros de contención y sostenimiento a fin de comportarse como tales, de acuerdo con los esfuerzos a que han de estar sometidos. Además de las sobrecargas derivadas del empuje de los materiales depositados, experimenta un empuje por el incremento de la humedad o saturación por el agua lluvia, siendo necesario que los muros de contención lleven sus respectivos drenes o filtros para su evacuación.

La vía de acceso a la trituradora y bancos de acopio se deberá diseñar con sus respectivas pendientes permisibles para darle una mayor facilidad en el flujo de vehículos, evitando los actuales inconvenientes de comunicación de una sola vía y el consumo de combustible excesivo por las pendientes muy pronunciadas, aparte del tiempo que se pierde en las canteras por el uso diario necesario, del tractor o del cargador en el mantenimiento y habilitación de la calle.

5.3 PROPUESTA ALTERNATIVA DE CORRECCION DEFINITIVA DE LA PROBLEMÁTICA DE LA PEDRERA.

Como una propuesta alterna para corregir los problemas descritos a lo largo de todo el trabajo, proponemos clausurar la cantera e introducir algún artículo dentro de un reglamento o ley que regule la explotación de canteras en un

radio mínimo que pueda oscilar entre 30 a 40 Kms., como un paso subsiguiente a la clausura, proponemos proceder al desalojo de todos los materiales existentes como producto de la explotación de la misma, y preparar el terreno de tal forma que permita reforestar toda la zona, con una vegetación que proporcione la mejor protección del suelo contra la erosión. El medio más simple y económico para detener el avance de la erosión es aislar el área y permitir la reforestación natural, éste es un proceso lento, siendo más rápido la plantación de árboles y de gramíneas de crecimiento denso; existiendo especies que se adaptan muy bien en cada área.

CAPITULO VI
"CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

CAPITULO VI

"CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES"

Conociendo el problema, desde varios puntos de vista, analizado y enfocado de acuerdo a los diferentes criterios técnicos descritos, consideramos:

6.1 CONCLUSIONES

- 1- La cantera denominada "El Refugio", es explotada siguiendo lineamientos de interés privado, y está ubicada dentro de la PRIMERA zona protectora del suelo, creada mediante el Decreto Ejecutivo N° 22.

- 2- La zona del Cerro San Jacinto, que incluye el área en estudio, contemplada dentro del Decreto N° 22, es considerada como zona de recarga de los mantos acuíferos, cuyo aprovechamiento está considerado por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), para el abastecimiento del Area Metropolitana de San Salvador (AMSS). Este Decreto, ha sido infringido de diferentes formas, permitiendo el desarrollo de centros urbanos, deforestación o tala de bosques y la explotación del subsuelo en forma inadecuada; todo esto contribuye al aumento de la esu

correntía superficial e incidiendo negativamente en la recarga del manto acuífero.

- 3- Se produce azolvamiento en el sistema de drenaje pluvial y como consecuencia directa inundaciones en calles, avenidas, pasajes y viviendas de las urbanizaciones Valle Nuevo, Matazano y Santa Lucía; esto se origina debido al transporte de materiales sólidos en un promedio de 1,298.42 m³, por cada tormenta, cuyo mantenimiento y limpieza representa un costo económico para el Estado.
- 4- El material extraído de la cantera posee las mismas características físicas, mecánicas y geomorfológicas, que el encontrado en el cauce de la calle-quebrada "El Guaje", hasta llegar a las zonas urbanas. Por consiguiente este último constituye las pérdidas de la explotación inadecuada de la pedrera.
- 5- Existe una inadecuada distribución y acopio de los materiales, producto de la explotación, puesto que se permite la pérdida del material clasificado.
- 6- El grado avanzado de erosión, la existencia de taludes pronunciados y la localización de fallas tectónicas, así como la existencia cercana de infraestructura, puede en determinado momento ocasionar mayores y

graves consecuencias.

- 7- Existe un creciente deterioro de la flora y fauna, debido a las características orográficas de tipo montañoso, existiendo un 88% del área con pendientes pronunciadas mayores del 12%, factor propicio para el arrastre de sedimentos.
- 8- El método ideal de evaluación sería encontrar el pro medio de volúmenes de sedimentación, en base a los valores obtenidos por medio de la ecuación universal de la pérdida de suelo, la fórmula de Meyer-Peter y Muller y las mediciones directas en el campo. Pero el más práctico, rápido y económico, es evaluar la Ecuación Universal de la pérdida de suelo, la cual se puede utilizar como marco de referencia en un diseño preliminar.

6.2 RECOMENDACIONES

- 1- Considerando que todos los inconvenientes, problemas y daños materiales y/o personales que genera la explotación de todas y cada una de las canteras existentes en el Area Metropolitana de San Salvador, es responsabilidad directa del Gobierno de la República de El Salvador, a través del Ministerio de Obras Públicas

(M.O.P.), el cual basado en los conceptos y criterios técnicos del presente trabajo deberá apoyar la iniciación de estudios técnicos especializados que incluya tópicos tales como:

- a- Ubicación de canteras.
 - b- Explotación de canteras (tiempo programado de explotación).
 - c- Diseño de distribución de los elementos integrantes de una cantera.
 - d- Accesos y obras de drenaje complementarias.
- 2- Las instituciones gubernamentales competentes a través de sus oficinas jurídicas deberán crear el marco legal necesario que permita la elaboración de una "ley que regule la creación, ubicación y explotación de las canteras, y usos del medio ambiente".
- 3- El Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura (D.U.A.), debe llevar a cabo una programación de estudios técnicos para el próximo invierno, la cual basada en los algoritmos desarrollados en el presente trabajo de graduación, permita obtener los elementos técnicos para diseñar las obras de protección y drenaje, necesarias para convivir con la explotación de la pedrera "El Refugio".

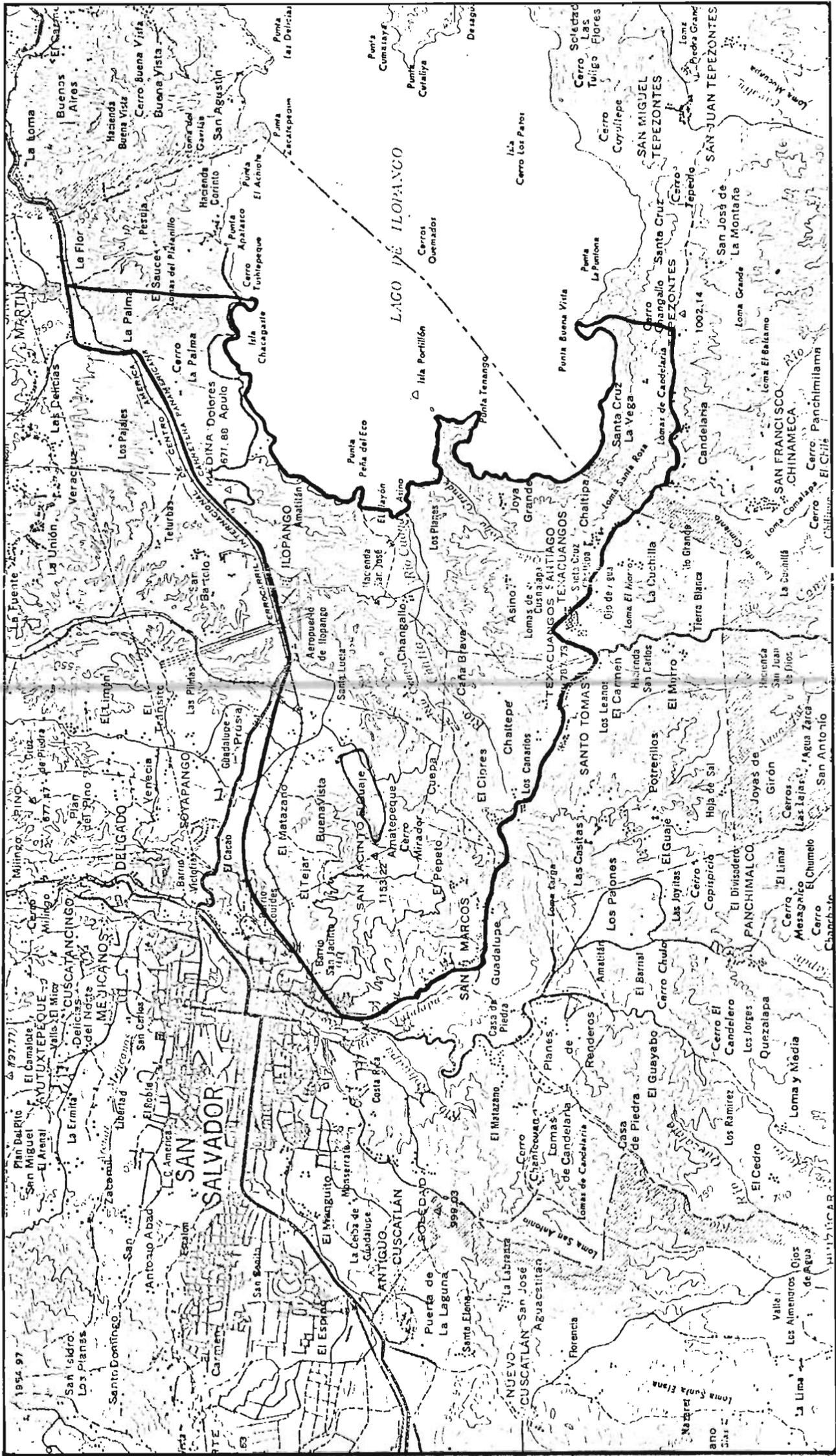
- 4- Elaborar estudios técnicos especializados en cada una de las pedreras existentes en el Area Metropolitana de San Salvador (AMSS), de tal forma que se diseñen las obras de protección y drenaje para cada una de las mismas, con el objeto de que el Gobierno a través de la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura (D.U.A.), programe su explotación a efecto de construir las obras diseñadas durante el período que se encuentren en proceso.
- 5- Que dentro de la programación de la explotación de las canteras y asesorado con recomendaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través de su oficina competente Centro Nacional de Recursos Naturales (CENREN), se incluya clausuras o cierres provisionales y periódicas del funcionamiento de las mismas, a efecto de realizar trabajos de conservación, protección y reforestación.
- 6- Las canteras deberán estar ubicadas fuera del Area Metropolitana, en un radio mínimo que pueda oscilar entre 30 a 40 Kms.; en zona adecuada para dicho propósito y con las obras de protección y drenaje necesarias.

- 7- Proporcionar el mantenimiento continuo al sector urbanizado que incluye los desarrollos Valle Nuevo, Matazano y Santa Lucía. De acuerdo a la Recomendación del numeral 3.

- 8- Si por cualquier motivo, o circunstancia no se lleva a cabo ningún estudio técnico especializado ni construcción de obras de protección y drenaje complementarios, se recomienda clausurar definitivamente la pedrera, desalojar todos los materiales acopiados producto de la explotación y basado en las recomendaciones del Centro Nacional de Recursos Naturales (CENREN), reforestar a efecto de que el terreno recobre sus características propias de estabilización y construir las obras de drenaje complementarias.

A N E X O S

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



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION

ESTUDIO DEL SISTEMA DE
 EVACUACION PLUVIAL

PRIMERA ZONA PROTECTORA
 DEL SUELO. CERRO SAN JACINTO

PRESENTAN:

FIDEL A. OLMEDO L.

GUILLERMO M. NOYOLA A.

TOMAS DE J. MARTINEZ.

ESCALA

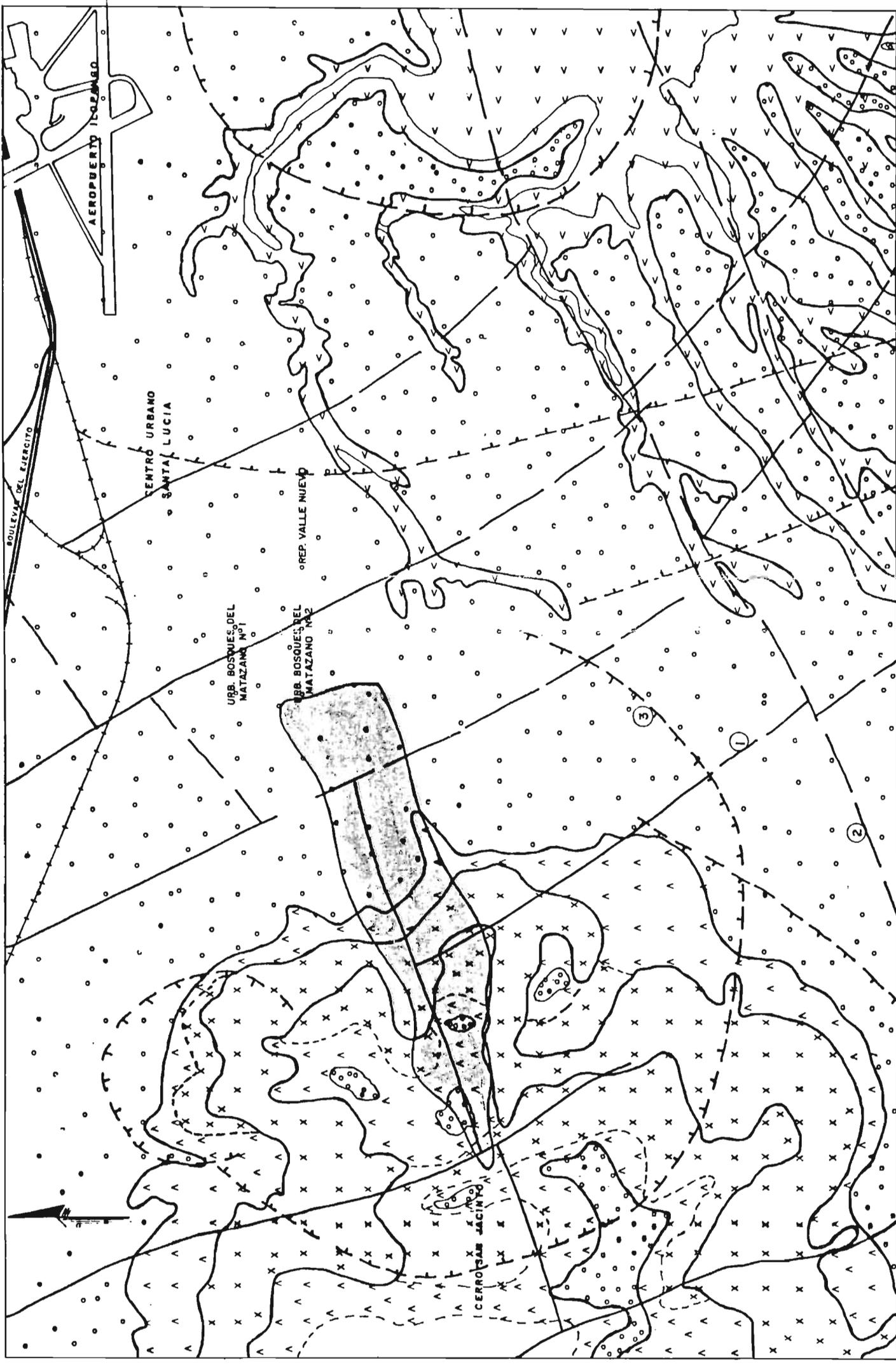
1:100 000

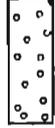
FECHA

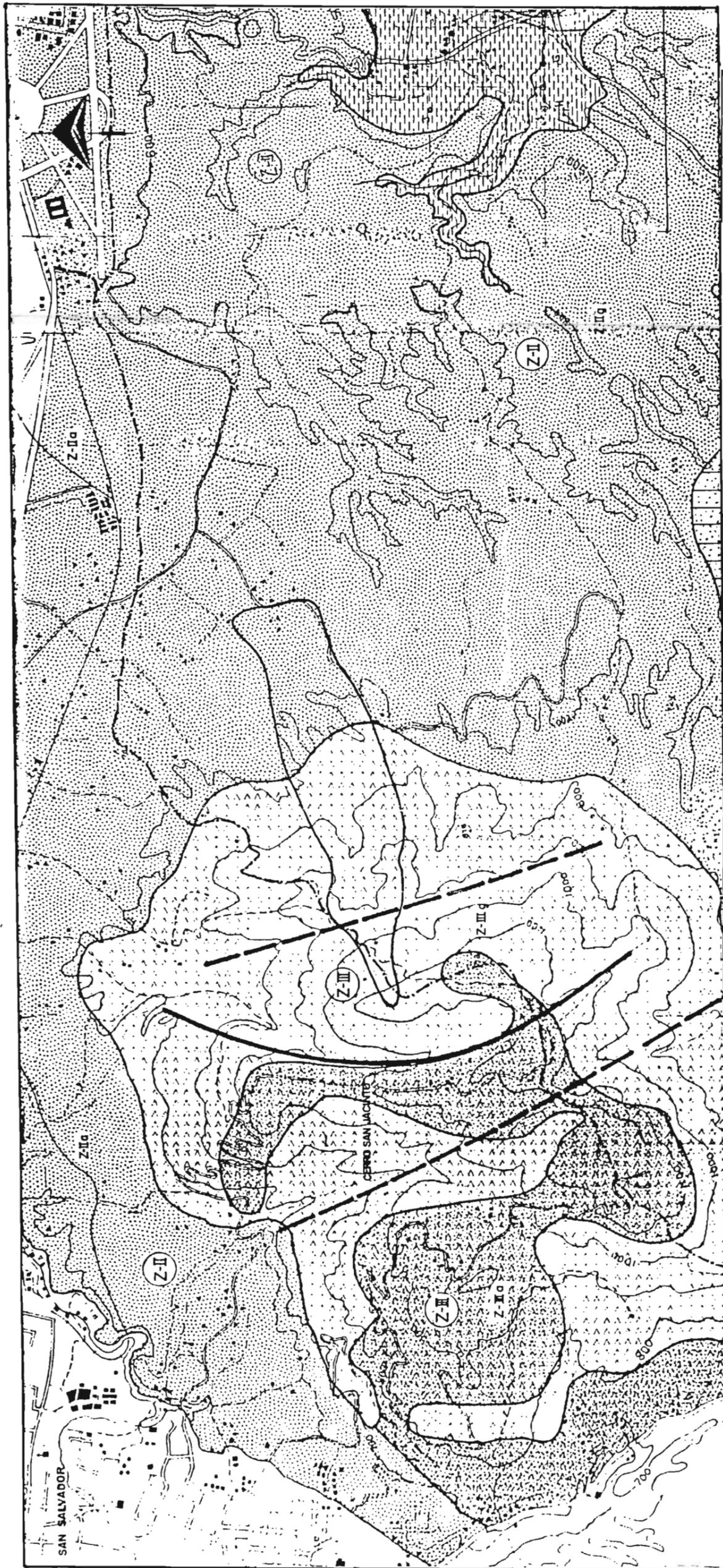
NOV./85

PLANO

3



<p>SIMBOLOGIA</p> <p>  LAVA ANDESITICA O ANDESITA (Prov. del Cerro de San Jacinto)  TOBA DE POBEEZ (Prov. del Volcán de San Salvador) </p>		<p>  CENIZAS VOLCANICAS. (Prov. del Volcán de Ilupango)  SEDIMENTOS ALUVIALES O FLUVIALES. (Arreglados por el agua o ríos) </p>		<p>1 FALLA NOROESTE 2 FALLA MORESTE 3 FALLAS CIRCULARES</p>		<p>LIMITE DE CUENCA</p>	
<p>TRABAJO DE GRADUACION ESTUDIO DEL SISTEMA DE EVACUACION PLUVIAL</p>				<p>PRESENTAN FIDEL A. OLMEDO L. GUILLERMO M. NOYOLA A. TOMAS DE J. MARTINEZ.</p>		<p>FUENTE DATOS PROPORCIONADOS POR EL CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS. CIG-MOP.</p>	
<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</p>				<p>GEOLOGIA</p>		<p>ESCALA 1:15000 FECHA AGOSTO/85.</p>	
				<p>PLANO 4</p>			



S I M B O L O G I A

SEDIMENTOS FLUVIO-LACUSTRES GRAVAS, ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS INTERCALADAS CON TUFITAS.
 ROCAS PIROCLASTICAS PREDOMINANDO LAS TOBAS BLANCAS DACITICAS, DE BAJA COMPACTACION.

LAVAS DE CARACTER BASICO, MASIVAS PARCIALMENTE, FISURADAS.
 CUBIERTA DE PIROCLASTICOS DE POCO ESPESOR, PREDOMINANDO LAS TOBAS POMITICAS DE BAJA COMPACTACION, SOBREYACIENDO A LAVAS.

LIMITE DE CUENCA
 ZONA HIDROGEOLOGICA.
 FALLA, PUNTEADO FALLA PROBABLE



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE GRADUACION
ESTUDIO DEL SISTEMA DE EVACUACION PLUVIAL -
MAPA HIDROGEOLOGICO

PRESENTAN:
 FIDEL A. OLMEDO L.
 GUILLERMO M. NOYOLA A.
 TOMAS DE J. MARTINEZ F.

FUENTE
 SERVICIO HIDROLOGICO-MAS.
 MAPA BASE ANDA-ONU.
ESCALA
 1:20 000
FECHA
 NOVIEMBRE/85

PLANO
5

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

- MANUAL ON RIVER BEHAVIOUR, CONTROL AND TRAINING.
Dr. D. V. Joglekar.
- HANDBOOK OF APPLIED HIDROLOGY.
Ven Te Chow.
- TRATADO DE HIDROLOGIA APLICADA.
G. Remenieras.
- CONSERVACION DE SUELOS.
Fernando Suárez de Castro.
- CONSERVACION DE SUELOS, CONTROL DE LA EROSION POR EL AGUA.
Frank Low y Manuel Paulet.
- ESTRATIGRAFIA Y SEDIMENTACION.
W. C. Krumbein y L. L. Sloss.
- METODOLOGIA PARA EVALUAR LOS SEDIMENTOS GRUESOS EN CINCO MICROCUENCAS DEL RIO SAN BERNARDINO, MEXICO (Tesis).
Heymans Meardi, Luis Edgard.
- LA CAPACIDAD DE ARRASTRE DE SEDIMENTOS DE CORRIENTES SUPERFICIALES, SU IMPORTANCIA Y DETERMINACION.
Universidad Nacional, (Tesis).
San Carlos de Borromeo, Guatemala.
Mateo Morales y Morales.
- BASES TECNICAS PARA ELABORAR UN REGLAMENTO DE DESAGUES PLUVIALES URBANOS.
El Salvador, (Tesis).
Universidad Centroamericana
José Simeón Cañas, El Salvador.
Guillermo A. Mayorga M.
Edgardo J. Castro C.

- METODOS PARA LA DETERMINACION DEL SEDIMENTO SUSPENDIDO Y ARRASTRADO POR EL FONDO EN LOS RIOS.
Universidad de El Salvador (Tesis).
Rafael López Vides.

- PROYECTO DE UN SISTEMA DE MEDICIONES PARA HIDROLOGIA URBANA, EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSE SIMEON CAÑAS, EL SALVADOR, (Tesis).
Universidad Centroamericana
"José Simeón Cañas"
Mario A. Mejía R.
Oscar M. Lagos B.

- CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA DETERMINACION DE SEDIMENTOS EN LOS RIOS.
Universidad Nacional
"San Carlos de Borromeo", Guatemala. (Tesis)
José L. E. Terrón Calderón.

- ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CON ENFASIS EN RENDIMIENTO DE PRIORIDAD N° 2, EN LA REGION METROPOLITANA DE SAN SALVADOR.
Geólogo Carlos José Escobar.

- ESTUDIO GEOLOGICO DE EL SALVADOR.
Misión Alemana.

- GUIA PARA EL PLANEAMIENTO DEL USO DE LAS TIERRAS AGRICOLAS EN LAS ZONAS DE LLUVIA DEL PERU.
Manuel Paulet Iturre.

- INSTRUCCION DE CARRETERAS.
Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales de España.

- RIESGOS GEOLOGICOS EN SAN SALVADOR Y ALREDEDORES INMEDIATOS.
VI Congreso Nacional de Ingeniería
Geólogo Carlos Edmundo Aguilar.

- ALMANAQUE SALVADOREÑO 1985.

- ANUARIO ESTADÍSTICO 1981-1982, Tomo I.