



UNIVERSIDAD  
"DON VASCO, A.C."

**UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.**

Incorporación No. 8727 - 15 A la  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DEL DRENAJE EN LA INTERSECCIÓN DEL  
LIBRAMIENTO DE GUACAMAYAS, CARRETERA:  
ZIHUATANEJO - LAZARO CARDENAS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**Christian Cesar González Mejía**

**ASESOR:**

**Ing. Sandra Natalia Parra Macías**

**URUAPAN, MICHOACÁN, 2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Quiero agradecer primeramente a Dios, por haberme dado la posibilidad de tener y mantener lo que tengo; a mis padres y hermanas, que me apoyaron en cada momento de mi vida, tanto en las buenas etapas, como en las malas y haberme brindado toda su ayuda. Al igual, agradezco a todas aquellas personas como amigos, maestros y más, que siempre tuvieron una palabra de aliento para seguir adelante, y que gracias a esas palabras siempre tuve una motivación de continuar hasta este día.

Es por ello, que dedico esta tesis a todos los que confiaron en mí y que lograron ver algo que en ocasiones parecía tan lejano y que hoy es una realidad; pero principalmente a mi madre, padre y hermanas que los quiero y continuare apoyando para lograr nuestras metas.

## ÍNDICE.

### Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento	2
Objetivos.	3
Pregunta de Investigación.	3
Justificación.	4
Marco de referencia.	

### Capítulo 1.- Vías Terrestres.

1.1. Antecedentes de los caminos.	6
1.2. Inventario de caminos.	8
1.3. Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto.	10
1.3.1. El usuario.	10
1.3.2. El vehículo.	12
1.4. Velocidad.	17
1.4.1. Velocidad de proyecto.	18
1.4.2. Velocidad de operación.	19
1.4.3. Velocidad de marcha.	20
1.4.4. Velocidad de punto.	20
1.5. Volúmenes de tránsito.	21
1.5.1. Estudio de origen y destino.	22
1.5.2. Muestreos de tránsito.	22
1.5.3. Estaciones maestras.	23
1.5.4. Predicción del tránsito.	24
1.6. Densidad de tránsito.	25
1.7. Derecho de vía.	26



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1.8.	Capacidad y nivel de servicio.	27
1.9.	Distancia de visibilidad.	28
1.10.	Mecánica de suelos.	29
1.10.1.	Propiedades de los suelos.	29
1.10.2.	Tipos de suelos.	30
1.10.3.	Estructura de los suelos.	32
1.10.4.	Propiedades volumétricas y gravimétricas.	33
1.10.5.	Relación entre volúmenes y pesos.	33
1.10.6.	Pesos específicos o volumétricos.	36
1.10.7.	Clasificación de suelos.	41

## **Capítulo 2.- Drenaje.**

2.1.	Antecedentes.	54
2.2.	Objetivo de un buen sistema de drenaje.	55
2.2.1.	Drenaje superficial.	56
2.2.2.	Hidrología.	56
2.2.3.	Ciclo hidrológico del agua.	56
2.3.	Fisiografía de la cuenca hidrológica.	58
2.3.1.	Pendiente de la cuenca.	58
2.3.2.	Parámetros del cauce principal.	62
2.4.	Precipitación.	66
2.4.1.	Clasificación de precipitaciones.	66
2.4.2.	Media de precipitación.	67
2.4.3.	Métodos para encontrar la precipitación media.	69
2.5.	Escurrimiento.	72
2.5.1.	Hidrógrama y sus principales datos.	73
2.5.2.	Aforo de corrientes.	74

2.6. Infiltración. . . . .	75
2.7. Agua subterráneas. . . . .	76
2.8. Avenidas de diseño. . . . .	77
2.8.1. Métodos para obtener avenidas de diseño. . . . .	77
2.8.2. Tránsito de avenidas. . . . .	79
2.9. Drenaje de los caminos. . . . .	79
2.9.1. Cunetas. . . . .	80
2.9.2. Contracunetas. . . . .	85
2.9.3. Bombeo del camino. . . . .	86
2.9.4. Lavaderos. . . . .	87
2.9.5. Obras de cruce. . . . .	87
2.9.5.1. Alcantarillas. . . . .	87
2.9.5.2. Pendiente de una alcantarilla. . . . .	89
2.9.5.3. Longitud de las alcantarillas. . . . .	90
2.9.5.4. Muros de cabeza. . . . .	91
2.9.5.5. Método para el cálculo del área hidráulica de la alcantarilla. . . . .	92
2.10. Drenaje subterráneo. . . . .	97
2.10.1. Obras de drenaje subterráneo. . . . .	98
2.11. Puentes. . . . .	100
2.11.1. Estudios topográficos. . . . .	102
2.11.2. Estudios hidráulicos. . . . .	103
2.11.3. Estudios geológicos. . . . .	104
2.11.4. Estudios comerciales. . . . .	104
 <b>Capítulo 3.- Marco de referencia</b>	
3.1. Generalidades. . . . .	106
3.2. Resumen ejecutivo. . . . .	106

3.3. Entorno geográfico.	107
3.3.1. Macro y micro localización.	107
3.3.2. Topografía regional y de la zona en estudio.	108
3.3.3. Geología regional y de la zona de estudio.	109
3.3.4. Hidrología regional y de la zona de estudio.	110
3.3.5. Uso de suelo regional y de la zona de estudio.	112
3.4. Informe fotográfico.	113
3.5. Estado físico actual.	114
3.6. Vehículos que circulan por la vía.	115
3.7. Alternativas de solución.	117

#### **Capítulo 4.- Metodología.**

4.1. Método empleado.	119
4.2. Enfoque de la investigación.	119
4.2.1. Alcance de la investigación.	120
4.3. Diseño de la investigación.	120
4.4. Instrumentos de recopilación de datos.	120
4.5. Descripción del proceso de investigación.	122

Análisis e interpretación de resultados.	123
--	-----

Conclusiones.	133
---------------	-----

Bibliografía.	135
---------------	-----

#### **Anexos**

## **Antecedentes.**

Las carretas o vías de comunicación de la actualidad deben cumplir con muchos requisitos tanto de diseño como de funcionalidad, éstos al transcurrir los años se han ido perfeccionando de acuerdo a la necesidad de seguridad. Según Wright (1993) a principios de la historia de la humanidad solo era posible transportarse de un lugar a otro a pie; después, los animales fueron domesticados por el hombre y ayudaron con el transporte de carga; en la necesidad de transportar cada vez mas carga surgieron toscos trineos, aparecieron los primeros vehículos con ruedas e impulsados por animales hasta a evolucionar a motores de combustión interna y en nuestra actualidad con energías renovables como la solar, eléctrica entre otras y llegar así hasta lo que hoy conocemos como medios de transporte particulares o masivos.

Al surgir los primeros vehículos de transporte que unían a comunidades distantes, creció la necesidad de mover personas y mercancías en mayor numero, y cada vez en menor tiempo, es de ahí que nace la necesidad de mejorar los caminos. Conforme se ha actualizado el mejoramiento de caminos los sistemas de construcción fueron requiriendo cada vez más características y aditamentos de diseño, como por ejemplo el drenaje, de acuerdo con William W. Hay (1998) El drenaje es uno de de los sistemas de conformación de una carreteras más importante, ya que contribuyen a la estabilidad y durabilidad de éstas. Algunas investigaciones como las de José Alberto Sánchez, José Luis Arellano Naranjo e Isela Espinoza López, lo han abordado en sus respectivas investigaciones.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Planteamiento del Problema**

La necesidad de un buen diseño de drenaje en la intersección del Libramiento Guacamayas, representa para el municipio de Guacamayas y para la región una obra muy importante; ya que es una vía que comunica al municipio ya mencionado con la carretera Zihuatanejo – Lázaro Cárdenas, una de de las vías más importantes del Sur-Este del país, al igual que para los estados de Michoacán y Guerrero por lo que dicha carretera se encuentra en una zonas donde el turismo en los últimos años ha representado ganancias importantes, por ser este un lugar donde se concentra en los últimos años un importante desarrollo turístico.

Es por ello que un mal diseño en el drenaje de la intersección perjudicaría y provocaría deterioros a la misma, además de intervenir en un entorpecimiento del flujo vehicular y por consecuente provocar pérdidas económicas en la región, tanto en su rehabilitación como pérdidas significativas a la sociedad debido a congestionamiento, accidentes o en reparaciones de vehículos dañados a causa de baches.

He aquí la importancia de un buen diseño de drenaje en la intersección del libramiento, que genere comodidad, seguridad y que tome en cuenta todos los aspectos necesarios con el fin de prevenir malestares en la sociedad y evitar gastos excesivos a la hora de la construcción de una obra civil tan importante para el municipio de Guacamayas, la región y en su totalidad que beneficia a ambos estados involucrados que son Michoacán y Guerrero, ya que para ambos beneficia en la circulación y transporte de turismo y mercancías.

## **Objetivos**

A continuación se proponen varios objetivos, uno de ellos que es el general y subsecuentemente varios objetivos específicos.

### **Objetivo general:**

Diseñar el sistema de drenaje la intersección de Guacamayas, carretera Zihuatanejo – Lázaro Cárdenas.

### **Objetivos específicos:**

Definir que es un sistema de drenaje.

Establecer dos o más alternativas de diseño de drenaje.

Calcular las dimensiones de las alcantarillas.

### **Pregunta de investigación**

Se definirán diferentes cuestiones como son:

¿Qué es el bombeo en caminos?

¿Cuál es la función de un sistema drenaje en caminos?

¿Qué elementos componen las obras de drenaje?

¿Qué ventajas tiene una obra el contar con drenaje?

## **Justificación.**

Es de gran importancia la existencia de obras de drenaje en un camino, ya que el costo que generan estas obras es mínimo a comparación al beneficio que estas aportan, como lo son:

Una mayor seguridad para el usuario de la carretera, puesto que el agua en carreteras y a velocidades no muy grandes ocasionan accidentes por la pérdida de estabilidad entre los vehículos y el camino; así también las obras de drenaje garantizan una vida útil del camino más larga, ya que evitan el deterioro por consecuencia del agua.

El presente estudio también tiene por objetivo el beneficio de la población en general y la comunidad estudiantil universitaria, al aportar datos técnicos de la comunidad de Guacamayas Michoacán y disipar dudas al investigador que originaron la presente tesis.

## **Delimitación.**

La presente investigación comprende el diseño de drenaje para la intersección del libramiento de la población de Guacamayas, municipio de Lázaro Cárdenas Michoacán, ésta tesis es aplicable para las condiciones geográficas y climatológicas en el momento en que se realizó, buscando así el beneficio de toda la población que circule por esta vía.

La recaudación de información de los autores más importantes para la elaboración de la presente investigación se muestra a continuación:

Mier S. José Alfonso	Introducción a la Ingeniería de Caminos
Arias Rivera Carlos	Cuaderno de Trabajo de Comportamiento de Suelos
Aparicio Mijares J.	Fundamentos de Hidrología de Superficie
Crespo Villaluz Carlos	Vías de Comunicación
Hernández S. Roberto	Metodología de la Investigación
Chow Ven, Te	Hidrología aplicada
Mendieta Alatorre, Ángeles	Métodos de investigación y Manual Académico

# CAPÍTULO 1

## VIAS TERRESTRES

En el presente capítulo se estudiará lo correspondiente al estudio de las vías terrestres, así como definiciones de conceptos sobre el tema.

### 1.1 Antecedentes de los caminos.

Según Mier (1987), antropólogos han llegado a la conclusión de que el hombre existe en la tierra desde hace unos 100,000 años, esto gracias a la exploración de vestigios encontrados en ríos como el Nilo, el Éufrates y el Ganges. Además se concluyó que el hombre lo que le ayudo a dejar de ser nómada fue gracias al descubrimiento de la agricultura, naciendo así las primeras civilizaciones humanas cerca de 6,000 años.

Al inventarse la rueda en Asia menor hace unos 5,000 años, se necesitaron superficies de rodamiento. Los egipcios y asirios fueron de los primeros en desarrollar caminos, ya que surgió una necesidad de trasportarse de Asia a Egipto y viceversa; así también los cartaginenses al circular por la costa Sur del mediterráneo construyeron caminos de piedra, que a su vez los romanos copiarían después alrededor de 500 años A.C. Una característica del imperio romano fue la calidad de sus ingenieros militares para construir caminos y trasportarse más velozmente de un lugar a otro.

Así también el Manual de proyecto (1974), menciona acerca de la construcción de los primeros caminos; que eran revestidos con piedras machacadas,



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

para evitar que las ruedas se incrustaran en el terreno, asimismo evitar la ruptura estructural que provocaban las carretas, distribuyendo y disipándola así la carga en el terreno natural principio que aun nos rige hasta nuestros días.

En México los primeros caminos fueron construidos principalmente por dos grandes civilizaciones, "los aztecas y los mayas, quienes por sus actividades comerciales, religiosas y bélicas, utilizaban ampliamente los caminos; de algunos perduran aún los vestigios" (Mier; 1987: 2).

Igualmente Mier (1987) menciona que al llegar los españoles quedaron asombrados de ver caminos pero no vehículos de transporte y mucho menos el invento de la rueda. Estos caminos posteriormente fueron modificados y que ayudaron a Cortes en la conquista; además de agilizar el transporte de productos del centro de la nueva España a los puertos con rumbo a la madre patria.

La primera dependencia de gobierno encargada de conservar y construir los caminos en México fue la Dirección General de Colonización, declarada en noviembre de 1842 y que en 1853 fue sustituida por la Secretaría de Fomento. El Presidente Lic. Benito Juárez creó un impuesto en 1867, dedicado a la conservación de caminos y sustituyendo al "peaje", impuesto que mantenía a la dependencia.

Fue hasta 1891 cuando el Gral. Porfirio Díaz entonces Presidente de la República creó la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas y que en 1958 en atención a la creciente demanda de nuevos y más veloces automóviles fue dividida ésta secretaría en dos: la Secretaría de Obras Públicas y la actual Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

## 1.2 Inventario de caminos.

Partiendo de lo dicho por Mier (1987) para obtener el inventario de caminos de una entidad, existe un método sencillo que consta en el recorriendo de los caminos con un vehículo y la ayuda del odómetro y anotando la información que se presente a simple vista, o con la ayuda de medios topográficos para mayor exactitud pero con el inconveniente de ser más lento y costoso.

Un procedimiento que es preciso, rápido y económico y que dibuja el perfil por medio de un sistema barométrico y considera aspectos importantes del camino es el método odógrafo-giroscópico-barométrico. Los datos de inventario que arroja éste método son: planta del camino, perfil, itinerario, configuración del terreno por el que se cruza, características de la superficie de rodamiento, sección transversal, alineamiento horizontal, alineamiento vertical, visibilidad, señalamiento, obras de drenaje, cruces y entronques con otras vías de comunicación, características de los poblados por los que pasa el camino, uso de la tierra a los lados de los caminos y demás datos que se consideren importantes. Vehículo tipo guayín y en él instalado un sistema odométrico (odógrafo-giróscopo), sistema de orientación y grabadora magnética, éste es el equipo necesario para éste método.

El funcionamiento del sistema odométrico depende de las vueltas que da la rueda delantera izquierda del vehículo dando el kilometraje; la distancia y dirección al combinarse mecánicamente hace que el odómetro mueva un lápiz y este da el trazo. El perfil del camino es dado por el barómetro o altímetro que toma alturas cada tres metros, después del perfil se determina el alineamiento vertical comprobando en

ciertos casos con un clisímetro en pendientes muy fuertes. El alineamiento horizontal se obtiene de datos del registro de curvatura leyendo el PC (principio de curva) y el PT (principio de tangente) en el contador del odómetro y azimuts del giroscopio; estos datos son pasados a discos magnéticos para su tabulación, cálculo y transcripción en una computadora.

Las aplicaciones de inventario de caminos son varios desde el simple hecho de obtener la capacidad, cantidad e integración de los caminos, obtención de itinerarios de caminos, datos sobre las poblaciones por donde se circula, datos sobre obras de drenaje, estado superficial de los caminos; hasta la aplicación de programas de reconstrucción, conservación y construcción de nuevos caminos, entre más aplicaciones secundarias.

La capacidad de un camino se determina por varios factores, entre los principales son su sección transversal, distancia a obstáculos laterales, ancho y estado de los acotamientos, alineamiento horizontal, alineamiento vertical y distancia de visibilidad de rebase. Todos estos datos se obtienen al efectuar el inventario, por lo cual todos estos datos nos ayudan a calcular casi inmediatamente la capacidad de los diferentes tramos.

Al terminarse el inventario de caminos es necesario mantenerlo actualizado mediante registros de cambios realizados, para ellos es necesario recopilar datos sobre modificaciones que se realicen en fechas posteriores a la realización del inventario del tramo, con esto se podrán realizar revisiones periódicas y obtener datos reales y verdaderos de la red en el momento requerido.

### **1.3. Elementos de la ingeniería de tránsito usados para el proyecto.**

De conformidad con el Manual de proyecto (1974), las dimensiones y operación de carreteras son determinadas principalmente por el usuario, por las características del camino mismo y los vehículos que transitarán por él. Por lo que en el presente capítulo se verá todo en relación al usuario como conductor y sus características, tipos, velocidad, volumen, visibilidad y rebase de vehículos.

#### **1.3.1. El usuario.**

El Usuario ya sea como peatón o conductor es elemento crítico para determinar las características principales del camino, así pues el medio ambiente también afecta al comportamiento del usuario: "1) la tierra: su uso y actividades; 2) el ambiente atmosférico: estado del tiempo y visibilidad; 3) obras viales: carreteras, ferrocarriles, puentes, y terminales; y 4) la corriente del tránsito y sus características, las cuales son manifiestas en el usuario" (Olivera; 2006: 63). Al igual que el medio ambiente puede afectar en cierto punto al usuario desde el exterior, es importante considerar el estado orgánico del usuario, factores como el alcohol, deficiencias físicas, problemas emocionales o comportamiento inapropiado influyen en el tránsito.

La visión, es uno o el más importante de los sentidos para los seres vivos y en especial para los humanos, ya que es por este sentido por donde se retoma la información de lo que sucede a nuestro alrededor. Entre los factores importantes para conducir se encuentran:

A) La agudeza visual, ya que está limitada por un cono cuyo ángulo es de 3 grados, además de ser muy sensible en un cono de 5 y 6 grados y dando una visión

clara hasta los 10 grados, siendo este punto donde la agudeza visual disminuye rápidamente.

B) Movimiento del ojo, para poder obtener una visión clara del camino se necesita que el ojo efectúe seis movimientos: según el Manual de proyecto (1974) 1) El ojo debe fijar el objetivo que desea visualizar, esto requiere de 0.17 segundos en promedio. 2) Al saltar el ojo de un punto fijo a otro requiere de una variación de 0.0029 a 0.100 segundos en movimientos de 5° a 40° respectivamente, por lo que el tiempo que requiere el ojo para moverse varía de 0.15 a 0.33 segundos. 3) El ojo al estar en movimiento en el tránsito requiere seguir visualizando los elementos. 4) Para asegurar una visión binocular, las pupilas de los ojos deben converger y diverger conjuntamente, por lo que ambos ojos necesitan moverse armoniosamente. 5) Los ojos deben remplazar en cierto grado el movimiento de la cabeza. 6) Los ojos al haber ruidos o estímulos tienden a moverse frecuentemente.

C) La visión periférica, el rango efectivo de visión periférica disminuye al aumentar la velocidad, esta disminución empieza de un ángulo central de 100° a 30 km/h hasta reducir la visión en un ángulo de 40° a 100 km/h.

D) Visión en condiciones de deslumbramiento, la adaptación gradual al cambio de luz está en función de la retina, el ojo se recupera más rápidamente al pasar de la oscuridad a la luz que de la luz a la obscuridad, por lo que es necesario contemplar esto después de entrar en un túnel o en contrastes con deslumbramientos de los mismos vehículos.

E) Percepción del espacio, gracias a la percepción del espacio el conductor dentro del tránsito forma un juicio de su mismo espacio y al de los demás vehículos, este juicio se ve afectado en ocasiones por factores ambientales como la neblina o en algunas ocasiones por situaciones orgánicas como la tensión nerviosa, falla de visión o el humo de cigarros por parte del mismo automovilista.

F) Altura del ojo del conductor, la altura del ojo está en función de las características del vehículo y del conductor, la altura promedio a cambiado constantemente al paso de los años, por lo que ha disminuido de 1.70 m a 1.40 m.

Por lo que se debe ser capaz de identificar: "Colores y la profundidad de percepción, es decir, que el conductor debe ser capaz de identificar objetos al mirar hacia adelante, de detectar el movimiento a sus lados, de ver el camino en la noche con escasez de luz y bajo condiciones de deslumbramiento y, por último, de distinguir colores de señales y semáforos y las distancias relativas de los diferentes objetos" (Manual de Proyecto; 1974: 64).

### **1.3.2. El vehículo.**

Partiendo de dicho por el Manual de proyecto (1974), la función de una carretera es brindar una circulación rápida, económica, segura y cómoda; es por ello que una carretera debe ser proyectada de acuerdo con las características de vehículos que transitaran y tomando en cuenta las posibles reacciones y limitaciones de algunos conductores. Al respecto Mier (1987) comenta que, el desarrollo del automóvil al paso de los años ha marcado pautas importantes en las principales

economías de los países más industrializados, ya que la constante es que a mayor es el número de vehículos mayor es la economía de un país. En México a partir de 1950 el número de vehículos ha sido del 32%, con respecto a los automóviles el crecimiento ha sido del 40%, el de camiones de 24% y el de autobuses del 9% anual; lo que nos muestra que en México hay un desequilibrio económico, tomando en cuenta que el número de camiones es el medio por donde se transporta las personas encargadas de la producción del país, al igual que el incremento en el número de vehículos es debido a una mala planeación del transporte colectivo.

La clasificación en conformidad con el Manual de proyecto (1974) de los vehículos es la siguiente: Vehículos ligeros, que son los vehículos de carga y/o pasajeros que cuentan con dos ejes y cuatro ruedas, se incluyen en esta categoría los automóviles, camionetas y unidades ligeras de carga o pasajeros; vehículos pesados, son unidades destinadas a transportar carga o pasajeros y que cuentan con dos o más ejes además de tener seis o más ruedas, incluidos en esta categoría son los camiones y autobuses; y por último los vehículos especiales que transitan continuamente por los caminos, por ejemplo, los camiones y remolques para el transporte de troncos, minerales, maquinaria pesada o que son necesarios en el transporte de volúmenes muy grandes, bicicletas, motocicletas y mas vehículos que no entran en las dos primeras clasificaciones.

“Las características geométricas de los vehículos están determinadas por sus dimensiones y por su radio de giro.” (Mier; 1987: 30). “La forma de nombrar a los vehículos de proyecto depende de la separación en centímetros entre los ejes

extremos, así por ejemplo, el vehículo DE-610 tiene una distancia entre los dos ejes extremos de 6.10 metros" (Mier; 1987: 30).

El radio de giro mínimo se produce al girar los vehículos lentamente y con las ruedas torcidas al máximo, este giro en automóviles modernos llega a ser de 50°. Por lo que definiendo al radio de giro es el radio de la circunferencia que forma una trayectoria la rueda delantera externa del vehículo al hacer un giro.

Los vehículos además de ser clasificados como ligeros, pesados y especiales se desglosan en tipos, por lo que los vehículos del tipo (A) son aquellos que cuentan con dos ejes y cuatro ruedas, ejemplo:

Del tipo (A): Automóviles, camionetas, unidades ligeras de carga, etc.; Vehículos del tipo (B) son aquellos que cuentan con dos ó más ejes y 6 o más llantas, algunos vehículos de carga pueden ser tipo (B) ó (B). Según Mier (2006) en México el 58% son vehículos tipo (A) y 42% son tipo (B), de estos porcentaje se divide que del tipo (A) el 46% son automóviles (Ap) y 12% camionetas (Ac) y para el tipo (B) 12% son autobuses (B) y 30% camiones de carga, y que a su vez del porcentaje de camiones el 22% son camiones de 2 ejes (C2), 4% son de 3 ejes (T2-C3-S1), 2% de 4 ejes (T2-S2) y 2% de 5 ejes (T3-S2 y T2-S1-R2).

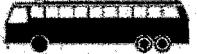
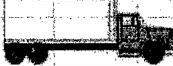
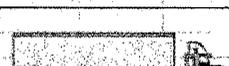
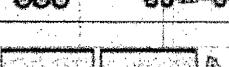
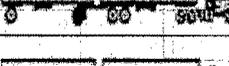
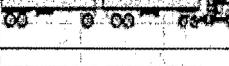
	TIPO: A2 AUTOMOVIL
	A2 CAM. LIGERO HASTA 3 TON
	B2 AUTOBUS 2EJES
	B3 AUTOBUS 3EJES
	C2 CAMION 2EJES
	C3 CAMION 3EJES
	T2-S1 TRACTOR 2EJES SEMIREMOLQUE
	T2-S2 TRACTOR 2EJES SEMIREMOLQUE ZEJE
	T3-S2 TRACTOR 3EJES SEMIREMOLQUE ZEJE
	T3-S3 TRACTOR 3EJES SEMIREMOLQUE ZEJE
	T3-S2-R2 TRACTOR 3EJES SEMIREM 2 EJES
	REMOL 2 EJES T3-S2-R3
	TRACTOR 3EJES SEMIREM 2 EJES REMOL 3 EJES
	T3-S2-R4 TRACTOR 3EJES SEMIREM 2 EJES REMOL 4 EJES

Figura 1. Clasificación de los vehículos

La relación peso potencia se reflejan en el peso del vehículo cargado y la potencia del motor con que cuenta, esta relación se refleja con la velocidad y tiempo de recorrido en las carreteras, siendo considerado más en vehículos pesados. Por lo que se toma de gran importancia para el proyecto de los caminos, tanto para el proyecto del alineamiento vertical como para el análisis de capacidad del camino; esta relación se expresa como el peso total del vehículo en kilogramos y la potencia neta del motor expresado en caballos de fuerza (HP).

La aceleración y desaceleración son unos de los factores más a tomar en cuenta, ya que el vehículo acelera cuando la fuerza tractiva que genera el motor es mayor que las resistencias que se oponen al movimiento del vehículo y desacelera cuando las resistencia que se oponen al movimiento son mayores que la fuerza tractiva generada, al igual cuando ambas fuerzas son iguales los vehículos tiendes a tomar una velocidad constante también conocida como velocidad de régimen. La necesidad de acelerar se genera cuando se requiere efectuar una maniobra de rebase, cuando se va a entrar a una pendiente ascendente, cuando se llega a un carril de aceleración o simplemente para disminuir el tiempo de recorrido, y desacelera cuando el camino advierte peligro, para salir de un camino de alta velocidad, cuando descende de pendientes descendentes o simplemente para disminuir la velocidad cuando se requiere. "Habrá ocasiones en que el vehículo pueda desacelerar o acelerar en mayor grado que el deseado por el conductor, como por ejemplo en las pendientes ascendentes y descendentes. En estos casos, toca al proyectista juzgar e interpretar los deseos del conductor, apoyado en las características de su vehículo y en función del uso del camino". (Mier; 1987: 30)

La faja de terreno de un camino debe estar acondicionada para el tránsito de vehículos. Los caminos se clasifican dependiendo de las características de éste, Primeramente existe la clasificación de transitabilidad en caminos pavimentados, caminos revestidos y caminos de terracerías, considerando los dos primeros con o transitables en todo tiempo y el tercero como transitable en tiempo de secas. La SCT clasifica los caminos como se muestra en la tabla siguiente:

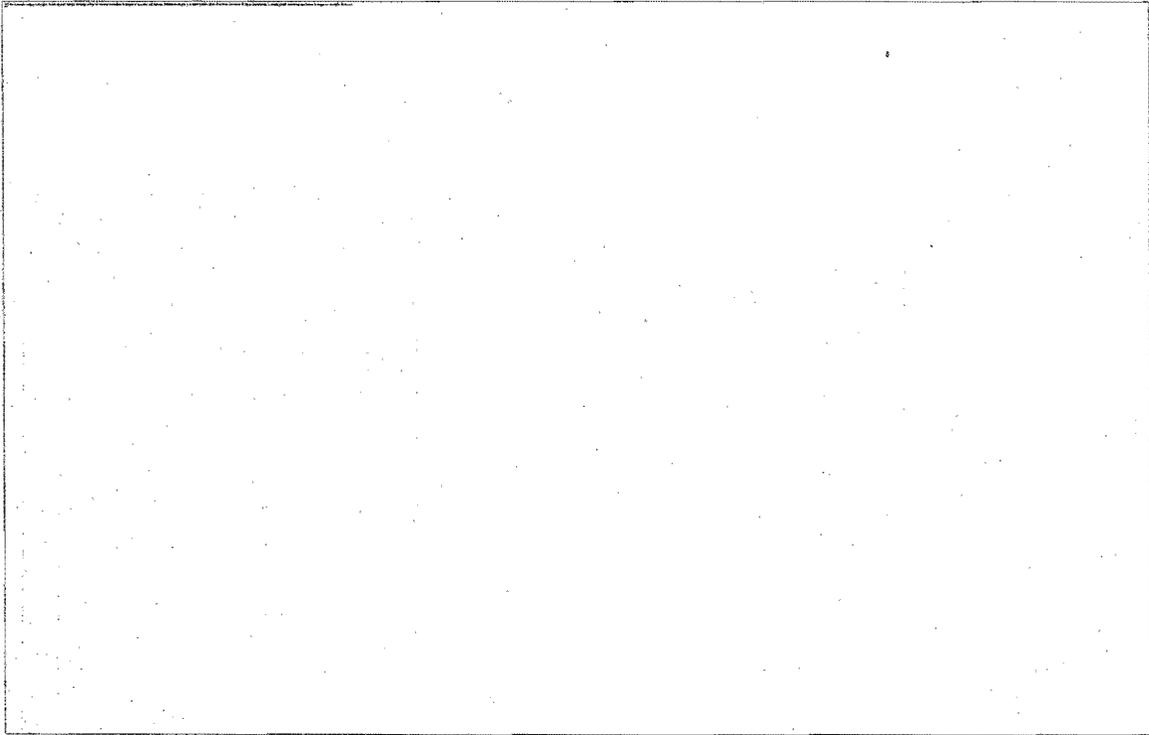


Figura 2. Clasificación de caminos.

Los caminos también son clasificados en la práctica popular como autopistas (de 4 carriles o más), Caminos de 2 carriles y Brechas. Al igual administrativamente son clasificados como caminos federales, de cooperación bipartita, cooperación tripartita y caminos de cuota.

#### **1.4. Velocidad.**

Coincidiendo con Mier (1987) la velocidad es primordial para el proyecto de un camino, ya que el buen funcionamiento de un camino se juzga por la rapidez y a la vez con la seguridad de tránsito. Rara es la vez que se utiliza la velocidad máxima

que desarrollan los vehículos, ya que muchas carreteras alcanzan altas velocidades pero se baja la velocidad por seguridad de los propios conductores.

Existen cuatro tipos de velocidades que se describen a continuación:

#### **1.4.1. Velocidad de proyecto.**

La velocidad de proyecto es la máxima que se puede desarrollar en un tramo carretero y que además ofrece la seguridad de transitar en él, así mismo la velocidad de proyecto se utiliza para el cálculo de las características de proyecto y del camino. La selección de la velocidad de proyecto se toma dependiendo de la topografía de la región, el tipo de camino, la cantidad de tránsito y el tipo de terreno. Una vez determinada la velocidad de proyecto para el camino, las características geométricas deben quedar condicionadas, con el fin de obtener un proyecto equilibrado.

Si se presentan características en un camino como terreno plano o en lomerío suave, se justifica que tendrá una velocidad de proyecto mayor a comparación de un terreno montañoso. O cuando un camino cuenta con un volumen grande de tránsito se justifica que el camino cuente con mayor velocidad de proyecto. Hay que procurar proyectar todo el camino con sólo una velocidad de proyecto, aunque no siempre es posible por las características del terreno como la topografía y tipo de suelo, hay que hacer las transiciones de velocidad suavemente, permitiendo a los conductores ajustar la velocidad suavemente y nunca bruscamente.

### **1.4.2. Velocidad de operación**

Esta velocidad es la mantenida por los vehículos que transitan en un tramo determinado de un camino sin necesidad de rebase, se obtiene al dividir la distancia recorrida entre el tiempo de recorrido.

La velocidad de operación a menudo se ve afectada por el volumen de tránsito que circula por el camino, por lo que cuando los volúmenes de tránsito son bajos, la velocidad de operación tiende a ser bastante cercana que la velocidad de proyecto, pero conforme el volumen de tránsito aumenta la velocidad de operación de los vehículos tienden a reducirse ocasionando así que los conductores no circulen a la velocidad deseada y empiezan a afectarse por interferencias con otros vehículos.

En cambio, si el volumen aumenta hasta aproximarse a la capacidad del camino, la velocidad de operación disminuye aún más por lo que ésta deja de estar determinada por la velocidad de proyecto.

“El proyecto debe realizarse para que el camino opere satisfactoriamente con velocidades de operación correspondientes a volúmenes de tránsito bajos; si esto se logra el camino también funcionara bien cuando los volúmenes aumenten” (Mier; 1987: 42). Deduciendo así que al fijar la velocidad de proyecto no deben tomarse en condiciones de operación tan cercanas a la capacidad del camino.

### **1.4.3. Velocidad de marcha.**

“La velocidad de marcha se obtiene dividiendo la suma de las distancias recorridas por todos los vehículos o por un grupo determinado de ellos, entre la suma de los tiempos de recorrido correspondientes” (Manual de Proyecto; 1974: 102).

En un camino la velocidad de marcha indica la calidad del servicio con la que cuenta el camino, por lo tanto, para proyectar es necesario conocer las velocidades de los vehículos y considerar la cantidad que circularan por el camino así también considerar diferentes volúmenes de tránsito.

En ocasiones no es posible obtener la velocidad de marcha, por lo que la velocidad de punto es representativa de la velocidad de marcha, y para obtenerse se logra promediando las velocidades de punto medias en varios sitios representativos de cada subtramo subdividido de la longitud del camino.

### **1.4.4. Velocidad de punto.**

Según Mier (1987), la velocidad de punto representa la velocidad que lleva un vehículo cuando este pasa por un punto determinado de un camino. Los valores para obtenerla, son el resultado del promedio de las velocidades en un punto de un grupo determinado de vehículos.

De acuerdo con el Manual de proyecto (1974), en la velocidad de punto quedan relacionados el usuario, el vehículo, el camino, el volumen de tránsito y la velocidad permitida. El clima puede influir en la velocidad de punto, afectando la visibilidad, condiciones de rodamiento o en los efectos psicológicos del conductor.

## **1.5. Volúmenes de tránsito.**

Partiendo de lo dicho por Mier (1987), el volumen de tránsito se puede definir como el número de vehículos que se mueven en una dirección dentro de un carril o carriles, y que pasan por un determinado punto del camino durante un cierto tiempo propuesto, ya sea por hora o por día.

El Volumen Promedio Diario Anual (VPDA) se obtiene del número de vehículos que pasan por un punto determinado del camino durante un año y este es dividido entre 365 días. Este método no se recomienda utilizar para el proyecto de un camino, ya que no muestra la variación durante los meses del año, las semanas ni los días.

El Volumen Máximo Horario Anual (VMHA) se obtiene del volumen horario más alto que se registre para un determinado año. Éste método es el más cercano a las condiciones reales de operación, pero al utilizarlo da como resultado obras bastante sobradas.

Para el proyecto de un camino no se debe exceder el volumen horario frecuentemente, por lo que para determinar el volumen horario del proyecto más apropiado es formando una grafica donde se muestren las variaciones del volumen horario durante el año. Esta gráfica se realiza ordenando todos los volúmenes horarios anuales y expresándolos como un porcentaje del Volumen Promedio Diario Anual en orden decreciente con respecto a la magnitud. Por lo que el punto donde cambia bruscamente la curva es el que define el Volumen Horario de Proyecto (VHP).

Según el Manual de Proyecto (1974), para obtener los volúmenes de tránsito en diferentes puntos de la carretera, se utiliza los estudios de origen y destino, los aforos por muestro y los aforos en estaciones permanentes.

#### **1.5.1. Estudio de origen y destino.**

El objetivo de éste estudio es el conocer básicamente el movimiento del tránsito, tomando en cuenta los puntos de partida y termino del viaje; además de obtener datos sobre el comportamiento del tránsito, así también como la magnitud e integración de éste y conocer la composición de los diversos tipos de productos que son transportados por el camino.

El método más utilizado y apropiado para éste tipo de estudio es la aplicación de entrevistas directas, con lo que se obtiene en forma rápida y eficiente el origen, destino y un punto intermedio del viaje de cada uno de los conductores entrevistados. Teniendo así registros de las rutas de los diferentes tipos de vehículos, modelos, marcas, longitudes de recorrido, productos o pasajeros que transportan en cada sentido y los volúmenes de los vehículos registrados.

#### **1.5.2. Muestreos de tránsito.**

Este método de muestreo integra contadores manuales o electromecánicos, registrando así los volúmenes de tránsito cada hora y clasificándolos en vehículos ligeros (A), Autobuses (B), y vehículos pesados (C).

Actualmente, debido al crecimiento de los volúmenes de tránsito en la red carretera y la variación en él, se cuenta con estaciones de aforo encargadas de

registrar el tránsito representativo de cada tramo y registrando así el tránsito promedio diario en un periodo de una semana, el cual combinándolo con las estaciones maestras dan como resultado un muestreo razonablemente cercano al tránsito promedio diario anual.

### **1.5.3. Estaciones maestras.**

Son estaciones permanentes en toda la red carretera, encargadas de complementar los muestreos de tránsito y los estudios de origen y destino. Estas cuentan con contadores automáticos los cuales registran las variaciones y comportamiento de las corrientes de tránsito durante todo el año.

Son utilizados dos tipos de contadores: Los neumáticos, los cuales detectan el número de ejes que pasan y los cuales toman lectura al cabo de 24 horas; y los eléctricos que registran cada hora el número de vehículos que cruzan por la estación. Mediante un muestro se obtiene la composición del tránsito, permitiendo así la equivalencia entre el número de vehículos y los ejes registrados.

Al analizar los datos obtenidos nos ayuda a estimar el volumen de tránsito y por consiguiente nos ayuda para el diseño de carreteras nuevas y el mantenimiento de las existentes, a continuación se verán algunos aspectos:

- 1) Obtención del tránsito actual, se necesita hacerlo representativo del tránsito promedio diario anual y esto se realiza con la ayuda del tránsito promedio diario semanal de alguna estación de muestreo por lo que el tránsito debe ser similar en ambas direcciones.

2) Cálculo del tránsito desviado o inducido, ayudándose de los estudios de origen y destino se obtiene el tránsito desviado probable, que dependerá del ahorro que represente a los usuarios, y en el empleo del camino en estudio, por costo, longitud y tiempo de recorrido.

3) La obtención del tránsito generado se realiza por medio de modelos matemáticos de tipo gravitatorio, que tomen en consideración la distancia y de costo de transporte entre las localidades y zona de influencia.

#### **1.5.4. Predicción del tránsito.**

La predicción del tránsito es una estimación de un tránsito futuro y para obtenerlo se requiere la ayuda de diferentes métodos estadísticos descritos a continuación:

“A) Con base en la extrapolación de la tendencia media, ajustando una curva de regresión a la tendencia histórica del crecimiento del volumen de tránsito y extrapolando dicha tendencia para obtener los valores futuros y los intervalos de confianza de esas predicciones.

B) Realizando un estudio de regresión múltiple entre el volumen de tránsito y otros elementos, como puede ser el consumo de gasolina, el registro de vehículos y Producto Nacional Bruto, extrapolando el crecimiento de los tres últimos, para obtener el volumen de tránsito futuro” (Manual de Proyecto; 1974: 99).

La elección de la hipótesis queda al criterio de las personas que están encargadas en la planeación o del proyecto.

## 1.6. Densidad de tránsito.

La densidad de tránsito se define como el número de vehículos dentro de un tramo de un camino en un momento determinado.

Suele confundirse con el volumen de tránsito debido a que cuando se analiza el número de vehículos que pasan por unidad de tiempo, dando así a entender que cuando un camino se encuentra congestionado el volumen de tránsito baja a ser igual a cero en tanto que la densidad tiende a ser muy alta.

Por lo que la relación entre la densidad, el volumen y la velocidad se expresan en la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen de tránsito} = \text{Velocidad} \times \text{Densidad}$$

"Se puede observar que si la velocidad permanece constante, existe una relación lineal entre el volumen y la densidad, pero la realidad es que, al aumentar el volumen, siempre disminuye la velocidad con que pueden viajar los conductores y la relación entre volumen y densidad resulta que no es lineal en la práctica" (Mier; 1987: 55).

Según Mier (1987), Los primeros datos sobre los volúmenes de tráfico de las carreteras provienen de 1940. En esa fecha sólo un 3% de la red era usada con intensidad.

Para 1973, la red usada intensamente significaba el 16%.

## 1.7. Derecho de vía.

Según Mier (1987), el derecho de vía se define como la franja de terreno adquirida para alojar una vía de comunicación, el ancho de la vía en México debe de tener una amplitud mínima de cuarenta metros, veinte metros a cada lado del eje, reduciendo este ancho en las calles en zonas urbanas. Algunas veces puede ser ampliada como en autopistas y en otros casos ser disminuida como en brechas de un solo carril de circulación.

El derecho de vía debe establecerse tomando en cuenta las condiciones técnicas relacionadas con la seguridad, utilidad especial y eficiencia del servicio de tránsito.

Para poder adquirir el derecho de vía en la república mexicana los procedimientos varían de acuerdo al tipo de camino, atendiendo así los fondos con que se construirá ya sean federales, de cooperación bipartita, o de cooperación tripartita.

Cuando son caminos federales, el procedimiento a seguir queda definido por el articulado en la "Ley de Vías Generales de Comunicación", expedido el 30 de diciembre de 1939.

"El trámite de la documentación y el pago de las afectaciones se hace por mediación de la Dirección General de asuntos Jurídicos, Departamento de Derecho de Vía de la secretaría de Obras Pública; presentando los documentos comprobatorios de la propiedad y valuando las afectaciones con precios unitarios ya establecidos en la propia secretaría", (Mier; 1987: 58)

## **1.8. Capacidad y nivel de servicio.**

La capacidad tiende a marcar la medida de eficiencia con que cuenta un camino, "el nivel de servicio determina las condiciones de operación que un conductor dado experimenta durante un viaje, cuando los volúmenes de tránsito están por debajo de la capacidad, ya que la capacidad es en realidad uno de los tantos niveles a que puede operar el camino" (Mier; 1987: 59). El volumen de tránsito tiende a variar el nivel de servicio.

La capacidad de un camino se puede definir como el número máximo de vehículos que circulan por tal camino, en condiciones del tránsito y el tiempo. El periodo de tiempo con que se contará la capacidad del camino debe ser perfectamente definido; por lo que, para periodos cortos por ejemplo de una hora o menos, la capacidad es igual al máximo tránsito sostenido para el periodo de tiempo especificado; y para periodos largos por ejemplo de un día o un año, la capacidad solo depende de los deseos de los conductores, los cuales crean variaciones horarias diarias y estacionales en un promedio del volumen que da como resultado la suma total de utilización del camino expresado en un porcentaje del tiempo total, al ser la demanda máxima.

El nivel de servicio se define como la medida cualitativa de una serie de factores, como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la seguridad, comodidad y libertad de manejo, los costos de operación, entre otros, que determinan condiciones de operación variables que ocurren en un camino al presentarse variación en los volúmenes de tránsito.

## 1.9. Distancia de visibilidad.

La distancia de visibilidad de parada, se define como la distancia mínima necesaria con que cuenta un conductor de un vehículo que se mueve a la velocidad de proyecto, para que pueda detenerse antes de llegar a un punto fijo en la misma línea de circulación que lleva. La distancia de visibilidad de parada toma en cuenta que el ojo del conductor esta a 1.15 metros sobre el pavimento.

La distancia de visibilidad de parada se compone de dos términos: la distancia recorrida desde el momento que se percibe un objeto en su línea de acción hasta el momento en el cual el conductor coloca su pie en el pedal de freno ( $d_r$  o distancia de reacción) y la distancia que recorre al ser aplicado el freno hasta parar por completo el vehículo ( $d_f$  o distancia de frenado).

En los caminos que cuentan de dos sentidos con dos carriles generalmente los vehículos que transitan rápidamente llegan a rebasar a los que circulan más lentamente, por lo que en un determinado tiempo llegan a ocupar el carril del sentido contrario para hacer el rebase con seguridad, el conductor observa adelante del camino libre de vehículos y busca obtener una distancia suficiente para llevar a cabo la maniobra sin interrumpir la marcha del vehículo a ser rebasado además de evitar tropezar con el tránsito opuesto. Por tal motivo la distancia de visibilidad de rebase se debe determinar tomando en cuenta los factores anteriores.

Cuando sean caminos de muy bajas especificaciones y fuertes pendientes es aconsejable proporcionar carriles auxiliares de ascenso al camino, donde puedan alojarse los vehículos pesados mientras los rebasan los ligeros.

## **1.10. Mecánica de suelos.**

La definición de la mecánica de suelos, se puede determinar como la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales en el estudio de la aplicación de cargas sobre la corteza terrestre.

### **1.10.1. Propiedades de los suelos.**

La mecánica de suelos es la rama de la Ingeniería Civil que estudia la aplicación de las leyes de la mecánica hidráulica en el estudio de los sedimentos.

Según Arias (1984) el suelo es un material formado por partículas minerales con propiedades, y que estas afectan al comportamiento de las obras civiles, dichas propiedades de los suelos son:

1.- La compresibilidad, afecta a cualquier material que tiende a deformarse al aplicarle una fuerza.

2.- Resistencia al corte, esta se refleja al aplicarle una fuerza a un material, y es cuando existe una fuerza llamada de cortante, siendo el esfuerzo límite de corte el cual causará la falla en el suelo por fractura o por flujo plástico.

3.- Permeabilidad, Muestra la facilidad con que el agua fluye a través de un suelo, estando éste sujeto a un gradiente hidráulico dado.

El suelo en su composición, además de minerales cuenta con vacíos que pueden estar o no llenos de agua.

Para distinguir el suelo de la roca, tenemos que el suelo puede ser disgregado por medios manuales por contar con una cementación nula, mientras que en el caso de las rocas se puede observar y sentir una cementación gradual y no es fácil su disgregación.

La desintegración mecánica y descomposición química son procesos por los cuales es posible la alteración de rocas y por consecuencia dan origen a los suelos. La desintegración mecánica puede surgir por: la congelación de agua, cambios de temperatura, efectos de los organismos, esfuerzos tectónicos, efectos abrasivos del agua y el viento, efectos telúricos y efectos de gravedad; Mientras que la descomposición química puede presenciarse debido a la presencia de agua y otras sustancias naturales, por ejemplo, al reaccionar el ácido carbónico producido por el agua y el bióxido de carbono natural en el aire, y que estos elementos al chocar con las rocas dan origen a suelos limosos y arcillosos que a vez dan origen a los suelos de Illita.

#### **1.10.2. Tipos de suelos.**

a) Suelos residuales: Son aquellos que permanecen en el sitio donde se formaron, son originados por el deslave de las rocas y a la lluvia que lava y disuelve los materiales de las rocas.

b) Suelos trasportados: Son aquellos suelos que han sido trasportados desde su lugar de origen, los causantes del transporte de este tipo de suelos son: el agua, el viento, los glaciares, la gravedad, etc. Conforme han sido trasportados estos suelos se clasifican a su vez en diferentes tipos de suelos.

- **Suelos Aluviales:** Existen dos tipos de suelos aluviales, que son los depósitos de gruesos y los finos, estos formados principalmente por la corriente del agua que los transporta: Los suelos aluviales de depósitos gruesos se forman cuando existe gran velocidad del agua, formando así los bancos de grava, cantos rodados o arenas en los lechos de los ríos; En cambio, los suelos aluviales de depósitos finos se generan al reducir la velocidad el agua, formando así llanuras de materiales finos como las arcillas y limos.

- **Suelos Lacustres.** Son suelos que se forman algunas veces por el acarreo del agua, pero principalmente se forman cuando un río pierde velocidad por lo que da origen a la formación de depósitos de partículas pequeñas y finas.

- **Suelos Eólicos.** Son los suelos que se forman por el movimiento de las partículas debido al viento, los tipos de suelo son las Dunas o Médanos, los Loess entre otros. Las Dunas son formadas en estado suelto por el viento, por lo que presentan formas suaves y uniformes, aunque algunas veces se pueden encontrar compactadas debido a los efectos de la lluvia. Los Loess, se forman principalmente por polvos de arcilla y limos en regiones donde se encuentra vegetación, los Loess presentan la característica de ser colapsables, aunque algunas veces al igual que las Dunas se presentan compactados por efecto de las lluvias, por los que se les conoce como Loess modificado y presentan una gran resistencia.

- **Depósitos de Pie de Monte.** Son suelos formados por el efecto de la gravedad en diferentes tipos de materiales, ya sean de fragmentos de roca, materiales finos como la arcilla o el limo, gravas, arenas y algunas veces de materia orgánica.

### 1.10.3. Estructura de los suelos.

A la estructura de un suelo se le conoce como la ubicación, arreglo y orientación de sus partículas, existen suelos gruesos y finos, según su tamaño se clasifica de la siguiente manera:

7.6 cm > suelos gruesos > 0.074 mm (Malla No. 200) > Suelos finos

Nombre	Límites de tamaño	Ejemplo vulgar
Bolco	305 mm (12 plg) o mayores	Mayor que una pelota de balón-cesto
Canto rodado	76 mm (3 plg) a 305 mm (12 plg)	Toroña
Grava gruesa	19 mm (¾ plg) a 76 mm (3 plg)	Limon o naranja
Grava fina	+76 mm (T. No. 4) a 19 mm (¾ plg)	Chicharo o uva
Arena gruesa	2 mm (T. No. 10) a +76 mm (T. No. 4)	Sal mineral
Arena mediana	0.42 mm (T. No. 40) a 2 mm (T. No. 10)	Azúcar o sal de mesa
Arena fina*	0.074 mm (T. No. 200) a 0.42 mm (T. No. 40)	Azúcar en polvo
Finas	Menores que 0.074 mm (T. No. 200)	

\* Las partículas menores que la arena fina no se pueden distinguir a simple vista a una distancia de 29 cm.

Figura 3. Clasificación de tamaños de partículas.

Para identificar a los suelos gruesos, debemos observar que la estructura de sus partículas se apoya una sobre la otra de forma continua, formándose de esta forma debido a la gravedad de su propio peso. Mientras que la estructura de los suelos finos es más compleja, ya que la estructura de los suelos finos se determinan por fuerzas electromagnéticas de las propias partículas.

#### 1.10.4. Propiedades Volumétricas y Gravimétricas

La composición de los suelos, se puede definir como un sistema de partículas cuyos espacios libres pueden estar o no ocupados por partículas de agua total o parcialmente, llegándose a concluir así, tres estados de la materia en un suelo, como son: la sólida, la líquida y la gaseosa. Para identificar a los suelos se acostumbra a idealizar una muestra de suelo de la siguiente manera:

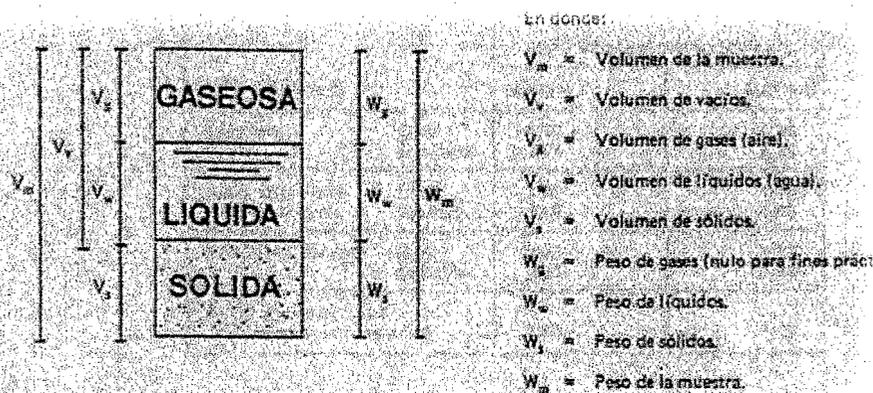


Figura 4. Fases de los suelos.

Los suelos que cuentan con fases sólidas y líquidas se determinan como suelos saturados, un suelo con fase sólida y gaseosa es un suelo seco y un suelo con las tres fases sólido, líquido y gaseoso es un suelo parcialmente saturado.

#### 1.10.5. Relación entre volúmenes y pesos.

a) Relación de vacíos. La relación de vacíos ó también conocida como e, es la relación entre volumen de vacíos y el volumen de sólidos de un suelo. La medida de esta relación es adimensional y los valores se encuentran de 0 a  $\infty$ .

$$e = \frac{V_v}{V_s} \text{ Algunos valores usuales son:}$$

$e$	Suelo
0.25	Arenas muy compactas
0.85	Arenas limosas
1.00	Arena fina uniforme
1.20	Limo uniforme
6.00	Arcillas muy compresibles (Cd. De México)
15.0	Arcillas altamente compresibles

b) Porosidad. Se le conoce como porosidad de un suelo a la relación entre volumen de vacíos y el volumen de su masa. Físicamente, la porosidad se refleja al ver cuántos huecos tiene una muestra de suelo. La porosidad es obtenida de manera porcentual y sus valores se encuentran de 0 al 100%.

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100 \text{ Algunos valores de porosidad son:}$$

$n$	Material
20%	Arenas muy compactas
90%	Arcillas muy compresibles
100%	Aire

c) Grado de saturación. Se le conoce como saturación a la relación entre el volumen de agua de un suelo y su volumen de vacíos. La saturación nos permite observar si un suelo es seco, parcialmente saturado o saturado tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

<b>Grado de Saturación</b>	<b>Tipo de Suelo</b>
0%	Suelo seco
1-99%	Suelo parcialmente saturado
100%	Suelo totalmente saturado

Para calcular el porcentaje de saturación tenemos la siguiente expresión:

$$G_w (\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

d) Contenido de agua. La relación del peso del agua entre el peso de la fase sólida de una muestra de suelo, es a lo que se le conoce como contenido de agua, el cual se expresa en porcentaje y se obtiene de la siguiente expresión:

$$w (\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

El contenido de agua porcentual varía de 0 a  $\infty$ , a continuación tenemos algunos contenidos de humedad de suelos diferentes.

<b>W</b>	<b>Suelo</b>
19%	Arena densa
40%	Arcilla glacial saturada
200%	Arcilla Bentonítica
300-600%	Arcillas compresibles (Cd. De México)
1000%	Arcillas altamente compresibles

### 1.10.6. Pesos específicos o volumétricos.

*Peso específico húmedo.* Para la obtención de peso específico húmedo, es necesario obtener el peso total de la muestra y dividirlo entre el volumen de la misma, las unidades obtenidas tenemos que son ton/m<sup>3</sup>.

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

A continuación se presentan algunos ejemplos de pesos específicos:

TIPO DE SUELO		PESO VOLUMETRICO (ton/m <sup>3</sup> )	
		MAXIMO	MINIMO
Tepetates	Secos	1.60	0.75
	Saturados	1.95	1.30
Arena de grano en Tamaño uniforme	Seca	1.75	1.40
	Saturada	2.10	1.85
Arena bien graduada	Seca	1.90	1.55
	Saturada	2.30	1.95
Arcilla típica del valle de México en condiciones naturales.		1.5	1.20

*Peso específico seco.* Para la obtención del peso específico seco, es necesario obtener el peso total de los sólidos y dividirlo entre el volumen de la misma, las unidades obtenidas tenemos que son ton/m<sup>3</sup>.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

A continuación se presentan algunos ejemplos de pesos específicos secos:

<b>RELACIONES DE VACIOS Y PESOS ESPECIFICOS</b>				
<b>TIPICOS DE ESTRUCTURAS DE CONTACTO</b>				
Descripción del suelo	Relación de vacíos		Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	
	Máx.	Mín.	Min.	Máx.
Arena subangular uniforme	0.85	0.50	1 890 sat.	2 100 sat.
Arena subangular de buena graduación	0.70	0.35	1 970 sat. 1 550 sec.	2 230 sat. 1 950sec.
Grava arena limosa de muy buena graduación	0.65	0.25	2 000 sat. 1 600 sec.	2 320 sat. 2 110 sec.
Arena y limo micáceos	1.25	0.80	1 760 sat. 1 200 sec.	1 950 sat. 1 510 sec.

*Peso específico sumergido.* Al encontrarse un suelo sumergido en agua, éste experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del volumen de agua desalojada, lo cual es conocido como el principio de Arquímedes. Se expresa en ton/m<sup>3</sup>.

$$\gamma' = \frac{W_m}{V_m} - \gamma_o$$

Donde ( $\gamma_o$ ), representa al peso específico del agua el cual es el peso el agua por unidad de volumen, a 4° C y al nivel del mar. Debido a la temperatura el valor de ( $\gamma_o$ ) puede variar por lo que para su obtención se aplica la siguiente expresión:

$$\gamma_o = \gamma_w = 1 \text{ ton/m}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$$

A continuación se presentan algunos ejemplos de pesos específicos sumergidos:

Suelo	$\gamma_d$ (ton/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (ton/m <sup>3</sup> )
Arena uniforme suelta	1.43	1.89	0.89
Arena uniforme compacta	1.75	2.09	1.09
Arcilla blanda	-	1.43	0.43
Arcilla muy blanda	-	1.27	0.27

*Peso específico relativo.* Para la obtención del peso específico relativo, se entiende como la relación entre el peso específico de una sustancia y el peso específico del agua, dando así un resultado adimensional.

$$S_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_o} = \frac{W_m}{V_m \gamma_o}$$

Sin embargo es más práctico usar el peso específico relativo de los sólidos, también llamado como densidad de sólidos, la cual también es adimensional y se obtiene con la siguiente expresión:

$$S_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_o} = \frac{W_s}{\gamma_o V_s}$$

A continuación se presentan algunos ejemplos de minerales de rocas de sus propiedades físicas y pesos específicos relativos:

PRINCIPALES MINERALES DE ROCAS Y SUELOS					
Grupo mineral	Variiedad	Dureza*	Color	Exfoliación	Peso esp. Rel.
Silíce	Cuarzo	7	Incoloro-blanco	Ninguna	2.66
	Pedernal	7	claro	Ninguna	2.66
Feldespató	Ortoclasa, microlina	6	Blanco-rosado	Ángulo recto	2.56
	Plagioclasas	6	Blanco-gris	Ángulo recto Sup. estriada	2.6-2.75
Mica	Moscovita	2 - 2.5	Plateado	Escamosa fina	2.75-3.0
	Biotita	2.5 - 3	Oscuro	Escamosa fina	
Ferromagnesiano	Piroxena: augita	5 - 6	Negro	Ángulo recto	3.1-3.6
	Anfibol: hornablenda	5 - 6	Negro	Ángulo oblicuo	2.9-3.8
	olivino	6 - 5.7	Verdoso		3.3
Óxidos de hierro	Limonita, magnetita	5 - 6	Rojo, ama, neg.		5.4
Dalcita**	Cristalina a terrosa	3	Blanco-gris	3 caras del	2.7
Dolomita***	Cristalina a terrosa	4	Blanco-gris	paralelogramo	2.8
Minerales arcillosos	Caolinita, Ilita	1	Blanco	Terrosa	2.2-2.6
	Montmorilonita				
Celulosa				Fibrosa	1.5-2

\* Dureza: uña = 2, moneda de cobre = 3, cortaplumas = 5, vidrio = 5.5.

\*\* Efervescencia con ácido clorhídrico frío.

\*\*\* Ligera efervescencia con ácido frío.

*Compacidad relativa.* Para la obtención de la compacidad de un manto de estructura simple, Terzaghi en el laboratorio determino una expresión empírica denominada compacidad relativa.

$$Cr (\%) = \frac{e_{m\acute{a}x} - e_{nat.}}{e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{i}n.}} \times 100$$

Donde  $e_{nat.}$  es la relación de vacíos natural y que se puede determinar en el laboratorio con la siguiente expresión.

$$e_{nat.} = e = \frac{Ss Vm \gamma_o}{W_s} - 1$$

Para obtener la relación de vacíos máxima ( $e_{m\acute{a}x}$ ), sólo se debe secar la muestra completamente en un horno, y después vaciar el suelo ya seco en un recipiente el cual debe ser de volumen conocido, se debe cuidar vaciarlo lentamente para evitar que este se compacte.

Para la obtención de la relación de vacíos mínima ( $e_{m\acute{i}n.}$ ), se debe introducir el suelo seco en un recipiente de volumen conocido y en forma de capas, varillando en cada capa y vibrando enérgicamente logrando así una compacidad alta, una vez el recipiente lleno se procede aplicar convencionalmente la expresión y así calcular la relación de vacíos natural, pero con datos obtenidos de la muestra anterior.



Identificación en el campo (incluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)		Símbolo del grupo <sup>1</sup>	Nombres típicos	Información necesaria para la descripción de los suelos
<p>Suelos de arena gruesa. Más de la mitad del material es retenido por el tambo No. 20(2). Además de al tamaño de la arena gruesa apreciable a simple vista)</p> <p>Arenas más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tambo No. 4. (Para la clasificación véase el cuadro siguiente que lo subdivide del tambo No. 4 equivalente a subclase centímetros)</p>	<p>Gravas limpias (con pocos finos o sin ellos)</p>	<p>Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios</p>	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arenas con pocos finos o sin ellos
		<p>Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos tamaños intermedios</p>	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos
	<p>Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)</p>	<p>Fracción fina no plástica (para la identificación ver el grupo ML más abajo)</p>	GM	Gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo
		<p>Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)</p>	GC	Gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla
	<p>Arenas limpias (con pocos finos o sin ellos)</p>	<p>Amplia gama de tamaños y cantidades apreciables de todos los tamaños intermedios</p>	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos
		<p>Predominio de un tamaño o un tipo de tamaño, con ausencia de algunos tamaños intermedios</p>	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con pocos finos o sin ellos
	<p>Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)</p>	<p>Finos no plásticos (para identificación ver el grupo ML más abajo)</p>	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas
		<p>Finos plásticos (para identificación ver el grupo CL más abajo)</p>	SC	Arenas arcillosas, mezclas mal graduadas de arena y arcilla

Dise el nombre típico; indiquense los porcentajes aproximados de grava y arena, tamaño máximo, angulosidad, estado superficial y dureza de los granes gruesos; el nombre local o geológico y cualquier otra información o descripción pertinente y el símbolo este ya  
reñido

Para los suelos inalterados agréguese información sobre estratificación, compactación, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje

Ejemplo:  
Arenas limosas, con grava; aproximadamente un 20% de partículas de grava angulosa de 1.5 cm de tamaño máximo; arenas gruesas a finas, con partículas redondeadas a subangulosas; alrededor del 15% de finos no plásticos; con baja resistencia en estado seco compacta y hinchada in situ; arena aluvial;  
(SM)

Figura 5a. Partículas gruesas mayores a 7.6cm (3").

**Métodos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz No. 40.**

	Existencia en estado seco (a la disgregación)	Distancia (posición a la agitación)	Tenacidad (constancia cerca del límite plástica)			
Limas y arcillas con límite superior de 50	Nula a ligera	Rápida a lenta	Nula	<i>ML</i>	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas con ligera plasticidad	Des de nombre típico; indique el grado y carácter de la plasticidad; la cantidad y el tamaño máximo de las partículas gruesas; color del suelo húmedo, olor al lo tocare, nombre local y geológico; cualquier otra información descriptiva pertinente y el símbolo entre paréntesis
	Medio a alta	Nula a muy lenta	Medio	<i>CL</i>	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a medio, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras	
	Ligera a medio	Lenta	Ligera	<i>OL</i>	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	
Limas y arcillas con límite superior mayor de 50	Ligera a medio	Lenta a nula	Ligera a medio	<i>MH</i>	Limos inorgánicos, suelos limosos o arcillosos finos plásticos o con diatomas, limos albiticos	Para los suelos inalterados agréguese información sobre la estructura, estratificación, consistencia, tanto en estado inalterado como remoldado, condiciones de humedad y drenaje
	Alta a muy alta	Nula	Alta	<i>CH</i>	Arcillas inorgánicas de plasticidad elevada, arcillas grasas	
	Medio a alta	Nula a muy lenta	Ligera a medio	<i>OH</i>	Arcillas orgánicas de plasticidad medio a alta	
Suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificables por su color, olor, sensación esponjosa y fuertemente por su textura fibrosa			<i>Pt</i>	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Ejemplos: Limo arcilloso, marlón; ligamente plásticos; porcentaje reducido de arena fina; numerosas pequeñas veredas de raíces; firme y seco in situ; (ML)

Suelos de grano fino. Más de la mitad del material pasa por el tamiz No. 200 (Elaboración del tamiz No. 200 corresponde a los procedimientos de identificación para la fracción que pasa por el tamiz No. 40.)

Figura 5b. Partículas menores que pasan la malla No. 40.

Criterios de clasificación en el laboratorio	
$C_U = \frac{D_{20}}{D_{10}}$ Mayor de 4 $C_G = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3	No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las GU
	Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" o $I_p$ menor de 4 Límites de Atterberg por encima de la línea "A" con $I_p$ mayor de 7
$C_U = \frac{D_{20}}{D_{10}}$ Mayor de 6 $C_G = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3	No satisfacen todos los requisitos granulométricos de las SU
	Límites de Atterberg por debajo de la línea "A" o $I_p$ menor de 4 Límites de Atterberg por encima de la línea "A", con $I_p$ mayor de 7

Utilícese la curva granulométrica para identificar las fracciones de arena incluidas en la categoría de clasificación en el campo.  
 Diferencie las curvas granulométricas para identificar las fracciones de arena incluidas en el campo.  
 Según el porcentaje de arena y acerca a partir de la curva granulométrica.  
 Según el porcentaje de arena (fracción que pasa por el tamal No. 200) los suelos  
 gruesos se clasifican como sigue:  
 Menos del 50% GW, GP, SW, SP  
 Más del 50% GM, GC, SM, SC  
 Otros límites que requieren el empleo de  
 símbolos dobles

Fig. 4. Partículas menores que pasan la malla No. 40.

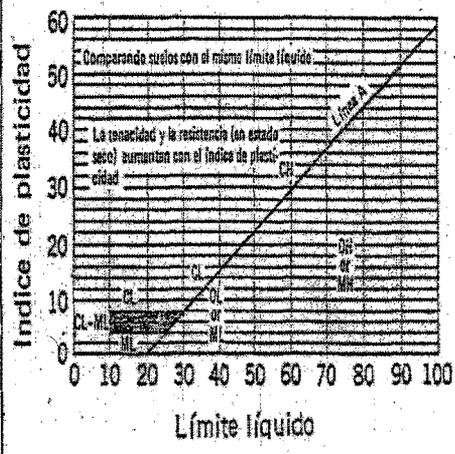


Figura 5c. Gráfica de plasticidad de ayuda en laboratorio.

La granulometría como parte de la Mecánica de Suelos, es la encargada de estudiar las formas y distribución de tamaños de las gravas o partículas que constituyen los suelos. "En lo que respecta a las formas, las más comunes de las partículas de cualquier suelo pueden manifestarse en equidimensionales, placas y tubulares. Las primeras son propias de los suelos gruesos, las placas en las arcillas micas y las tubulares que son las menos comunes se forman a partir de placas enrolladas, propias de algunas arcillas. Las formas equidimensionales se acostumbra subdividir en muy redondeadas, redondeadas, subredondeadas, subangulares y angulares. En suelos con características de este tipo (angulares), existe una mayor trabazón entre partículas, la cual hace posible a comparación de suelos están constituidos por partículas con forma subredondeada o redondeada." (Arias; 1984: 32)

El análisis granulométrico es aplicable en aquellos suelos donde existe variación de tamaños entre el rango de 0.074 y 76.2 mm. La experimentación de con suelos gruesos graduados nos indica que estos suelos cuentan con una amplia gama de tamaños, por lo que tienen un comportamiento mecánico e hidráulico más favorable que los suelos con granulometría muy uniforme o uniforme.

La medición de tamaños de las partículas de los suelos puede efectuarse mediante dos formas distintas:

a) Análisis Directo. Esta medición se puede realizar con partículas del suelo de más de 3 pulgadas de tamaño y con aparatos de medición (Vernier).

b) Medición con mallas. Este análisis mecánico se usa principalmente en suelos gruesos y consiste básicamente en ordenar en forma descendente una serie de mallas normalizadas (entre siete u ocho mallas).

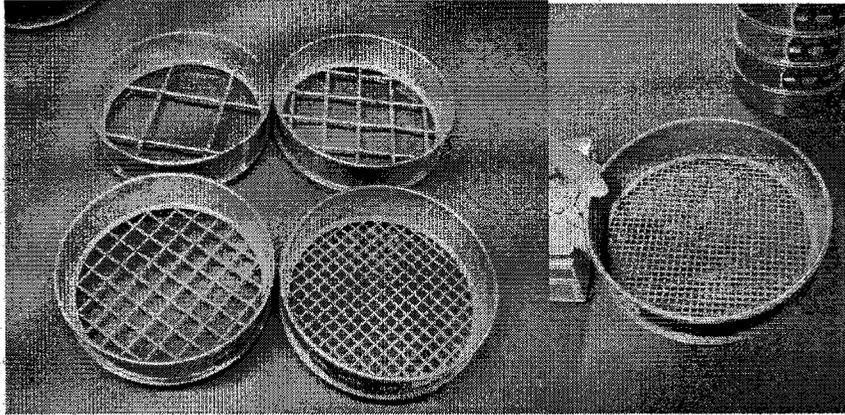


Figura 5.1. Tamaño de las mallas.

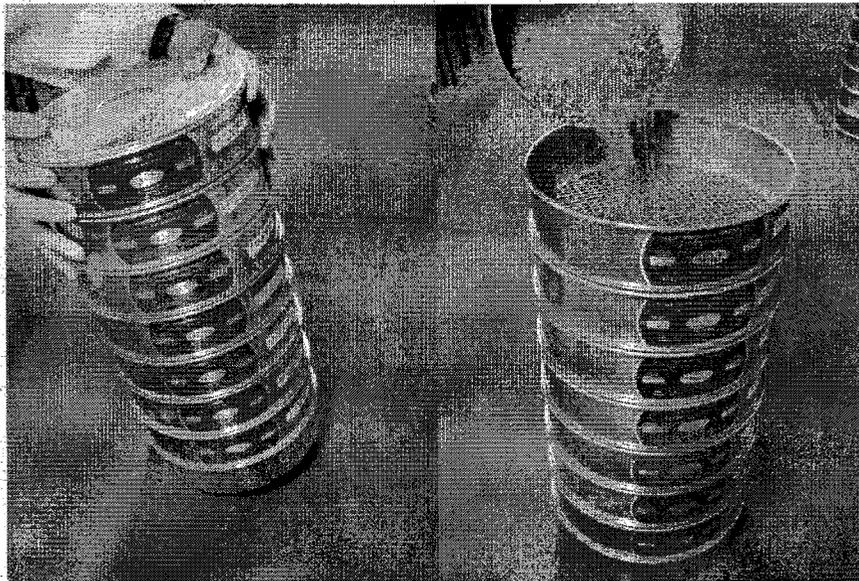


Figura 5.2. Ejemplo de tamizado.

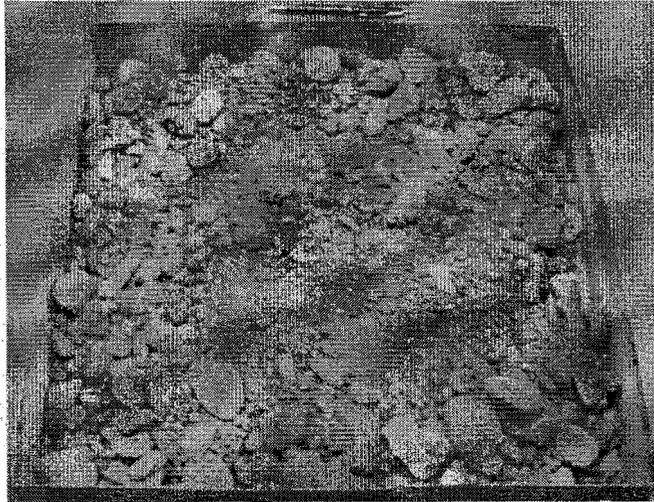


Figura 5.3. Muestra original de suelo.

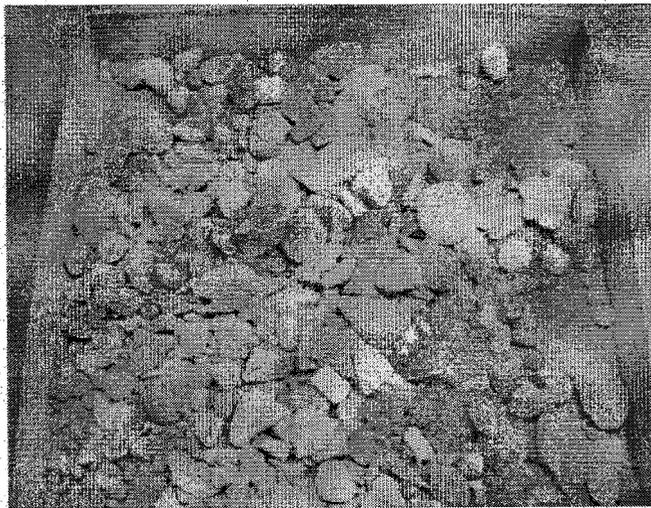


Figura 5.4. Muestra retenida en la malla de 4.75 mm.

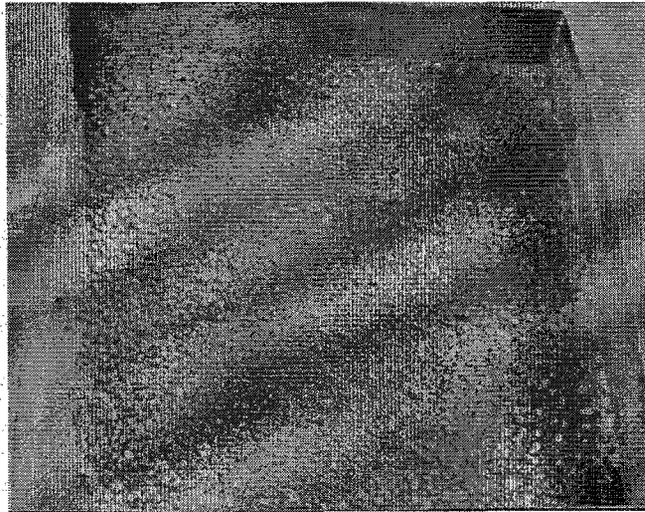


Figura 5.5. Muestra que pasa en la malla de 4.75 mm.

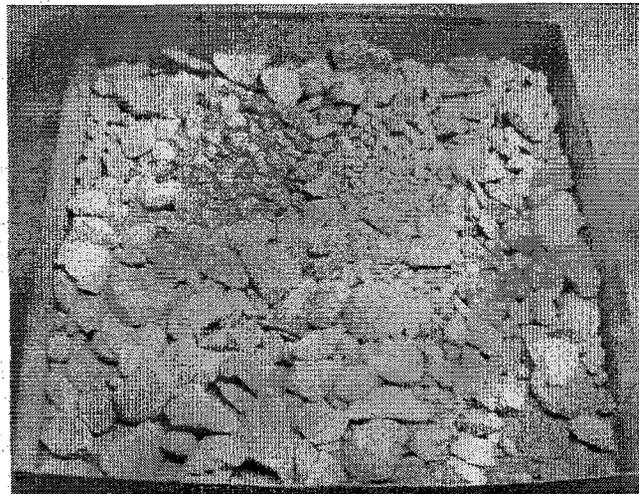


Figura 5.6. Después de pasarla por la malla #4 se lava para quitar las partículas más finas.

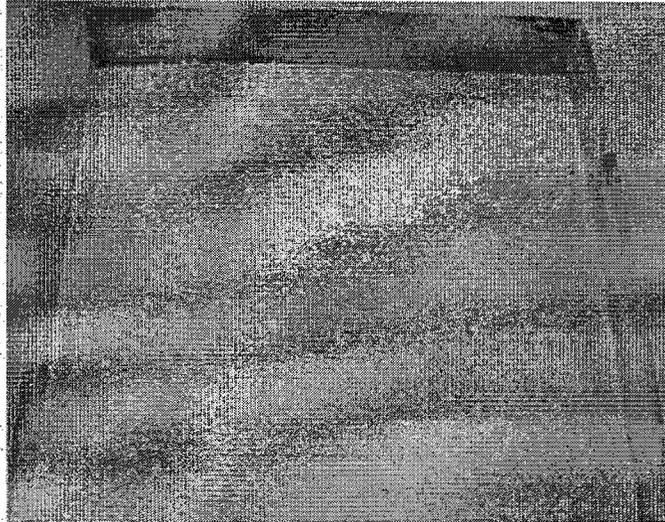


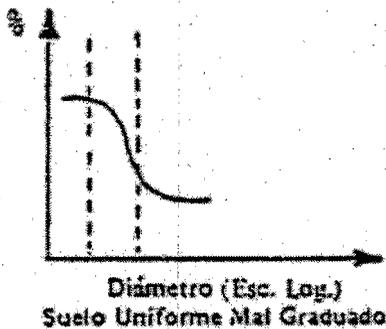
Figura 5.7. Después de pasarla por la malla #200 se lava para quitar las partículas más finas.

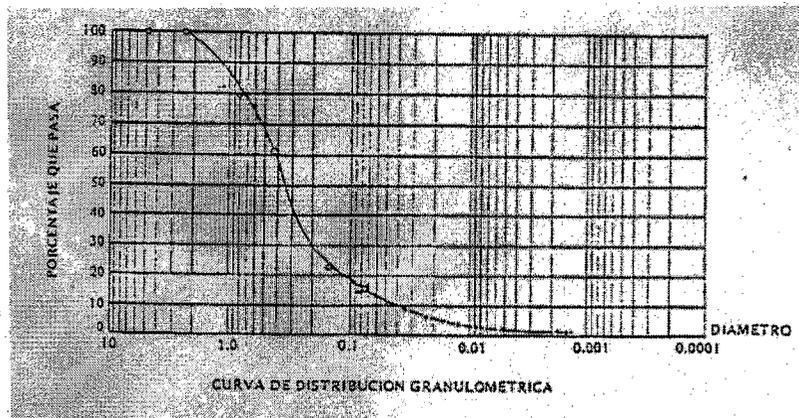
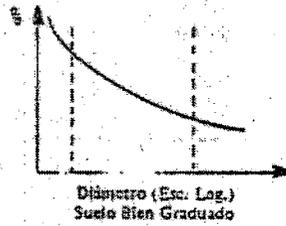
La distribución de las partículas con tamaño superior a 0.075 se determina mediante tamizado, con una serie de mallas normalizadas.

Para partículas menores que 0.075 mm al no existir mallas menores que el No. 200 se utiliza el procedimiento llamado hidrómetro, "que consiste en establecer una mezcla homogénea de suelo-agua y que se basa principalmente en la hipótesis de Stokes, que nos dice que la velocidad de sedimentación de las partículas grandes es mayor que la de las pequeñas. Para obtener resultados aún más exactos, se puede pasar por el hidrómetro varias veces" (Arias; 1984: 32).

La curva granulométrica es la distribución de una gran variedad de tamaños de las partículas que conforman los suelos, ya que "tiene un mejor comportamiento ingenieril que un suelo en el cual no existe esta distribución; por ejemplo, para una carga que actúa sobre dos suelos uno bien graduado y otro uniforme, se tendrá menos concentración de esfuerzos en el suelo bien graduado que en el uniforme, ya que en el suelo bien graduado, los huecos que existen entre las partículas de mayor tamaño los ocupan otras de menor tamaño y a su vez los huecos que existen entre estas últimas las ocupan otras aun más pequeñas, a así sucesivamente, lo que no sucede en el suelo uniforme, lo que disminuye su capacidad de carga; si suponemos un mismo origen geológico para los granos que constituyen ambos suelos." (Arias; 1984: 33).

Por lo tanto, una curva de distribución granulométrica nos indica en general el tamaño de los granos y la buena o mala graduación que existe en ellos, obteniendo así curvas como las que se muestran a continuación:





Para la obtención en un suelo de la curva granulométrica se utiliza generalmente la siguiente tabla.



## CAPÍTULO 2

### DRENAJE

En el presente capítulo se estudiará el tema relacionado con el drenaje en las vías terrestre, debido a que es un tema importante y la base principal de la presente tesis; es por ello, que se verán todo lo relacionado en conceptos y definiciones relacionados al tema.

#### 2.1. Antecedentes.

Hablar de los primeros caminos, según Mier (1987), construidos de forma científica que existieron en la historia para el transporte destinado al comercio o con fines militares, es remontase a la época de los romanos; ya que fue la necesidad de construir caminos que se mantuvieran estables y por más tiempo, lo que origino la necesidad de mejorarlos y evitar que estos se destruyeran por causa del agua, es en esta época cuando comienzan a existir las primeras observaciones y diseños de obras de drenaje.

Según Crespo (2005), el agua excesiva es la causa principal del deterioro de los caminos, por lo que ésta, debe escurrir por las obras de drenaje para evitar que las terracerías se reblandezcan, pierdan estabilidad, originen baches y por consecuencia se destruya el pavimento. El primer observador de este fenómeno fue el físico e ingeniero militar Charles-Agustín de Coulomb, fue de los primeros ingenieros en interesarse por el comportamiento de los suelos, dando a conocer así sus teorías de presión de tierras que después retomará Christian Otto Mohr.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## 2.2. Objetivo de un buen sistema de drenaje.

En vías terrestres, se puede definir como drenaje, al medio por el cual se contiene el agua almacenada en un punto y trasportarla a otro, ayudándola a fluir sin perjudicar la superficie que se encuentra a su alrededor.

De acuerdo con Crespo (2005), el objetivo principal de un drenaje es, mantener la estructura en buenas condiciones, evitando así que: el agua no rebase lo estimado en proyecto y provoque reblandecimiento de las terracerías, la formación de baches, la saturación de los cortes ya formados que al saturarse de agua pierden estabilidad ocasionando derrumbes, además también de evitar que el agua subterránea reblandezca la subrasante y evitar el remansé del agua de arroyos y barrancas; es por ello que los cálculos de cunetas y obras de drenaje correspondientes, tomen en consideración todos los aspectos posible.

Al momento de realizar el proyecto de drenaje los ingenieros localizadores deben tomar en cuenta la siguiente norma, "Cuando el camino debe seguir el curso de un valle o corriente de agua, las terracerías deben quedar a una altura conveniente sobre el nivel de las aguas máximas del río o valle, ya sea que se admita o no que el agua llegue hasta mojar las terracerías" (Crespo; 2005: 140). Por lo que el ingeniero localizador, debe procurar al máximo en el diseño la evasión de manantiales o lugares con excesiva humedad en el trazo de un camino, ya que estos aspectos son los causantes principales de inestabilidad en los caminos y que a futuro ocasionan el incremento en costo y tiempo en la construcción de estos.

### **2.2.1 Drenaje superficial.**

Cuando se habla de drenaje superficial, se refiere a diseñar sistemas por los cuales es conveniente darle una salida rápida al agua, que fluye por el camino y tratar de reducir al mínimo la captación de la misma agua, esto con la ayuda de obras de captación y defensa como lo son: las cunetas, contra-cunetas, bombeo, lavaderos, etc.; obras de cruce como lo son: las alcantarillas, vados, puentes-vados, etc. Que veremos más adelante.

### **2.2.2. Hidrología.**

Como lo menciona Aparicio (1989), la hidrología se define como la ciencia encargada del todo lo referente al agua, tanto su captación, movimiento, distribución y existencia de ésta.

La hidrología en la actualidad, es de suma importancia debido a las condiciones actuales de escasez del agua con que se encuentra en muchas ciudades y comunidades el planeta entero, por lo que a medida que pasan los años la hidrología cuenta con nuevas alternativas de diseño y con coeficientes cada vez más estrictos.

### **2.2.3. Ciclo hidrológico del agua.**

El ciclo hidrológico del agua, se define como el traslado del agua dentro de la atmósfera y corteza terrestre, por lo que el agua pasa por diferentes cambios de estados como son la evaporación, condensación, precipitación y filtración.

La siguiente figura muestra lo mencionado anteriormente:

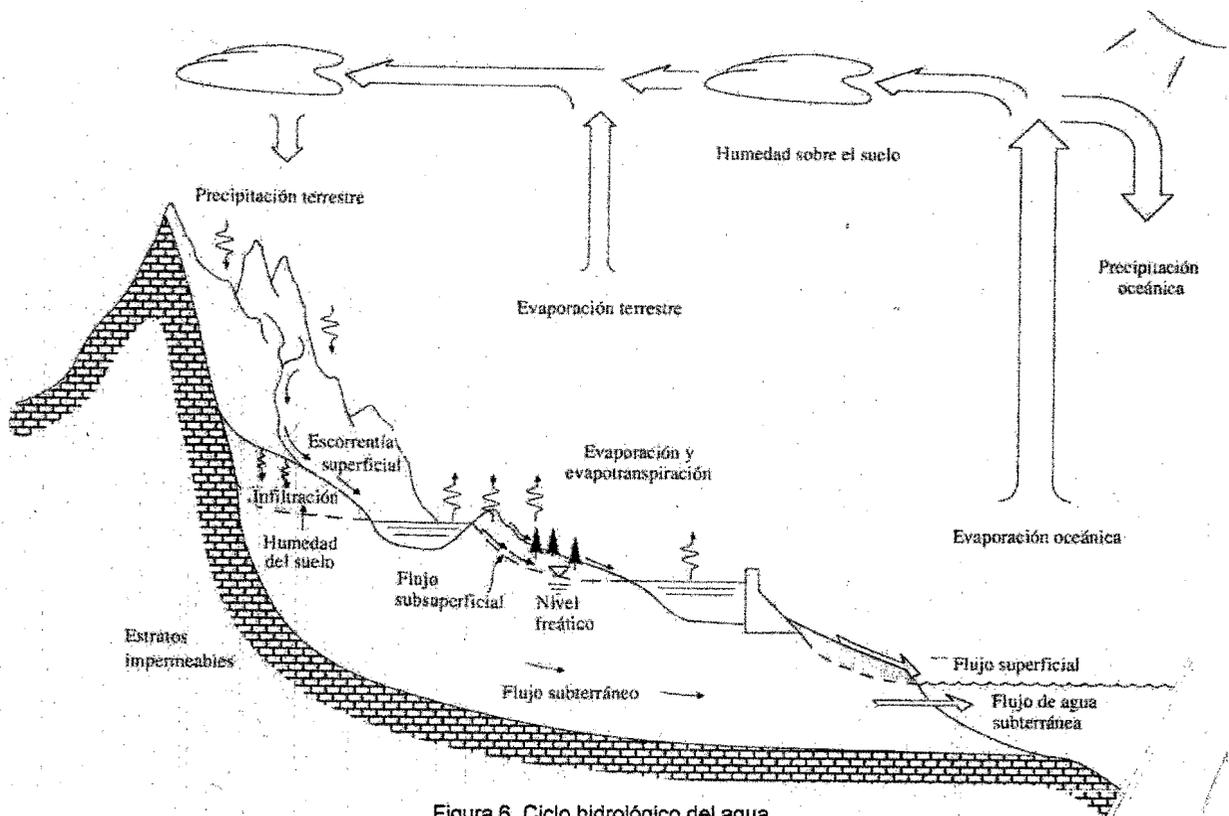


Figura 6. Ciclo hidrológico del agua.

La explicación sobre el ciclo del hidrológico se comenzará a abordar en el océano; donde el calor del sol, provoca la evaporación oceánica del agua en su mayor parte y otra mínima se le atribuye la absorción de los seres vivos mediante la evapotranspiración como vapor de agua o evaporación terrestre.

Ya evaporizada en la atmósfera, se forman nubes que ayudadas por el viento se trasladan a lo alto de la superficie terrestre, donde el agua se precipita por efecto de la gravedad en forma de gotas de agua o en otras ocasiones como nieve o granizo. Al encontrarse el agua en la superficie terrestre, desciende desde las montañas hacia los océanos nuevamente, ya sea superficialmente o algunas veces se filtra y se almacena de forma temporal en acuíferos subterráneos.

### **2.3. Fisiografía de la cuenca hidrológica.**

En conformidad con Aparicio (1989), la fisiografía de la cuenca hidrológica se refiere al área o superficie que comprende una cuenca hidrológica, en la cual se capta todo el escurrimiento de las corrientes o flujos de agua que existen en ella. La fisiografía se encuentra delimitada por los parte-aguas o puntos más altos que dividen las cuencas.

Se consideran fisiografías de una cuenca pequeña a todas aquellas que tengan una área menor de 250 Km<sup>2</sup>, y grandes aquellas que cuentan con una área mayor de 250 km<sup>2</sup>.

#### **2.3.1. Pendiente de la cuenca.**

En conformidad con la página de internet [www.ing.unne.edu.ar](http://www.ing.unne.edu.ar), la pendiente de la cuenca es de gran importancia, ya que la pendiente es la que nos determina el efecto que produce el agua al llegar al punto donde se intercepta del camino, determinando así la velocidad del agua y la erosión que ocasionará.

De acuerdo con Aparicio (1989), para la determinación de la pendiente de una cuenca existen dos criterios importantes que nos ayudan a determinarla, los cuales son:

*Criterio de Alvord.* Es el más sencillos de los tres, el cual analiza la pendiente que tiene la cuenca entre las curvas del nivel, analizando las fajas medias de la cuenca y dividiéndolas entre el área de la cuenca, por lo que tenemos así como resultado la siguiente expresión:

$$Sc = \frac{DL}{Ac}$$

Donde tenemos que:

D = Desnivel constante entre curvas de nivel (L).

L = Longitud total de curvas de nivel dentro de la cuenca (L).

Ac = Área de la curva ( $L^2$ ).

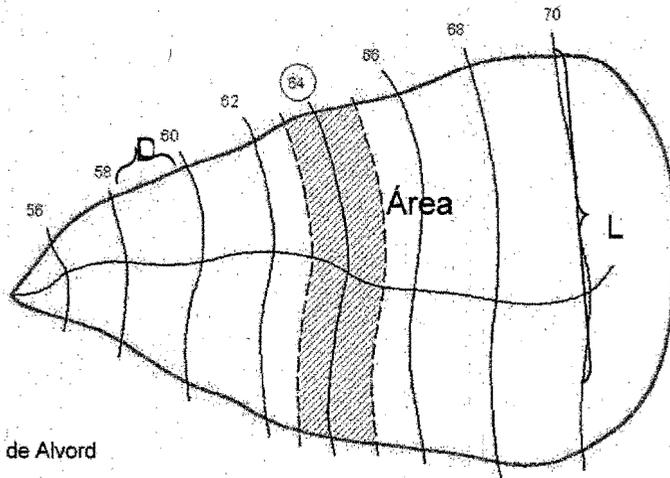


Figura 7. Criterio de Alvord

*Criterio de Horton.* Este criterio tiene con base principal insertar la proyección planimétrica de la cuenca en una malla de cuadros, orientados de acuerdo a la dirección de la corriente principal. Tomando así las longitudes de las líneas de los cuadros dentro de la cuenca y contando el número de intersecciones y tangenciales de cada línea de nivel que tiene la cuenca. Se recomienda que el número de cuadros sea suficiente, ya que de estos depende la exactitud de éste método. Ya teniendo los datos se procede a aplicarlos a la siguiente expresión:

$$Sc = \frac{1}{2} \left( \frac{NxD}{Lx} + \frac{NyD}{Ly} \right)$$

$$Sc = \frac{1}{2} (Sx + Sy)$$

Donde tenemos que:

$Nx$  = Numero de intersecciones en la dirección y con las curvas de nivel.

$Ny$  = Numero de intersecciones en la dirección y con las curvas de nivel.

$Lx$  = Longitud total en la dirección "x".

$Ly$  = Longitud total en la dirección "y".

$D$  = Desnivel constante entre curvas de nivel.

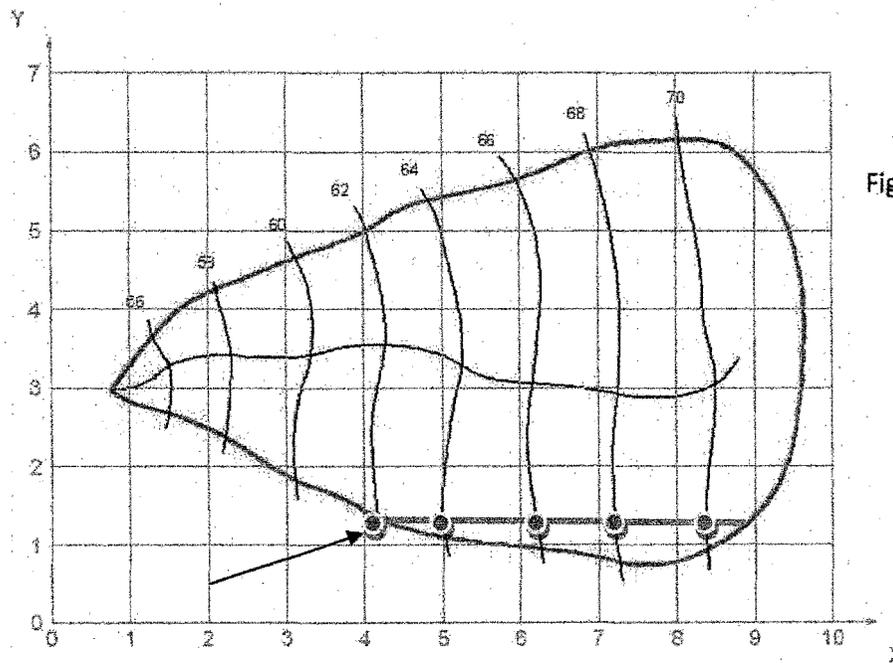


Fig. 8

Figura 8. Criterio de Horton.

*Criterio de Nash.* Consta al igual que el criterio de Horton en trazar una cuadrícula al sentido del cauce principal pero con la exigencia de tener cerca de 100 intersecciones dentro de la cuenca. Tomando así en cada intersección la distancia mínima de las curvas de nivel. Por lo que si aplican los datos a la expresión.

$$S_i = \frac{D}{d_{\min i}}$$

$$S = \frac{\sum S_i}{n}$$

Donde tenemos que:

$S_i$  = Pendiente en un punto intersección de la malla

$D$  = Equidistancia entre curvas de nivel

$d_{\min}$  = Distancia mínima de la intersección de la malla entre curvas de nivel

$S$  = Pendiente de la cuenca

$n$  = numero de intersecciones

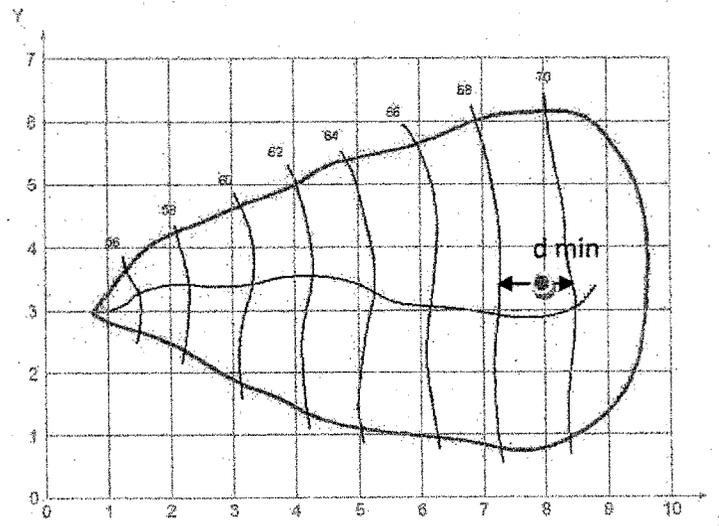


Fig. 9

Figura 9. Criterio de Nash.

### 2.3.2. Parámetros del cauce principal.

*Número de orden.* El sistema de Horton según ([www.ing.udep.pe](http://www.ing.udep.pe)), consiste en obtener el número con que llega la corriente al desfogue principal que afecta en proyecto.

Por lo que se comienza analizando los cauces más pequeños y lejanos donde comienza la cuenca y no cuentan con ningún tributario, los cauces del segundo orden tienen intersecciones o tributarios del primer orden, los cauces del tercer orden tienen intersecciones o tributarios del segundo pero también cuentan con tributarios del primero, analizando así las intersecciones y por consiguiente los tributarios y número de orden de los cauces, entre más intersecciones o tributarios con que cuente una corriente, mayor será el número de orden de cada cauce. La siguiente figura muestra lo mencionado anteriormente.

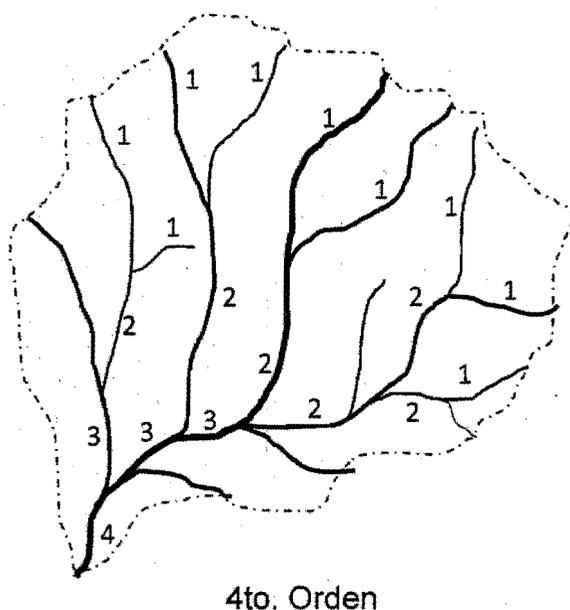


Figura 10. Ejemplo de número de orden en una cuenca.

Densidad de drenaje. La densidad de drenaje muestra el comportamiento de drenado con que cuenta la cuenca; concluyendo así que, una cuenca con una densidad alta, nos indica que cuenta con buen drenado o un rápido flujo de la precipitación; mientras que una cuenca con densidad baja nos indica que cuenta con un drenado del flujo lento.

La densidad de drenaje se obtiene de la siguiente expresión:

$$D_d = \frac{L_T}{A_c}$$

Donde tenemos que:

LT = Longitud total incluyendo tributarios.

Ac = Área de cuenca.

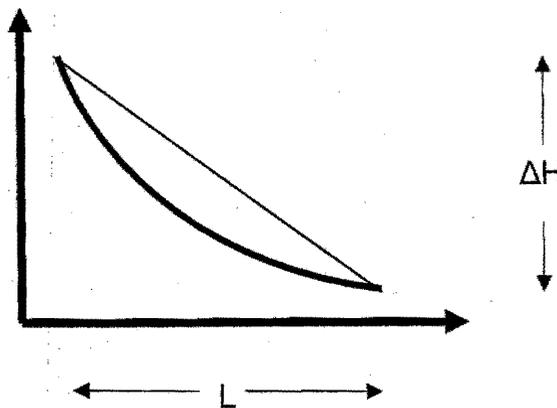
Por lo que se hace una relación de la densidad de drenaje con las características de los suelos de una cuenca, teniendo así la siguiente tabla:

Característica	Densidad Alta	Densidad Baja	Observaciones
Resistencia a la erosión	Fácilmente erosionable	Resistentes	Asociado a la formación de los cauces
Permeabilidad	Poco permeable	Muy permeable	Nivel de infiltración y escorrentía
Topografía	Pendientes fuertes	Llanuras	Tendencia al encharcamiento y tiempos de concentración

*Pendiente del cauce.* La pendiente del cauce nos ayuda a calcular la velocidad de flujo que tendrá el agua al descender. Así mismo también nos ayuda a obtener las características óptimas de la estabilización de las cuencas. Para la obtención de la pendiente tenemos dos métodos que veremos a continuación:

*Pendiente de un tramo.* Este método consiste en obtener la diferencia de las cotas extremas con que cuenta el cauce ( $\Delta H$ ) y dividir las entre la longitud horizontal. Teniendo los datos se procede a aplicarlos a la siguiente expresión para encontrar la pendiente del cauce.

$$S_c = \frac{\Delta H}{L}$$



Donde se tiene que:

$\Delta H$  = Diferencia de cotas del cauce

$L$  = Longitud horizontal total del cauce

*Compensado de áreas.* Este método consiste en obtener el perfil de la cuenca y trazar una línea en él, tratando de equilibrar las aéreas superiores e inferiores, ya con la línea obtenemos su pendiente con la siguiente expresión.

Si  $\Delta x = \text{Constante}$

$$V_i = \frac{\Delta x}{\Delta L_i} = C \sqrt{S_i R_i}$$

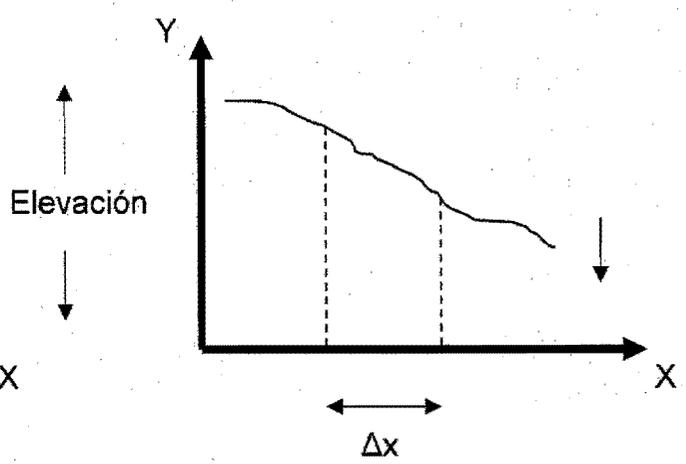
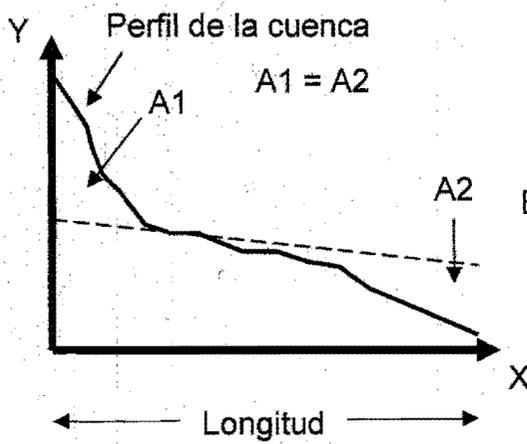
$$V_i = \frac{\Delta x}{\Delta t_i} = K \sqrt{S_i}$$

Tiempo total = T =

$$\frac{L}{K \sqrt{S}}$$

Como:  $\sum \Delta T = T, \quad \sum \Delta X = L$

$$S_{\text{Causa}} = \left[ \frac{L}{\sum_{i=1}^m \frac{\Delta x}{\sqrt{S_i}}} \right]^2$$



## 2.4. Precipitación.

En conformidad con lo mencionado en ([www.ing.udep.pe](http://www.ing.udep.pe)). La precipitación es un proceso meteorológico que proviene de la humedad, y que forma parte importante del ciclo hidrológico del agua; consiste en la condensación del agua debido al enfriamiento del vapor de agua situado en la atmósfera, que al llegar a condensarse forma pequeñas partículas que caen a la superficie terrestre, ésta puede caer ya sea en forma líquida como lo es la lluvia y la llovizna; o en forma sólida como lo es el granizo, agua nieve, nieve o en escarcha.

### 2.4.1 Clasificación de precipitaciones.

La clasificación de la precipitación más común es la siguiente:

*La lluvia.* Son gotas de agua líquida con un diámetro mayor a 0.5 mm, es la precipitación más común y conocida. Se puede presentar en tres intensidades:

Ligera: para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h.

Moderada: desde 2.5 hasta 7.5 mm/h.

Fuerte: por encima de 7.5 mm/h.

*Llovizna.* La llovizna son pequeñas gotas de agua, las cuales su diámetro fluctúa entre 0.1 y 0,5 mm; las cuales debido a que son tan pequeñas tienen un descenso muy lento al caer a la superficie terrestre y dan la sensación de flotar en el cielo.

*Granizo.* Este tipo de precipitación es en forma de bolas de hielo de formas esferoidales, cónicas o forma irregular, su diámetro varía de 5 hasta 125 mm. Las bolas de granizo pueden tener capas producidas por las gotas de agua con que se cruzan a menudo en su descenso a la superficie terrestre, su gravedad específica es de aproximadamente 0.8.

*Agua nieve.* Este tipo de precipitación se presenta como agua parcialmente congelada y es como un granizo muy fino. Este se origina cuando el aire se encuentra templado ya que lo funde al hielo pero no lo suficiente para convertirlo en gotas de lluvia.

*Nieve.* La nieve se origina cuando las masas de aire llenas de vapor de agua tienen temperaturas inferiores a 0°C. La nieve son pequeños cristales de forma hexagonal ramificados y aglomerados en copos de nieve. La densidad relativa de la nieve tiene un promedio de 0.1.

*Escarcha.* La escarcha es una capa de hielo blanco y suave, contiene bolsas de aire atrapado, la escarcha se forma en superficies expuestas al congelamiento y con agua depositada en forma de lluvia o llovizna. La gravedad específica de la escarcha puede ser muy baja, llegando a ser hasta de 0.2 o 0.3.

#### **2.4.2 Medida de la precipitación.**

La precipitación se mide en base a cantidad de agua que cae en una superficie, se cuenta con dos tipos de mecanismos los cuales son:

El pluviómetro. El pluviómetro es un instrumento que mide la cantidad de lluvia que se precipita por unidad de área. Este instrumento puede ser cualquier recipiente correctamente graduado y deben ser iguales en diferentes puntos de muestras.

Pluviógrafos. Son aparatos que registran la precipitación en intervalos de tiempo cortos, al ser aparatos son costosos pero son utilizados en sitios de difícil acceso. Existen tres tipos, el medidor de cubeta basculante, el de balanza y el medidor de flotador. El medidor de cubeta funciona cuando "el agua es capturada por un colector que es seguido por un embudo, el cual conduce el agua hacia el interior de una cubeta de dos compartimientos. 0,1 mm de lluvia harán que la cubeta pierda el balance, por lo cual ésta se inclinará vaciando el contenido hacia el interior de un recipiente y moviendo el segundo compartimiento hacia el lugar debajo del embudo. Cuando el balde está inclinado acciona un circuito eléctrico y el aparato de registro mide la intensidad de la lluvia. Los medidores de balanza, pesan la lluvia que cae dentro de un balde, sobre la plataforma de un resorte o control balanceado. El incremento del peso del balde y su contenido es registrado en una gráfica. El medidor de flotador, posee un compartimiento donde se aloja un flotador que sube verticalmente a medida que va acumulando lluvia. Este medidor está dotado de un sifón que cada cierto tiempo desaloja el agua almacenada." (www.ing.udep.pe).

Ya obtenidos los datos principales con la ayuda de los aparatos se procede al cálculo para obtener la precipitación media ( $\overline{h_p}$ ) y la precipitación ( $h_p$ ).

### 2.4.3. Métodos para encontrar la precipitación media.

De acuerdo con Aparicio (1989), hay diferentes métodos para obtener la precipitación media, los cuales son:

*Método Aritmético:* la precipitación media obtenida por medio de este método consiste en tomar la lluvia promedio de varias estaciones ubicadas en la cuenca, la distribución debe ser uniforme para obtener buenos resultados.

La expresión siguiente nos ayuda a determinarla:

$$\bar{h}_p = \frac{\sum_{i=1}^n h_{pi}}{n}$$

Donde se tiene que:

n = número de estaciones climatológicas de registro.

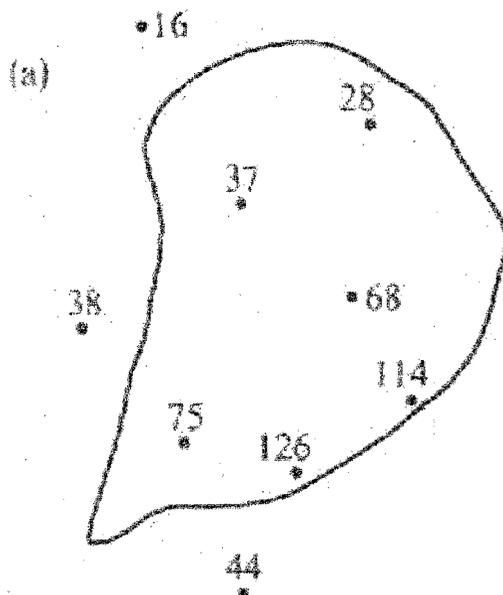


Figura 11. Método Aritmético.

*Polígono de Thiessen.* Los polígonos de Thiessen son empleados principalmente cuando la distribución dentro de la cuenca de los pluviómetros es de forma irregular, por lo que se trazan líneas entre las estaciones y se procede a calcular el área encerrada por las estaciones y se relacionan con el área total, sacando pesos relativos para cada pluviómetro y después se obtiene la precipitación promedio con la siguiente expresión:

$$\bar{h}_p = \sum_{i=1}^n h_{pi} \frac{A_i}{A_c}$$

$$\bar{h}_p = h_{p1} \frac{A_1}{A_c} + h_{p2} \frac{A_2}{A_c} + \dots + h_{pn} \frac{A_n}{A_c}$$

Donde se tiene que:

$h_{pi}$  =  $h_p$  en estación  $i$ .

$A_i$  = área del polígono  $i$ .

$A_c$  = área de la cuenca.

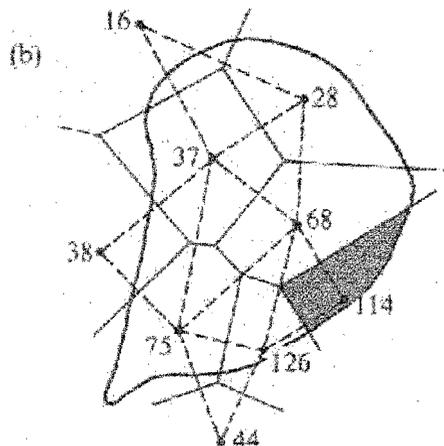


Figura 12. Polígono de Thiessen.

*Método de las isoyetas.* Este método es el más exacto y más utilizado, consiste en tener puntos de igual altura y precipitación, que se calculan con la ayuda de pluviómetros adyacentes e interpolando sus valores. Las miden las áreas entre las isoyetas y se multiplica por el promedio total de las áreas. Es necesario tener planos de las cuencas en estudio así como las áreas de las isoyetas. Se utiliza la siguiente expresión para obtener la precipitación media.

$$hp = \frac{1}{3} \left[ \frac{Px}{PA} hpA + \frac{Px}{PB} hpB + \frac{Px}{PC} hpC \right]$$

$$\overline{hp} = \frac{\text{Volumen de precipitación acumulado}}{\text{Área acumulada}}$$

Donde se tiene que:

hpx = altura de la precipitación faltante en la estación "x".

hpA, hpB, hpC, = altura de precipitación en estaciones A, B, C.

Px = precipitación normal anual en estacione "x".

PA, PB, PC = precipitación normal anual en estaciones A, B, C.

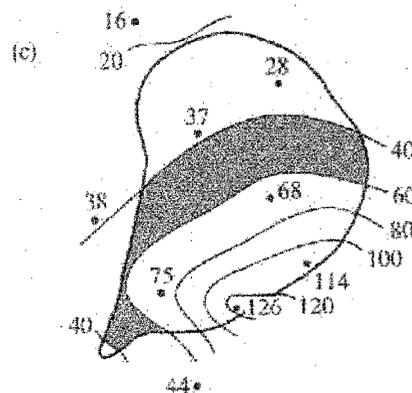


Figura 13. Método de las isoyetas.

## 2.5. Escurrimiento.

El escurrimiento consiste en el flujo de agua proveniente de la precipitación, tratando de llegar a los océanos, según Aparicio (1989), el escurrimiento se clasifica de la siguiente manera:

Superficial: Corresponde al agua que escurre por los ríos.

Sub-superficial: Corresponde al agua que se filtra por la superficie terrestre.

Subterráneo: aguas subterráneas (acuíferos).

Para obtener el escurrimiento en un punto tenemos la siguiente expresión:

$$\text{Escurrimiento total} = \text{Gasto base} + \text{Gasto directo}$$

$$\text{Escurrimiento base} = \text{Agua subterránea}$$

$$\text{Escurrimiento directo} = hpe \text{ (precipitación)}$$

$$DHS = Cc - Hs$$

Donde se tiene que:

DHS = Deficiencia de humedad del suelo.

Cc = Capacidad del campo (capacidad para filtrar del suelo).

Hs = Humedad del suelo (arriba del nivel freático).

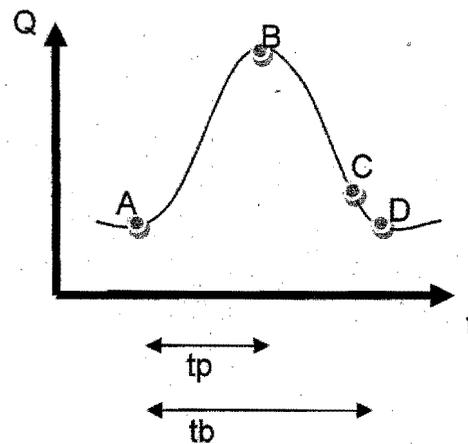
i = Intensidad de lluvia.

$f$  = Capacidad de infiltración.

$F$  = Infiltración total.

### 2.5.1. Hidrógrama y sus principales datos.

En conformidad con Chow (1959), el siguiente hidrógrama llamado de tormenta, muestra la representación grafica de la distribución de escurrimiento, entre el intervalo de tiempo de escurrimiento.



Donde se tiene que:

A = Inicio del escurrimiento directo producido por la tormenta.

B = punto pico donde se presenta el gasto máximo.

C = punto de inflexión donde termina el escurrimiento por tierra.

D = punto donde termina el escurrimiento directo continuando el escurrimiento base.

$t_p$  = tiempo pico;  $t_b$  = tiempo base.

Los tipos de hidrógrama dependen de las siguientes relaciones:

$$i < f \rightarrow hps = 0$$

$$DHS > F \rightarrow \text{no existe recarga}$$

Las expresiones anteriores demuestran que cuando la intensidad de la lluvia es menor que la capacidad de infiltración del suelo, no existe escurrimiento directo. Y cuando la deficiencia de humedad del suelo es mayor a la infiltración total, no hay recarga al acuífero o agua subterránea. Por lo tanto el nivel de aguas freáticas no se altera.

$$i < f \rightarrow hps = 0$$

$$F > DHS \rightarrow \text{existe recarga}$$

La expresión anterior demuestra que la intensidad de lluvia es menor a la capacidad de descarga del suelo, por lo tanto no hay escurrimiento. Y cuando la infiltración total es mayor a la deficiencia de humedad del suelo, hay recarga del acuífero o aguas subterráneas, originando un cambio en el nivel freático, lo que provoca una alteración en el escurrimiento base.

### **2.5.2. Aforo de corrientes.**

El aforo de una corriente se realiza para obtener el gasto o caudal de una corriente, en cierto tiempo determinado, esto se logra principalmente conociendo el área de la sección transversal a la corriente y multiplicándolo por la velocidad de este.

En campo es necesaria la medición de corrientes de diferentes gastos, ya sea de tan sólo unos pocos litros de un pequeño caudal (litros x segundo), hasta grandes ríos con varios m<sup>3</sup>/seg. Es por eso que tenemos los siguientes tipos de aforo:

*Aforo directo.* El cual se mide directamente con procedimientos manuales o con aparatos específicos.

*Aforo indirecto o continuo.* Es necesario medir el nivel del cauce y estimar el caudal. *Ver tipos de aforos en anexo 1.*

## 2.6. Infiltración.

La infiltración es “el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo” (Chow; 1994: 110). Existen factores por los cuales la tasa de infiltración puede variar, ejemplo de factores que afectan estos “incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo”. (Chow; 1994: 110)

La infiltración se puede obtener por medio de la siguiente expresión:

$$\text{infiltracion} = \frac{Q_m \cdot t}{A}$$

Donde se tiene que:

Q<sub>m</sub> = gasto.

t = tiempo.

A = área.

## 2.7. Aguas subterráneas.

Según [www.ing.udep.pe](http://www.ing.udep.pe), el agua subterránea proveniente de la precipitación y la filtración, es la que se encuentra contenida en el sub suelo en circulación dentro de los acuíferos o n capas impermeables de suelos, existen dos tipos de acuíferos, los acuíferos libres, los confinados y los semiconfinados. Los acuíferos libres son aquellos en los que el agua transita libremente, en los acuíferos confinados el agua se encuentra atrapada en estratos impermeables, mientras que en los semiconfinados existen agua corriendo y agua atrapada en los estratos impermeables. A continuación se mencionan algunos conceptos básicos sobre estados de los acuíferos.

*"Acuífero*, es aquella formación geológica porosa y permeable, capaz de almacenar y ceder agua económicamente a obras de captación. *Acuícludo*, se define como aquella formación geológica que, a pesar de contener agua en su interior, incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación. *Acuitardo*: hace referencia a la existencia de numerosas formaciones geológicas que, a pesar de contener apreciables cantidades de agua, la transmiten muy lentamente, por lo que tampoco son aptos para el emplazamiento de captaciones". ([www.ing.udep.pe](http://www.ing.udep.pe))

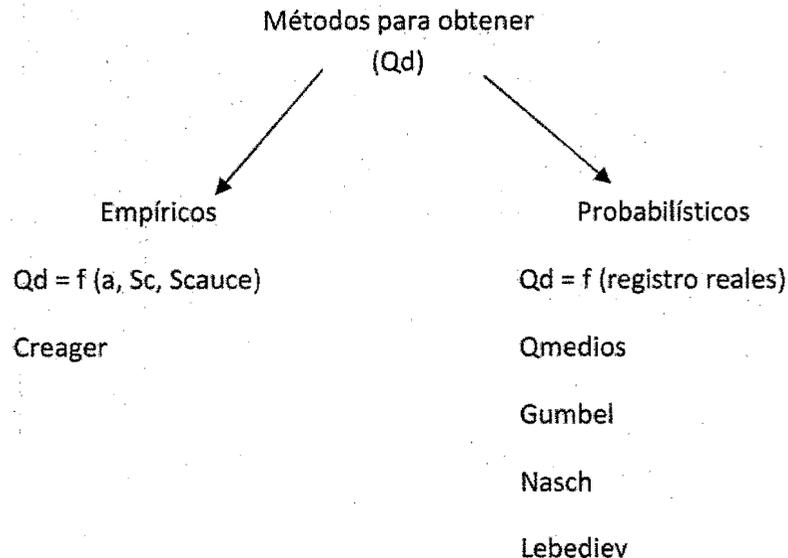
El agua subterránea representa en muchos lugares las principales fuentes de abastecimiento de agua, ya que el agua está libre de contaminación por lo que es adecuada para el consumo domestico. En regiones áridas el agua subterránea es la única fuente abastecimiento.

## 2.8. Avenidas de diseño.

Partiendo de lo dicho por Aparicio (1989), la avenida de diseño nos ayuda a conocer la intensidad máxima con que puede llegar la corriente en un punto en específico de la obra a realizar, por lo que debe valorarse lo más cercano a la avenida máxima aunque puede influir el costo económico.

### 2.8.1. Métodos para obtener avenidas de diseño.

Para la obtención de la avenida de diseño se clasifican en dos tipos de métodos; Los empíricos, los cuales se basan a los datos obtenidos de la lluvia-escorrimento así como las características de la cuenca, y los probabilísticos que su nombre lo dice se basan en operaciones de probabilidad y datos en campo. Ambos se muestran a continuación:



### Método de Gumbel

$$Q_d = Q_m - \frac{\gamma Q_{max}}{\gamma n} \left( Y_n + L n \ln \frac{T_r}{T_r} \right)$$

Donde se tiene que:

$Q_d$  = gasto de diseño m<sup>3</sup>/s.

$Q_m$  = gasto medio de la muestra.

$\gamma Q_{max}$  = desviación estándar de los gastos máximos registrados.

$\gamma n, Y_n$  = parámetros = f (tamaño de la muestra).

$T_r$  = periodo de retorno (se toma a criterio del calculista y dependiendo de los datos obtenidos)

Asignación de  $T_r$  a los datos:

( $Q_{max}$ , anualmente)

$$T_r = \frac{n + 1}{m}$$

Donde se tiene que:

$n$  = años de registros.

$m$  = número de orden del evento. ( $Q_{max}$ . 1 más grande, 2 al siguiente, etc.).

Obteniendo el gasto medio de la siguiente expresión:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_1^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n}$$

Para obtener  $\gamma Q_i$  tenemos que:

$$\gamma Q_i = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}}$$

### 2.8.2. Tránsito de avenidas.

Se define al tránsito de avenida al comportamiento de la creciente que se traslada por el río (cauce), así también se refiere al comportamiento de la onda al almacenarse en embalses o vaso.

Por embalses

Métodos hidrológicos.

Métodos numéricos.

Por cauces

Métodos hidrológicos.

Métodos hidráulicos.

### 2.9. Drenaje en los caminos.

Partiendo de lo dicho por Crespo (2005), el diseño del drenaje de un camino es el buen control del agua en un proyecto mediante obras de drenaje, tratando que la captación del agua sea muy poca y tratar de sacarla del camino lo más pronto

posible. Es muy importante el drenaje de un camino, ya que a largo plazo un mal diseño ocasiona incremento en el costo de estos, así también "el prever un buen drenaje es uno de los factores más importantes en el proyecto de un camino y por lo tanto debe preverse desde la localización misma tratando de alojar siempre el camino sobre suelos estables, permanente y naturalmente drenados. Sin embargo, debido a la necesidad de un alineamiento determinado, el camino puede atravesar suelos variables, permeables unos e impermeables otros, obligando ello a la construcción de obras de drenaje de acuerdo con las condiciones requeridas". (Crespo; 2005: 140)

### 2.9.1. Cunetas.

Las cunetas son obras de drenaje con forma de zanjas construidas a ambos costados de los caminos , su objetivos es la captación de agua en el camino y el desalojo de esta a otras obras de drenaje como las alcantarillas o lavaderos.

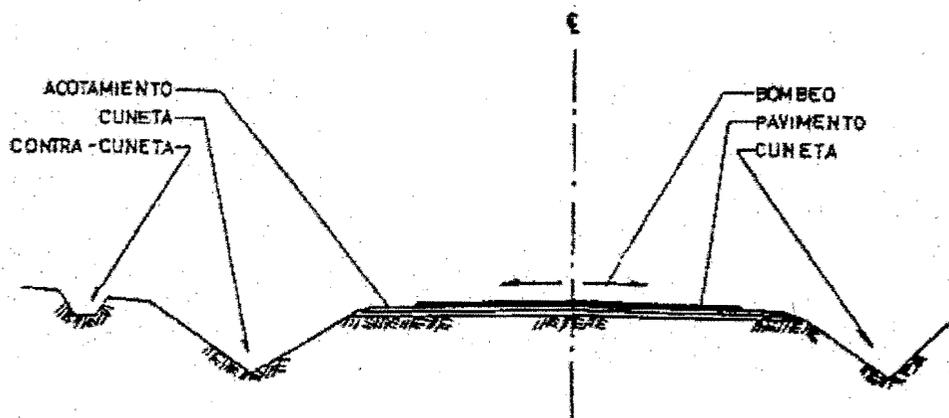


Figura 14. Componentes del camino.

Las cunetas generalmente tienen forma triangular o trapezoidal, ya que esta forma les ayuda a una fácil construcción y además de facilitar el mantenimiento. Las cunetas se diseñan para aguaceros generalmente de 10 a 20 minutos de duración, dependiendo de la zona. Además toman en cuenta el 80% de la precipitación pluvial que cae a la mitad del camino o el total de este en curvas.

Se analizan con un flujo uniforme, como un canal abierto con la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{1/2} \cdot S^{1/2}$$

Donde se tiene que:

V = velocidad promedio en m/s.

n = coeficiente de rugosidad de Manning.

R = Radio hidráulico en m.

S = Pendiente del canal en metros por m.

La fórmula anterior es obtenida de la fórmula de Chezy para canales de régimen uniforme:

$$V = C \sqrt{RS}$$

Donde la C es obtenida de la siguiente expresión:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/2}$$

Valores de n para la fórmula de Manning	
Tipo de material	valores de n
Tierra común, nivelada y alisada.....	0.02
Roca lisa y uniforme.....	0.03
Roca con salientes y sinuosos.....	0.04
Lechos pedregosos y bordos enhierbados.....	0.03
Plantilla de tierra, taludes ásperos.....	0.03

Sabiendo que:

$$Q = AV$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde, se tiene que:

Q = descarga en m<sup>3</sup>/seg.

A = área de la sección transversal.

La forma y dimensiones de las cunetas son determinadas por las condiciones climáticas, topográficas y geológicas del lugar aunque también interviene el juicio del ingeniero. El objetivo es realizar cunetas pequeñas y poco profundas para mayor seguridad y reducir costos de construcción. Los taludes deben ser lo más inclinado posible teniendo así una forma de sección en forma de V o trapecial, ya que este tipo de secciones pueden construirse más fácilmente con la motoconformadora.

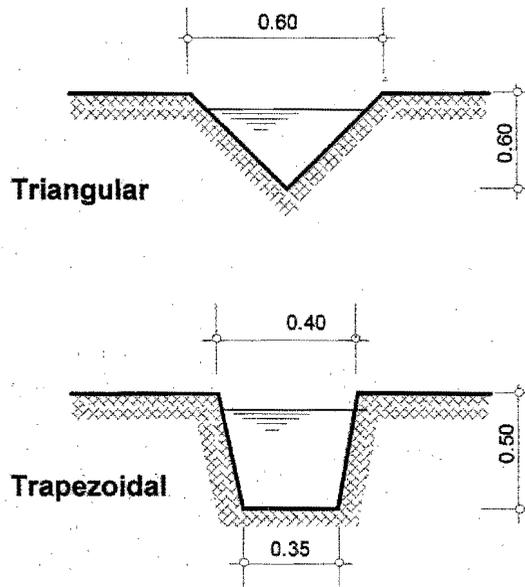
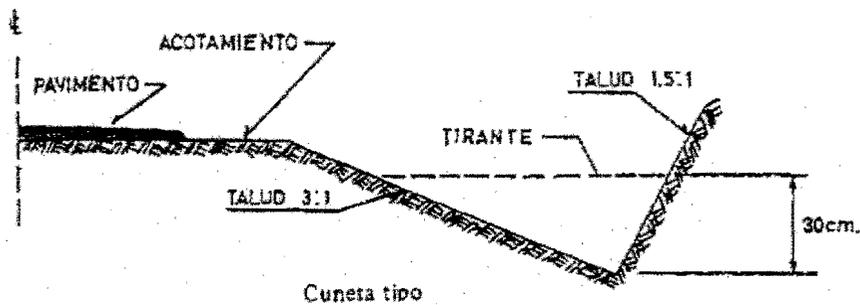


Figura 15. Tipos de cunetas.

El desnivel mínimo bajo de la subrasante del camino debe ser de 30 centímetros y máxima de 90 centímetros evitando así que sea muy peligrosa para los automóviles. Generalmente el tirante se realiza de 30 cm a 45 cm, y el talud del camino que sea de 2:1 y del lado opuesto de 1.5:1.

Existen desventajas de las cunetas con forma en V. Una de ellas es que deben realizarse muy anchas en pendientes suaves. Una más es que si el camino es muy fuerte en cortes puede resultar muy ancho y por lo tanto muy costoso. Existe una cuneta tipo que tiene el talud interior 3:1 (del lado del camino) y 1.5:1 del lado exterior y con un tirante de 30 cm.



Cuneta tipo

Figura 16. Cuneta tipo.

A continuación se muestra una tabla con valores aproximados, que muestra la velocidad del agua que debe tener para evitar el deslave de algunos materiales, y así para que la cuneta pueda conservarse por más tiempo.

Material	Velocidad en m7seg.	Material	Velocidad en m7seg.
Arena fina.....	0.45	Arcilla arenosa.....	0.50
Arena media.....	0.60	Arcilla firme.....	1.25
Arena gruesa.....	0.90	Arcilla común.....	0.85
Grava fina.....	1.50	Tepetate.....	2.00
Grava media.....	2.00	Zampeado.....	4.00
Grava gruesa.....	3.50	Concreto.....	7.00

El zampeado es necesario en cunetas cuando el tirante del agua es mayor a 15 cm., el zampeado se realiza para pendientes de más de 3% si el suelo es arena o arcilla, mientras que para pendientes de más de 5% si el suelo es grava firme.

### 2.9.2. Contracunetas.

Conforme con Crespo (2005), las contracunetas son zanjas ubicadas en la parte superior paralelamente al eje de la carretera y a una distancia mínima de 1.50 m. sobre la parte superior del talud, estas generalmente se utilizan en caminos muy montañosos o de lomerío, la sección de estas generalmente son trapeciales con talud de 1:1 y con plantilla de 50 cm, también se realizan cuadradas.

Las contracunetas, tienen la función de evitar que el agua proveniente de las cuencas o zonas más alejadas al camino, pase a la cuneta y evitar que rebase el nivel de agua con que se diseño la cuneta, ya que las cunetas solo se diseñan para el agua del bombeo del camino.

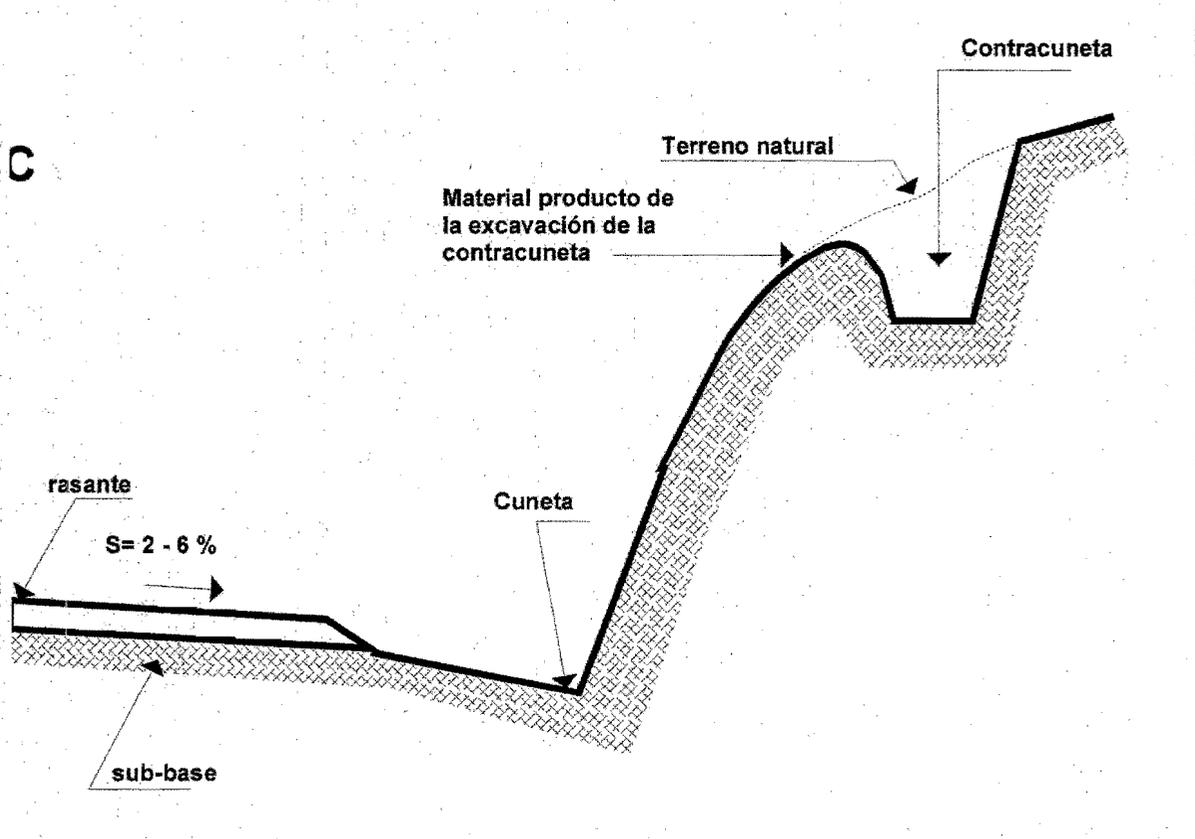


Figura 17. Cunetas y contracunetas.

### 2.9.3. Bombeo del camino.

El bombeo del camino se denomina como la forma de la sección transversal con que cuenta o diseña el camino, su principal objetivo es drenar el agua que cae sobre la superficie a las cunetas.

“El bombeo que debe emplearse depende de la clase de superficie, facilidad de circulación de los vehículos y aspecto del camino. En nuestro país se acostumbra emplear un bombeo del 2% para los caminos asfaltados y de 1.5% para los de concreto hidráulico” (Crespo; 2005: 147). En los últimos años, los porcentajes se han reducido gracias a la nueva tecnología en asfaltos.

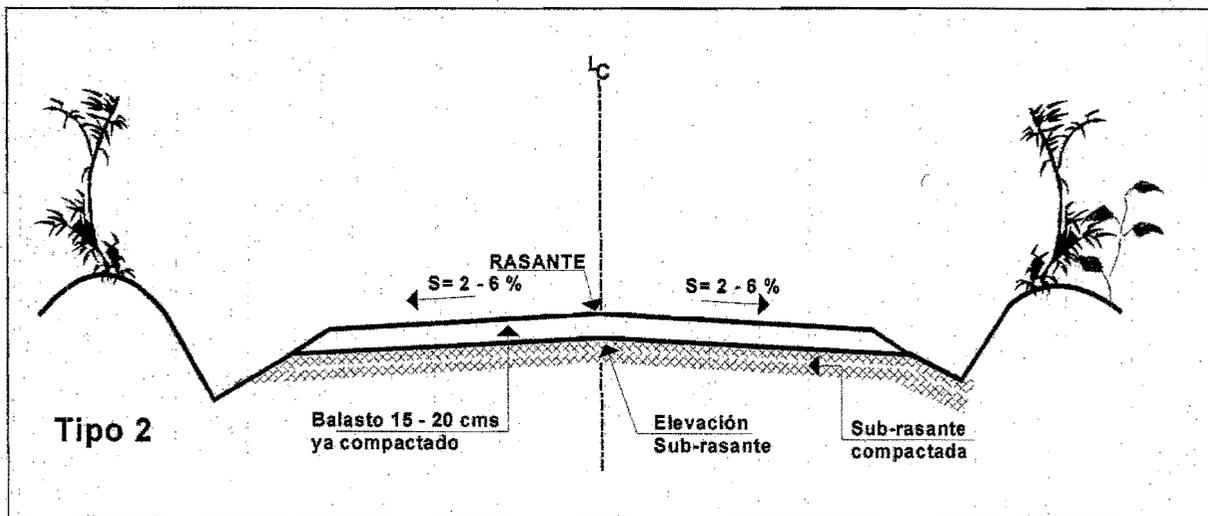


Figura 18. Elementos del camino

#### **2.9.4. Lavaderos.**

Los lavaderos, son cubiertas de mampostería de concreto o de piedra acomodada simplemente, la cual el agua encauzada proveniente de corrientes como lo son de obras de drenaje o de terrenos muy erosionables como los taludes o terraplenes (algunas ocasiones de las contracunetas o cunetas), y desfogar el agua en terrenos más estables y donde el agua no ocasione deslaves. Los lavaderos al construirlos en terrenos muy inclinados es necesario anclarlos, esto con ayuda de dentellones que evitan el resbale de los lavaderos. Las dimensiones de los lavaderos son realizadas a criterio del propio ingeniero encargado del diseño.

#### **2.9.5. Obras de cruce.**

Partiendo de lo dicho por Crespo (2005), las obras de cruce son aquellas obras de drenaje que se encargan de llevar el agua de un lado a otro del camino, debido a que forzosamente deban cruzar. Las obras de cruce también son conocidas como drenaje transversal, en las obras de cruce se comprenden las alcantarillas y los puentes que veremos más adelante. La diferencia entre las alcantarillas y los colchones es que las alcantarillas encima de ellas llevan un colchón de tierra mientras que los puentes no.

##### **2.9.5.1. Alcantarillas.**

Las alcantarillas son ductos que ayudan al paso de agua de un lado a otro, estas pueden ser de diferente de forma como circular, elíptica o rectangular. Las alcantarillas se clasifican por su capacidad y su resistencia, cuentan con dos partes principales el cañón y los muros de cabeza.

El cañón, es la parte principal de la alcantarilla ya que este es lo que define a la alcantarilla; y los muros de cabeza que son los encargados de impedir la erosión alrededor del cañón, además de guiar la corriente de agua hacia el cañón y de impedir que el terraplén invada el canal. Las alcantarillas representan aproximadamente el 5% del costo del camino. Dependiendo de la longitud del cañón las alcantarillas se clasifican como:

*Alcantarillas de tubo*, son de construidas con tubos de concreto reforzado, de lamina corrugada, de barro vitrificado y de fierro fundido.

*Alcantarillas de cajón*, son construidas con concreto reforzado, sencillas o múltiples.

*Alcantarillas de bóveda*. Son construidas de mampostería o de concreto simple, sencillas o múltiples.

*Alcantarillas de losa*. Son construidas de concreto reforzado.

En un proyecto hay varias consideraciones que se deben tomar en cuenta, una de ellas es que no se deben concentrar la corriente en una sola alcantarilla, ya que se deben colocar las suficientes alcantarillas que nos ayuden a tener un drenaje eficiente. Otra consideración es que al localizar la posición de una alcantarilla el cruce de esta no se debe forzar, por ejemplo, en el esviajamiento de una corriente menor de  $5^\circ$  es preferible hacer el cruce perpendicular al camino, para casos de que el esviajamiento sea mayor de  $5^\circ$  es preferible alinear la alcantarilla con el fondo del arroyo para evitar así problemas por erosión o problemas con la corriente. En

ocasiones cuando el cauce sea ajustado a la dirección de la alcantarilla, basta con poner aleros o muros de cabeza para el encauzamiento del agua.

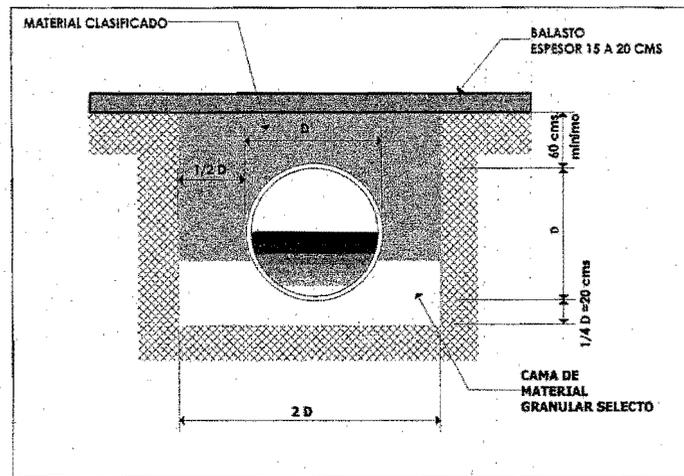


Figura 19. Características de las alcantarillas.

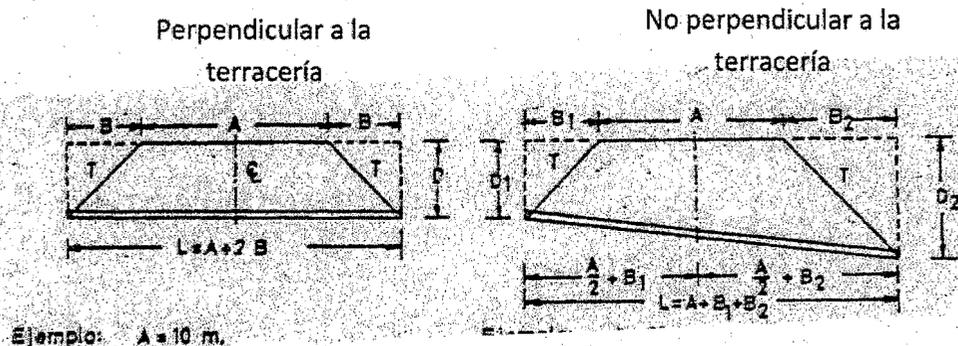
En caminos cuando las cunetas sean demasiado largas es conveniente aliviar la cuneta cada 100 metros con la ayuda de alcantarillas de alivio, las cuales dan salida a toda el agua captada en la superficie del camino, a esta longitud logramos que el caudal de las alcantarillas no sean tan grandes y su construcción sea más económica.

#### 2.9.5.2. Pendiente de una alcantarilla.

“Es recomendable que la pendiente en las alcantarillas sea la misma que la del lecho de la corriente. Si la pendiente de la alcantarilla es mayor, el extremo de la misma tiende a azolverse, y por el contrario, si la pendiente es menor que la del cauce es el extremo superior el que se obstruye”, (Crespo; 2005; 156). En casos donde las pendientes de los cauces tengan demasiada inclinación, es preferible hacer una alcantarilla con una pendiente bastante menor a la del cauce y construir en la salida de la alcantarilla un lavadero o canal de mampostería por donde de salida a la corriente y así hacerlo llegar al terreno natural,

### 2.9.5.3. Longitud de las alcantarillas.

“La longitud de las alcantarillas depende del ancho de la corona del camino, de la altura del terraplén, del talud del mismo y del ángulo de esviajamiento. El cañón de la alcantarilla debe ser lo suficientemente largo para que no corra peligro de obstruirse en sus extremos con material de terraplén que se deslave durante las lluvias”, (Crespo; 2005; 159). Para realizar el cálculo de la longitud de la alcantarilla lo primero que se necesita es tener el perfil del terreno, y aplicamos las siguientes expresiones dependiendo el caso.



Perpendicular a la terracería:

$$L = A + 2(T \cdot D)$$

No perpendicular a la terracería:

$$L = A + (T \cdot D_1) + (T \cdot D_2)$$

Donde tenemos que:

L = Longitud de la alcantarilla.

A = Corona del terraplén.

B = Longitud del talud = T x D.

T = Talud del terraplén.

D = Altura del terraplén.

#### 2.9.5.4. Muros de cabeza.

Los muros de cabeza son muros generalmente de mampostería aunque también se hacen de concreto simple o piedra suelta, estos muros nos ayudan a impedir la erosión alrededor del cañón y para guiar la corriente, además de evitar que el terraplén invada el canal.

La altura de los muros de cabeza debe cumplir que se extienda más arriba de su intersección con los taludes del camino; también así, deben prolongarse por lo mínimo 60 cm debajo de la plantilla, formando así un dentellón que sirva de amarre y de protección contra la erosión de la plantilla.

La longitud del muro de cabeza depende de la longitud de la alcantarilla y del talud del terraplén.

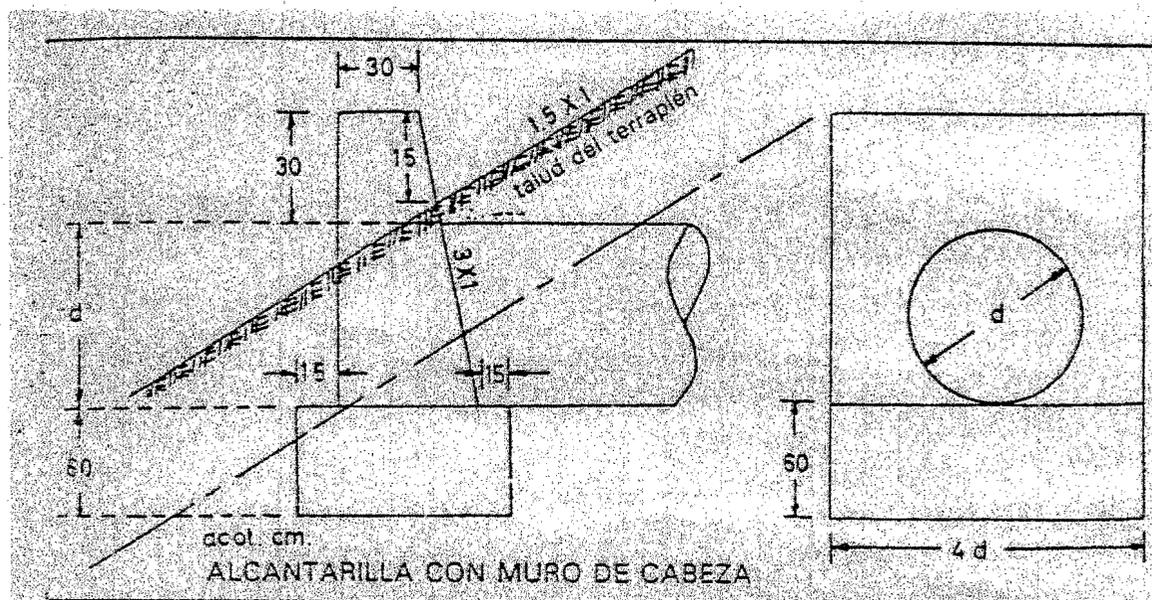


Figura 20. Dimensiones de los muros de cabeza.

### 2.9.5.5. Métodos para el cálculo del área hidráulica de las alcantarillas.

Según Aparicio (2005), la obtención del área hidráulica consiste en conocer la cantidad del caudal máximo de agua, y así realizar nuestro cálculo para evitar trastornos al camino y a la estructura. Existen cinco procedimientos que nos ayudan a proyectar hidráulicamente una alcantarilla. Los cuales analizaremos a continuación.

*Por comparación.* Este procedimiento consiste principalmente en la obtención de datos ya existentes, por lo que se aplica regularmente donde es necesario cambiar una alcantarilla ya construida y es necesario su remplazo. Este procedimiento requiere las huellas de las altas aguas encontradas en la alcantarilla en un periodo no menor de 10 años. Si en algunos casos las huellas no son claras se procede a obtener los datos por medio de alcantarillas cercanas o con la ayuda de los vecinos del lugar.

*Empírico.* Este procedimiento consiste en la aplicación de fórmulas empíricas obtenidas por Talbot, Peck y Meyers. Este proceso se utiliza cuando en el lugar nunca han existido alcantarillas y además de no existir datos acerca del gasto máximo del arroyo y ni de la precipitación pluvial. Para su aplicación es necesario obtener los datos de área drenada y las características topográficas de la cuenca.

Para el cálculo del área hidráulica por medio de las fórmulas de A.N. Talbot se aplica la siguiente fórmula:

$$a = 0.183 \cdot C \cdot \sqrt[3]{A^3}$$

En donde se tiene que:

$a$  = Área hidráulica, en metros cuadrados, que deberá tener la alcantarilla.

$A$  = Superficie a drenar, en hectáreas.

$C$  = Coeficiente que igual:

$C = 1.00$  para terrenos montañosos y escarpados.

$C = 0.80$  para terrenos con mucho lomerío.

$C = 0.60$  para terrenos con lomerío.

$C = 0.50$  para terrenos muy ondulados.

$C = 0.40$  para terrenos poco ondulados.

$C = 0.30$  para terrenos casi planos.

$C = 0.20$  para terrenos planos.

La siguiente tabla muestra valores del área hidráulica de una alcantarilla, calculados con la fórmula de Talbot.

Área drenada en hectáreas	Terreno montañosos	Mucho lomerío	Lomerío	Lomerío ondulado	Terreno casi plano
	$C = 1.00$	$C = 0.80$	$C = 0.60$	$C = 0.50$	$C = 0.30$
1	0.18	0.14	0.11	0.09	0.05
2	0.31	0.25	0.19	0.16	0.09
4	0.52	0.42	0.31	0.26	0.16
6	0.70	0.56	0.42	0.35	0.21
8	0.87	0.70	0.52	0.44	0.28
10	1.03	0.82	0.62	0.52	0.31
20	1.73	1.38	1.03	0.86	0.52
30	2.25	1.88	1.41	1.18	0.71
50	3.44	2.75	2.06	1.72	1.03

*Sección y pendiente.* En este procedimiento es necesario obtener datos de las huellas de las aguas máximas, determinar la sección y la pendiente del cauce en el cruce con el camino. Se obtiene así el gasto máximo en función del área hidráulica, el perímetro mojado, la pendiente y un coeficiente de rugosidad que van en relación a las paredes del cauce. Con estos datos y con la ayuda de la fórmula de Manning se obtiene la velocidad que multiplicada por el área hidráulica correspondiente nos proporciona el gasto máximo para el cual debe diseñarse la alcantarilla. A continuación tenemos la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{1/2} \cdot S^{1/2}$$

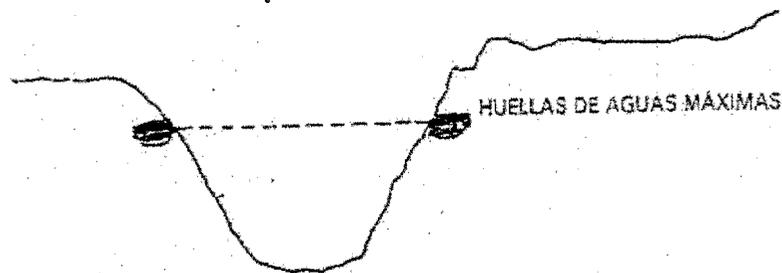


Figura 21. Ejemplo de sección.

En algunas ocasiones en los cauces nos son apreciables las huellas del nivel máximo, por lo que es recomendable deducir el gasto por medio del procedimiento de la precipitación pluvial.

Precipitación pluvial, "consiste en proyectar la alcantarilla para dar paso a una cantidad de agua determinada por el escurrimiento probable del agua de lluvia. Las fórmulas para el cálculo del gasto en este procedimiento requiere el conocimiento de la precipitación pluvial, del área a drenar, de su topografía y

de la clase de suelo de dicha área", (Crespo; 2005: 153). Para poder calcular el gasto es necesario aplicar la fórmula de Burkli-Ziegler que se muestra a continuación.

$$Q = 0.022 C I A \sqrt[3]{S/A}$$

Donde se tiene que:

Q = gasto de la alcantarilla en m<sup>3</sup>/seg.

A = número de hectáreas tributarias.

J = precipitación pluvial, en centímetros por hora, correspondientes al aguacero más intenso (de 10 minutos de duración total).

S = pendiente del terreno, en metros por kilómetro.

El coeficiente C depende de la clase de terreno que forma la cuenca o área tributaria de la alcantarilla y tiene los valores que siguen:

C = 0.75 para calles pavimentadas y distritos comerciales.

C = 0.30 para poblaciones con parques y calles con pavimentos asfálticos.

C = 0.25 para terrenos de cultivo.

*Método racional.* Consiste en indicar que el gasto es igual a un porcentaje de la precipitación de lluvia multiplicado por el área tributaria, esto se refleja en la siguiente fórmula:

$$Q = 27.52 C I A$$

Donde se tiene que:

Q = Gasto en litros por segundo.

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de la precipitación, correspondiente al tiempo de concentración, en centímetros por hora.

A = Área a drenar en hectáreas.

El método racional no toma en cuenta las variaciones de la intensidad de la lluvia, tampoco el almacenamiento de la cuenca a drenar, ya que se deduce que la descarga es igual a la precipitación pluvial menos la retención en la cuenca. Es por eso que este método no es recomendable en cuencas de mil acres o 404.69 hectáreas.

Los valores de C son los siguientes:

Pavimentos asfálticos.....	0.75 a 0.95
Pavimentos de concreto hidráulico.....	0.70 a 0.90
Suelos impermeables.....	0.40 a 0.65
Suelos ligeramente permeables.....	0.15 a 0.40
Suelos moderadamente permeables.....	0.05 a 0.20

## **2.10. Drenajes subterráneos.**

Según Crespo (2005), El drenaje subterráneo es el flujo que existe debajo de los estratos del suelo, ya que las capas impermeables forman canales bien definidos o vasos de almacenamiento de agua subterránea. La construcción del drenaje subterráneo consiste en drenar el agua, proporcionando ductos de drenaje para poder controlar el flujo del escurrimiento. Se dice que el drenaje subterráneo por su comportamiento es muy parecido al superficial.

“Cada lugar que requiere drenaje subterráneo, o subdrenaje como también se llama, es un problema individual y diferente, y por lo tanto deben aplicarse los principios de ingeniería es solución adecuada. Al drenaje subterráneo deben dársele toda la atención que se merece ya que de él depende gran parte de la seguridad y estabilidad del camino” (Crespo; 2005: 186). Casi siempre se le da más importancia al drenaje superficial, pero en aquellos casos donde exista una excesiva cantidad de agua subterránea se le debe dar la atención necesaria.

En los caminos la humedad no es fácil de evitar, ya que para las estructuras de terracerías trabajan mucho mejor en condiciones donde no existe la esta, es por ello aunque no se puedan mantener secas si debemos de tratar de tener una humedad que de estabilidad sin perjudicar al camino.

A continuación se verán las obras de drenaje subterráneo más comunes que impiden que llegue el agua al camino y que remueven el agua al mismo tiempo.

### 2.10.1. Obras de drenaje subterráneo.

*Zanjas:* El uso de zanjas como subdrenaje se debe utilizar con cuidado, ya que si estas se encuentran cerca del camino pueden provocar accidentes al salir los vehículos del camino por lo que deben construirse alejadas de este. Regularmente las zanjas se encuentran paralelas al camino a unos cuatro metros fuera, sus medidas más usuales son de 0.60 m de base y de 0.90 m a 1.20 m de profundidad.

*Drenes ciegos:* Son zanjas rellenas de piedra quebrada o grava, se usan paralelamente al camino, debajo de las cunetas, las dimensiones de estos son 0.40 m de ancho y de 0.60 a 0.90 m de profundidad, deben contar con una pendiente uniforme y las salidas de desfogue deben ser adecuadas. Se debe poner cuidado en el material graduado con que se rellena ya que los fuertes aguaceros bajan lodos que los pueden azolar.

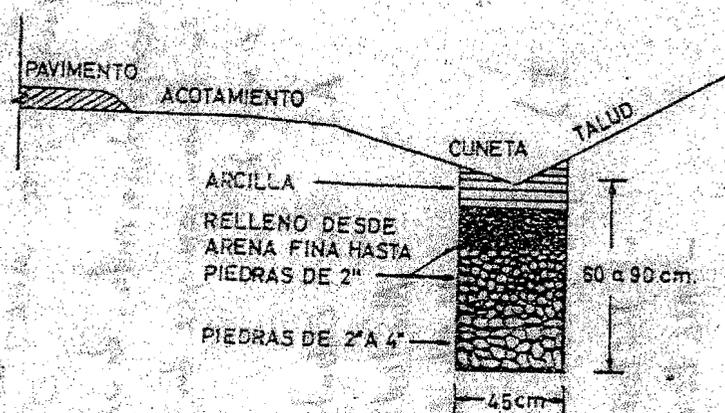


Figura 22. Ejemplo de dren ciego

*Drenes de tubo:* Los drenes con tubo de barro o de concreto para drenaje subterráneo, son de mejor funcionamiento que las zanjas y los drenes ciegos, pero deben satisfacer ciertos requisitos para su buen funcionamiento, tales requisitos son:

por aplastamiento, flexión, presión hidráulica, capacidad de infiltración y durabilidad las cuales describiremos a continuación:

*Aplastamiento.* Hay que evitar usar tubos que se rompan en la zona de tránsito, ya que un tubo roto o agrietado puede ser la causa de que falle todo el sistema de subdrenaje.

*Flexión.* Hay que tratar que las juntas entre los tubos vayan bien colocadas, ya que la humedad del terreno y el tránsito de vehículos pueden propiciar a que falle el sistema en las juntas debido a la flexión excesiva.

*Presión hidráulica.* En ocasiones debido a una lluvia muy grande el drenaje del tubo de subdrenaje puede sobre pasar lo estimado y trabajar a presión, por lo que es necesario que las juntas estén muy bien ensambladas y evitar una posible socavación por el agua que pudiera salir.

*Capacidad de infiltración.* El tubo debe ser perforado para permitir la infiltración máxima de diseño, por lo que las perforaciones deben estar localizadas en tal forma de evitar la entrada de lodo y material de relleno.

*Durabilidad.* Para la durabilidad es necesario que la elección de los tubos se piense en los efectos de desintegración, erosión y corrosión.

A continuación se muestra una figura representativa:

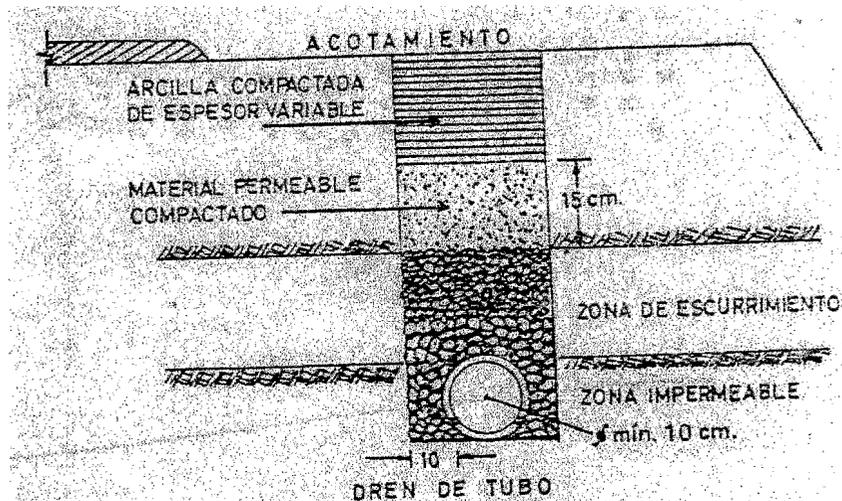


Figura 23. Ejemplo de drenes de tubo.

## 2.11. Puentes.

“El puente es una estructura de madera, piedra, ladrillo, concreto simple, concreto armado o fierro estructural que se utiliza para que una vía de comunicación pueda salvar un río, una depresión de terreno u otra vía de comunicación”, (Crespo; 2005: 681).

Según Crespo (2005), los primeros puentes que existieron, fue un árbol caído salvando una depresión de terreno y se les denominan puentes “naturales”.

Después existieron los creados por la humanidad, los primeros en crear puentes fueron los egipcios en el imperio del Rey Menis, les siguieron los romanos con la invención del arco que impulsó la construcción de estos, los primeros en construir puentes de con estructuras metálicas fueron los ingleses, así en china usaron por primera vez los puentes colgantes y en estados unidos de América los nativos usaban los cantiléver.

Un puente en un camino, es una estructura de más de seis metros de largo, el cual no lleva colchón de tierra encima, las partes que conforman a un puente es la superestructura, la subestructura, y la infraestructura.

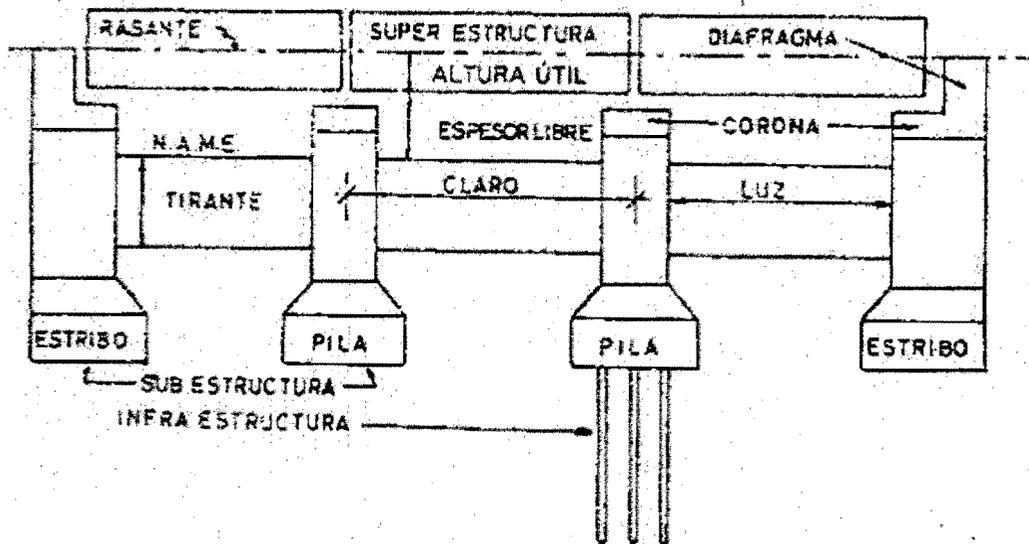
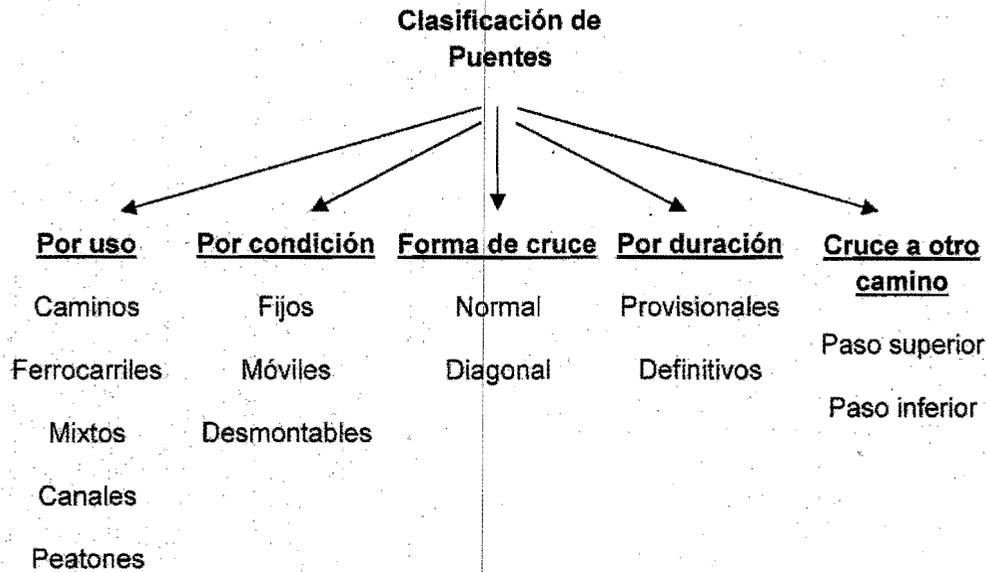


Figura 24. Detalle de puentes.

Existen diferentes tipos de superestructuras, por ejemplo, pueden ser de piso de madera sobre largueros de madera, losa de concreto armado sobre bases de fierro estructural, losa de concreto armado con nervaduras de fierro estructural, arcos de mampostería, madera, caballetes de concreto armado, pilas y estribos de mampostería, torres metálicas sobre pedestales de concreto, pilas y estribos de concreto ciclópeo o simple y pilas y estribos de concreto armado. La infraestructura pueden ser de construidas por pedestales de mampostería o de concreto, pilotes de fricción, etc.

Los puentes se clasifican dependiendo su uso, condición, duración, condición, y cruce.



Para la construcción de un puente es necesaria la realización de cuatro tipos de estudios, topográficos, hidráulicos, geológicos y comerciales.

### **2.11.1. Estudios Topográficos**

Según Crespo (2005), el estudio topográfico o informe topográfico del proyecto, además de presentar los datos comunes en topografía, como los nombres del río o barranca, camino correspondiente, tramos del camino, etc., es importante que presente datos como:

- a) Origen del kilometraje
- b) Plano de planta, a una escala de 1:200, el cual debe mostrar el eje del camino, las curvas de nivel, dirección del cauce, construcciones cercanas y datos significativos del proyecto.
- c) Ángulo del camino conforme al eje de la corriente.

- d) Elevación y descripción del banco de nivel más próximo.
- e) Planos de localización correspondientes a un kilómetro a cada lado de la obra.
- f) Elevación de la subrasante que resulte más adecuada.
- g) Importe de las indemnizaciones en caso de realizarse la obra.

### **2.11.2. Estudios hidráulicos.**

Crespo (2005), menciona que las características más importantes se resumen así:

- a) "Una sección en el cruce y dos secciones auxiliares, aguas arriba y aguas abajo a escala 1:200 considerando: nivel de aguas mínimas, nivel de aguas máximas ordinarias, nivel de aguas extraordinarias, pendiente del fondo del cauce o de la superficie del agua en una extensión de 200m a cada lado del eje del puente.
- b) Coeficiente de rugosidad del cauce.
- c) Velocidad superficial indicando el procedimiento usado.
- d) Frecuencia y duración de las crecientes máximas extraordinarias, época del año en que se efectúan y dimensionan aproximadas del material de arrastre.
- e) Si el cauce es estable o divagante o si tiene tendencias a divagar.
- f) Si la corriente deposita o socava.

- g) Si hay que efectuar alguna canalización.
- h) Si el remanso afectará propiedades vecinas.
- i) Claro mínimo de los tramos y espacio libre vertical para el paso de los cuerpos flotantes.
- j) Datos sobre los puentes construidos aguas abajo y aguas arriba próximos al cruce, tales como su longitud, longitud mínima de tramo, altura de la subrasante sobre el fondo, área hidráulica, si es o no suficiente el puente, separación entre pilas y pendiente del cauce en el cruce.” Crespo; 2005: 683).

### **2.11.3. Estudios geológicos.**

Respecto a los estudios geológicos se debe considerar:

- a) “Características generales de los materiales que forman el fondo y las márgenes de la corriente.
- b) Corte geológico indicando los materiales del subsuelo y el nivel de aguas freáticas, enviando muestras inalteradas y alteradas.
- c) Carga admisible aproximada que pueda cargar cada estrato del subsuelo.” (Crespo; 2005: 683).

### **2.11.4. Estudios comerciales.**

Los datos correspondientes a los estudios comerciales para un buen estudio del puente se mencionan a continuación:

- a) "Jornales medios en la región para diferentes categorías.
- b) Precios unitarios de los diferentes materiales en el lugar de la obra.
- c) Cubicación de bancos de materiales.
- d) Vía más próxima de comunicación.
- e) Clima dominante de la región.
- f) Enfermedades de la región." (Crespo; 2005: 684).

Además de los cuatro tipos de estudio es necesario anexar información adicional que puede ayudar a la realización del proyecto, tales como, fotografías del lugar, información de los puentes cercanos, sondeos del subsuelo a cielo abierto e información de ayuda.

Obtenidos y recopilados todos los datos de campo acerca de la zona de localización del puente, se pasa a la realización del anteproyecto, el cual debe considerar la alternativa de construcción, siendo de primordial aspecto el más adecuado y económico.

Para toda obra donde la parte económica es una suma considerable, ya sea de origen gubernamental o privada, es importante saber el entorno de la obra. Ya que nos ayuda a tomar decisiones importantes antes de iniciar cualquier obra, decisiones que pueden retroceder obras por meses son analizadas en este paso. Se estudiara más acerca de este tema en el siguiente capítulo.

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO DE REFERENCIA**

En el presente capítulo se estudiará todo lo relacionado con el lugar donde se realizará el proyecto, tanto datos como la localización y características del lugar.

#### **3.1. Generalidades.**

El proyecto se basará en la revisión del diseño del proyecto de diseño de la intersección del libramiento de la población de Guacamayas, Municipio de Lázaro Cárdenas Michoacán. Y que parte de la rehabilitación integral de la intersección de la entrada a Guacamayas, se realizara el diseño del drenaje.

Primeramente el lugar donde se localiza la intersección y de estudiar la mejor alternativa y mas económica para mejorar dicha vía de comunicación, además de prolongar la vida útil de ésta.

#### **3.2. Resumen ejecutivo.**

El diseño sobre el drenaje de la intersección de Guacamayas Michoacán, forma parte de una alternativa de mejoramiento en la vialidad de ya mencionada intersección, el mejoramiento comprende varios aspectos y estudios, pero la presente tesis toma especialmente el aspecto de drenaje superficial (dimensionamiento y localización), ya que debe mejorarse para obtener una funcionalidad optima y prolongar la vida útil del pavimento en la intersección.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

La intersección actualmente cuenta con muy poca o en nula pendiente, un canal que cuenta con un gasto de 123.57 l/seg., y camellones intermedios los cuales captan el agua de lluvia.

### 3.3. Entorno geográfico.

La población de Guacamayas se encuentra localizada en el estado de Michoacán, México, cuenta con una población aproximada de 40,000 habitantes, su principal economía la obtienen de la agricultura y la ganadería.

A continuación veremos más a detalle su ubicación.

#### 3.3.1. Macro y micro localización.

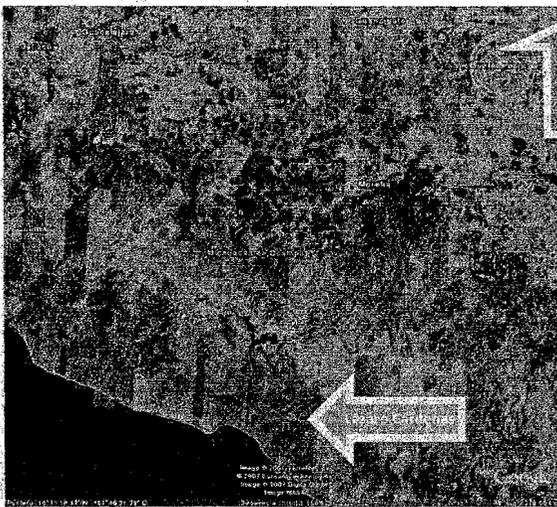


Figura 25. Macro localización Lázaro Cárdenas.

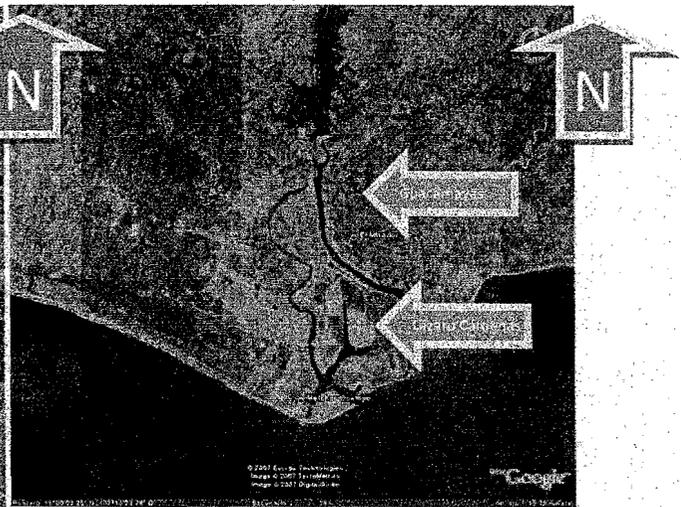


Figura 26. Macro localización de Guacamayas.

La población de Guacamayas pertenece al municipio de Lázaro Cárdenas Michoacán y está localizado por las coordenadas en latitud norte 18°00" y en latitud oeste en 102°12", a una altura de 12 metros sobre el nivel del mar.

La zona de estudio es una intersección, entre el libramiento de Guacamayas y la entrada principal a la población. Por lo que es de suma importancia.

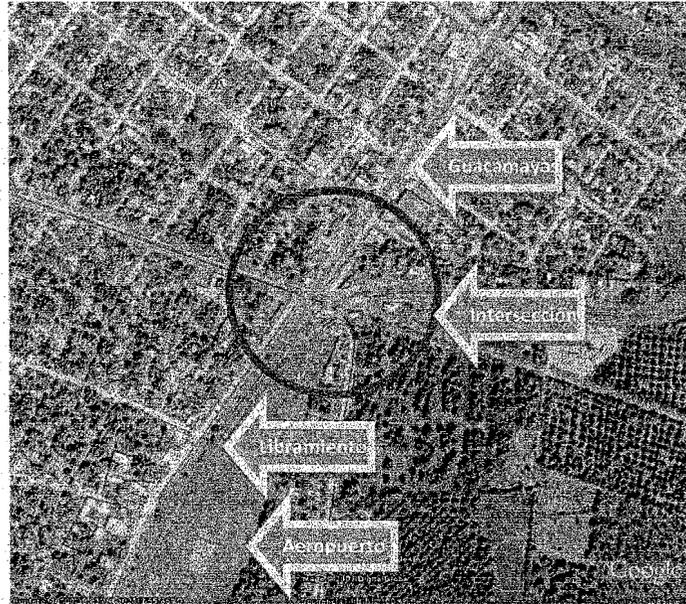
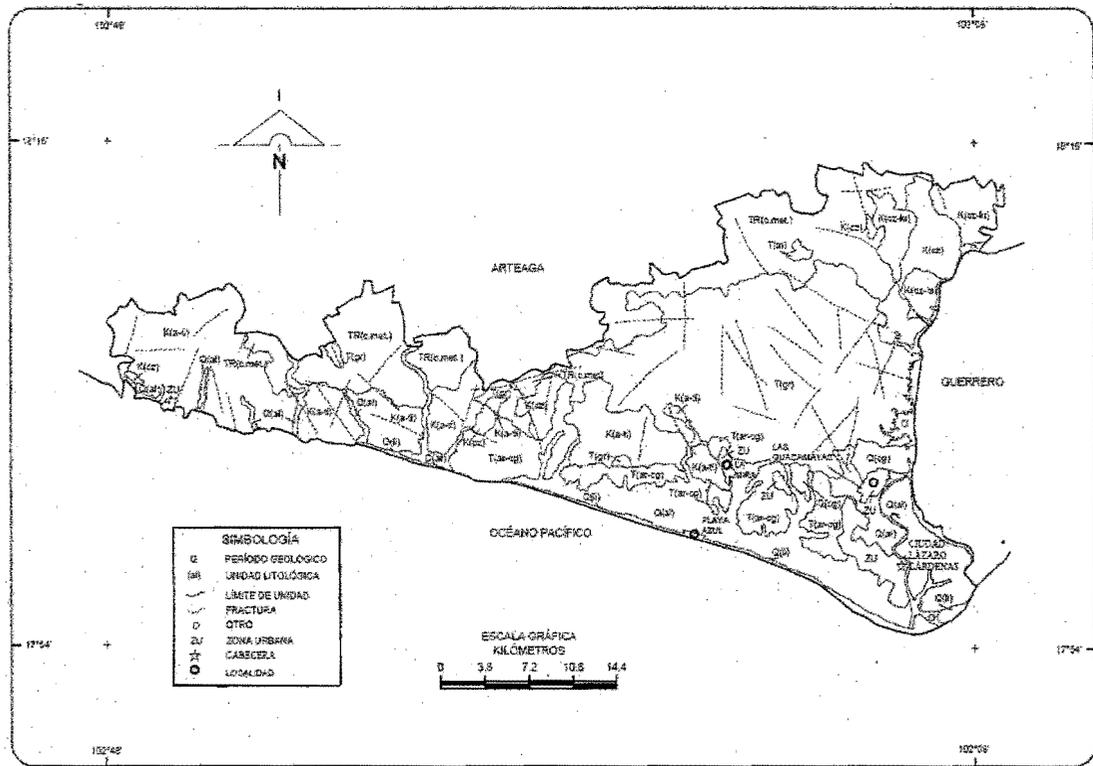


Figura 27. Micro localización de Guacamayas.

### 3.3.2. Topografía regional y de la zona en estudio.

La topografía de la región de guacamayas muestra un relieve que está constituido por la Sierra Madre del Sur y planicies costeras; rodeadas por los cerros Situntitlán, La Olla, de Santa Bárbara y Verde. El camino de la intersección está constituido por terraplenes que no cuentan con bombeo transversal.





FUENTE: INEGI. Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Geológica, 1:250 000.

Figura 30. Geología regional B.

### 3.3.4. Hidrología regional y de la zona de estudio.

Su hidrología se constituye principalmente por el río Balsas, arroyos como el de Las Minas y el de Guacamayas; y la presa José María Morelos. Su clima es tropical con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,276.8 milímetros y una temperatura media anual de 27.8°C.

A continuación se muestra las regiones y zona de estudio con su respectiva distribución de ríos:

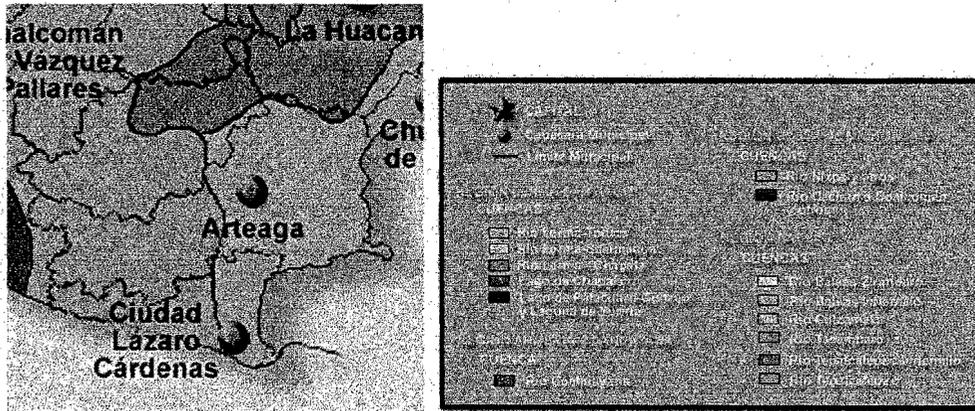
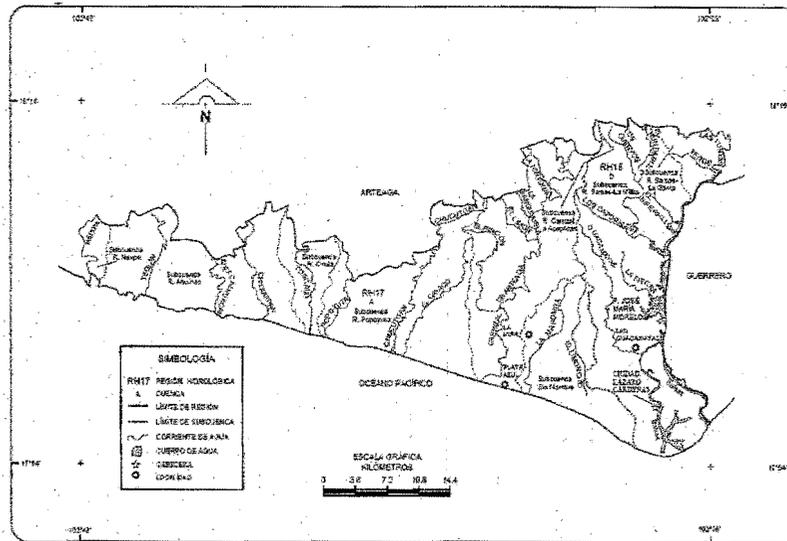


Figura 31. Hidrología Regional A.



FUENTE: BASES: Cálculo de Datos Geográficos de la Carta Hidrológica de aguas Superficiales, 1:250,000.  
 DATOS: Cálculo de Datos Geográficos de la Carta Topográfica, 1:250,000.

Figura 32. Hidrología Regional B.

Mapa de climas en la región y zona de estudio:

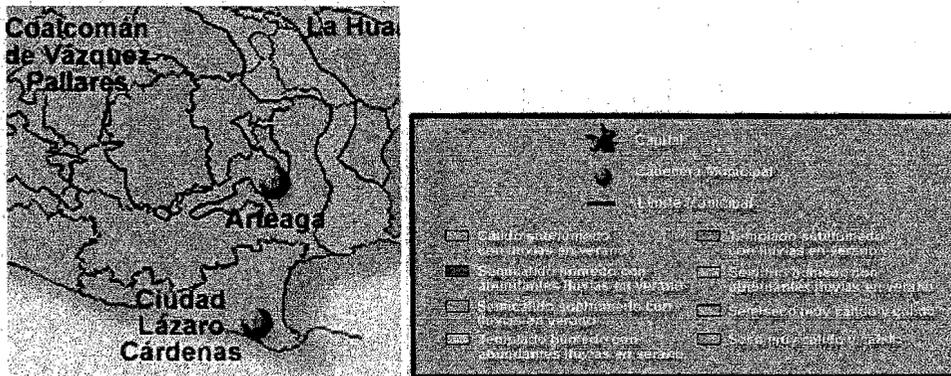


Figura 33. Climas de la región A.





### 3.5. Estado físico actual.

El estado actual físico de la intersección es regular, el camino cuenta con pavimento de asfalto con poca o nula pendiente. En la intersección pasa un canal de riego. Y por lo tanto existen 2 puentes que ayudan a cruzar el canal, existe también un cruce de ferrocarril que interrumpe el tránsito diariamente 2 veces al día. Al transitar por el camino se pierde la visibilidad de este, por falta de bombeo en él. Es posible apreciar lo ya mencionado anteriormente en las imágenes que a continuación se muestran.

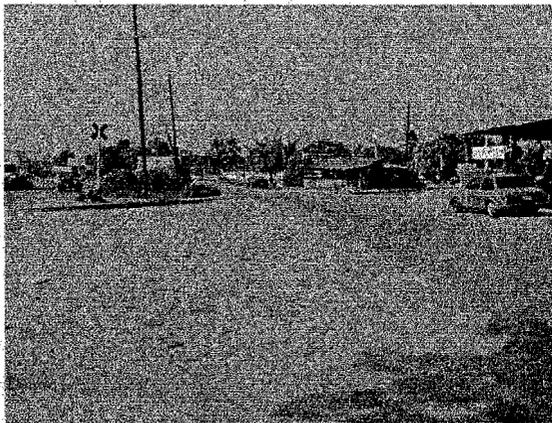


Figura 37. Estado actual 1.

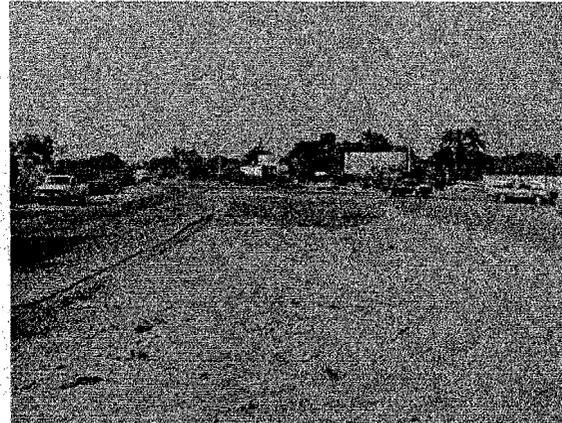


Figura 38. Estado actual 2.

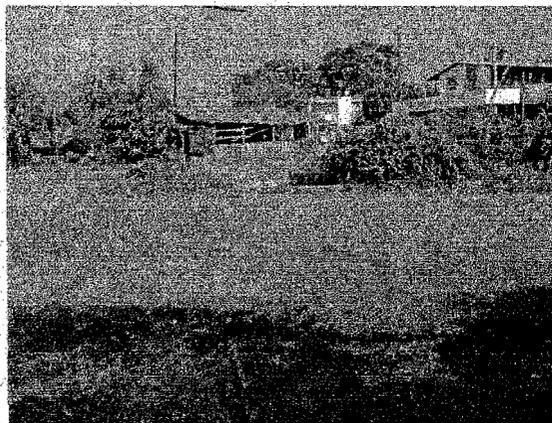


Figura 39. Estado actual 3.

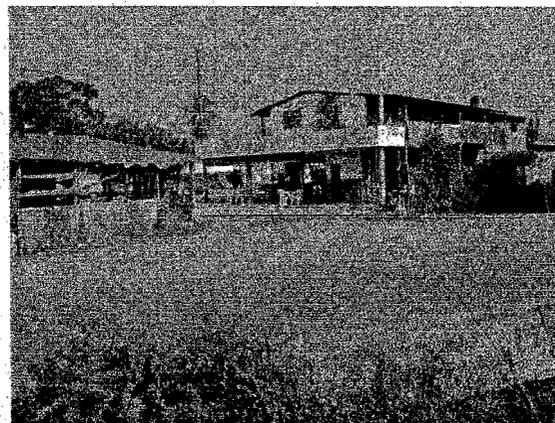


Figura 40. Estado actual 4.

### 3.6. Vehículos que circulan por la vía.

Se tomaron 6 puntos de referencia para el aforo de vehículos, arrojando los resultados en vehículos por minuto en hora pico, los puntos de aforo y los resultados se muestran a continuación:

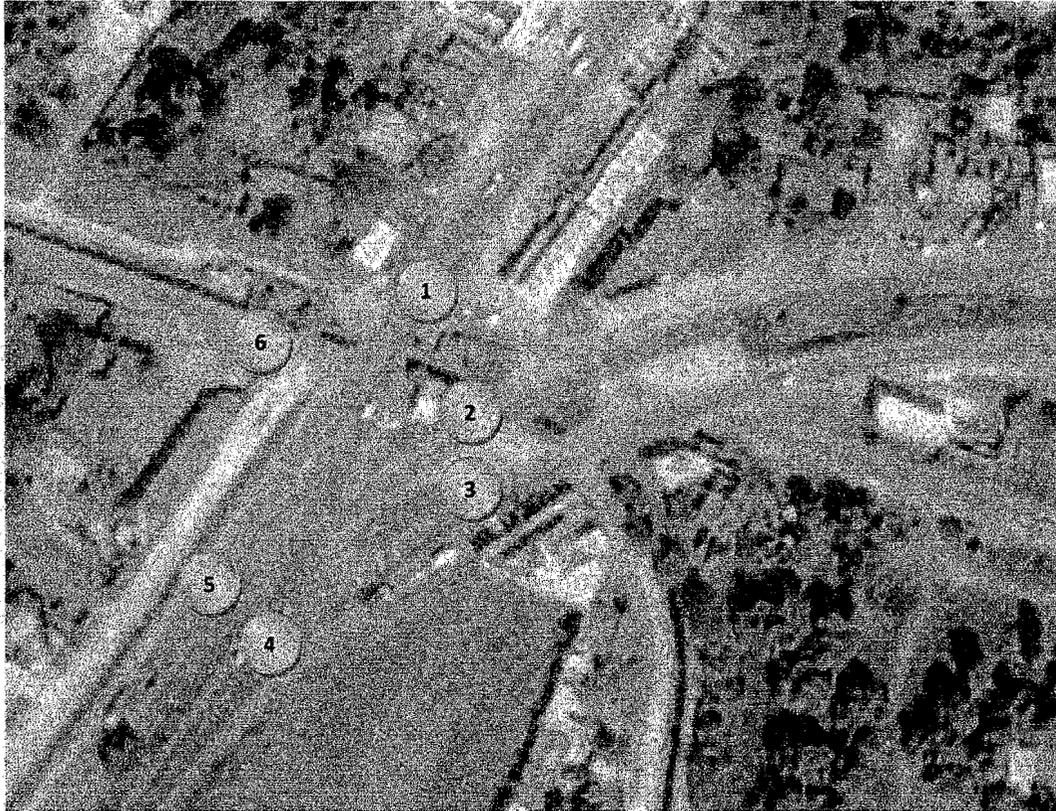


Figura 41. Puntos de aforo.

Aforo de vehículos en vehículos/hora.

Punto 1, corresponde a la entrada principal a Guacamayas Av. José María Morelos.

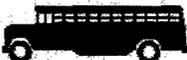
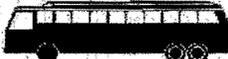
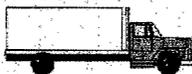
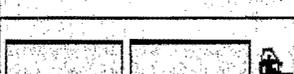
Punto 2 y 3, continuación del libramiento de Guacamayas.

Punto 4 y 5, libramiento de Guacamayas

Punto 6, Calle alterna Av. Palmira.

### AFORO VEHICULAR entrada y salida

UBICACION:	Interseccion de Guacamayas mpio. De Lázaro Cárdenas Mic	FECHA:	23 de diciembre del 2007
TRAMO:	Interseccion de Guacamayas.		
HORA DE INICIO Y TERMINACION:	12:00 p.m. a 06:00 p.m.	OPERADOR:	UNIDAD: Vehiculos
DESCRIPCION DE LA VIA:	Vo. Bo.		

	TIPO :	UNIDADES QUE PASAN DENTRO DEL PERIODO DE TIEMPO						TOTAL
		Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	
	A2 AUTOMOVIL	3780	612	972	2628	2772	54	10818
	A'2 CAM. LIGERO HASTA 3 TON	45	24	24	51	21	3	168
	B2 AUTOBUS 2EJES	36	9	12	33	15	0	105
	B3 AUTOBUS 3EJES	12	6	6	9	9	0	42
	C2 CAMION 2EJES	27	12	6	36	18	3	102
	C3 CAMION 3EJES	45	9	15	63	24	0	156
	T2-S1 TRACTOR 2EJES SEMIREMOLQUE	6	3	6	6	9	0	30
	T2-S2 TRACTOR 2EJES SEMIREMOLQUE 2EJE	6	6	9	9	9	0	39
	T3-S2 TRACTOR 3EJES SEMIREMOLQUE 2EJE	3	6	3	6	6	0	24
	T3-S3 TRACTOR 3EJES SEMIREMOLQUE 2EJE	3	3	3	3	3	0	15
	T3-S2-R2 TRACTOR 3EJES SEMIREM 2 EJES REMOL 2 EJES	0	0	3	3	3	0	9
	T3-S2-R3 TRACTOR 3EJES SEMIREM 2 EJES REMOL 3 EJES	0	0	0	0	0	0	0
	T3-S2-R4 TRACTOR 3EJES SEMIREM 2 EJES REMOL 4 EJES	0	0	0	0	0	0	0
Total		3963	690	1059	2847	2889	60	11508

### **3.7. Alternativas de solución.**

Tomando en cuenta los datos obtenidos en campo, y la situación actual de la intersección, tenemos las siguientes alternativas que reflejan una solución viable para mejorar y prolongar la vida útil del camino.

#### Alternativa 1.

Debido a que el camino en algunos puntos no tiene suficiente bombeo como para que escurra el agua, se propone rehabilitar el camino con un bombeo del 2%, teniendo así un mejor y más rápido desalojo del agua de lluvia en la vía.

Construcción de un pozo de visita en el kilometro 108+560 que capte el agua de la superficie del camino y una alcantarilla que desaloje el agua de lluvia hacia el aeropuerto, la alcantarilla se propone de polietileno.

Limpieza y conexión de las partes bajas de los terraplenes interiores por medio de alcantarillas para evitar la acumulación del agua y poder evitar un posible reblandecimiento de los terraplenes.

#### Alternativa 2.

Al igual que la alternativa número uno se propone un bombeo del 2% en el camino, además la construcción de dos pozos de visita en los kilómetros 108+560 y en el 108+500 que capten el agua de la superficie y conectar por medio de una alcantarilla de concreto hacia el canal de riego que cruza el libramiento.

Limpieza y conexión de las partes bajas de los terraplenes interiores por medio de alcantarillas de concreto, además de revestimiento con concreto de los taludes interiores de los terraplenes que eviten el crecimiento de plantas y que ayude a mantener limpio dichas zonas.

Analizando las dos posibles alternativas que se tienen para el mejoramiento del drenaje del lugar, se debe tomar en cuenta la alternativa que mejor funcione y que cumpla con el objetivo principal, que es evitar la acumulación del agua en la superficie de la carretera y el rápido desalojo de ella; al igual también es importante considerar la alternativa más económica y de menor tiempo en construcción.

Tomando en cuenta las anteriores consideraciones se llega a la conclusión de que la alternativa numero uno es la mejor para este proyecto, ya que cumple con el objetivo y resulta de menor costo y menor tiempo en su construcción.

## **CAPITULO 4**

### **METODOLOGIA**

El presente capítulo describe la metodología utilizada con la que se elaboró la presente tesis, dando a conocer así todo lo relacionado a este importante tema.

#### **4.1. Método empleado.**

El método empleado y seleccionado para el desarrollo de la presente tesis es el método científico, ya que la investigación de la tesis así lo requiere; desglosándonos así al carácter deductivo, además de ser necesario utilizar el método matemático-analítico, es matemático debido a que : "En cualquier investigación que asiste números de relaciones constantes, variedad de hipótesis, diversidad de comprobaciones y éstas se tomen en cuenta para afirmar o negar algo, se está aplicando el método cuantitativo" (Mendieta; 2005: 49); y es analítico por que utiliza la observación y examen de hechos.

#### **4.2. Enfoque de la Investigación.**

El enfoque necesario para el desarrollo de la presente tesis, en conformidad con Hernández (2004) necesita la posibilidad de generalizar los resultados, además de dar control de los fenómenos y dar un punto de vista sobre el conteo y su magnitud, así también el de poder obtener una posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos específicos de tales fenómenos y poder comparar fácilmente con otros



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

estudios similares, es por eso que se optó por el método cuantitativo, ya que ha sido el más utilizado por las ciencias exactas como la Física, Química y biología.

#### **4.2.1. Alcance de la Investigación.**

De acuerdo con Hernández (2004), la clasificación de Danhke divide los alcances en cuatro tipos: exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. Teniendo así que el alcance de la presente tesis es de carácter descriptivo debido a que "Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis" (Hernández; 2004: 117)

#### **4.3. Diseño de la Investigación.**

Según Hernández (2004), debido a que los datos obtenidos para el desarrollo de la presente tesis son recopilados en un solo momento único y su dimensión es temporal, se determina que el diseño de la investigación es de tipo no experimental e investigación transeccional o transversal.

#### **4.4. Instrumentos de Recopilación de Datos.**

Los instrumentos de recopilación de datos en conformidad con Hernández (2004), para estudios cuantitativos se utilizan: cuestionarios, pruebas estandarizadas y recopilación de contenidos para un posterior análisis estadístico. Así mismo es necesario cubrir algunos elementos más como lo son:

La recolección de datos tomando en cuenta lo siguiente: a) la selección uno o varios métodos o instrumentos disponibles o desarrollados, sin importar si son

cuantitativos o cualitativos; b) la aplicación de los instrumentos; c) El análisis de las mediciones o datos obtenidos en campo.

La recolección de datos es igual que medir, y medir es el proceso de vinculación de los conceptos abstractos con indicadores empíricos, mediante la clasificación o cuantificación. Por lo que es necesario medir las variables contenidas en la hipótesis en el caso de las investigaciones cuantitativas.

Cualquier instrumento que se empleé en la recolección de datos, deben ser confiables y con validez, dando a conocer que: la confiabilidad cuantitativa hace referencia al grado de repeticiones con que se hace una medición con un instrumento y produce iguales resultados. Por su parte la validez cuantitativa se refiere al grado en que un instrumento mide correctamente las variables que pretende medir; Se aportan tres tipo de evidencias respecto a la validez cuantitativa, las cuales son: la evidencia relacionada con el contenido, con el criterio y con el constructo., considerando así mismo que la validez puede ser afectada por la improvisación, el utilizar instrumentos de otros países que no entren dentro de nuestros estándares, poca o nula empatía con el respondiente, o factores que intervengan en la aplicación de la medición.

Se necesita tomar en cuenta que no existe medición perfecta, pero el error de la medición debe reducirse a límites tolerables, es por ellos que se deben aplicar coeficientes de confiabilidad que varíen entre 0 y 1 (0 = nula confiabilidad, 1 = total confiabilidad).

#### **4.5. Descripción del Proceso de Investigación.**

El proceso de la investigación se desarrolla principalmente con el conocimiento del lugar donde es requerido el estudio, por tal forma es necesario ayudarse con la información existente, como lo son cartas topográficas del INEGI y programas especializados de posicionamiento global como lo es el programa Google Earth.

Para continuar con el estudio es necesario establecer el encuadre metodológico a seguir, definiendo así el alcance e instrumentos para la recopilación de datos.

Posteriormente, fue necesario la obtención de datos físicos, tomando en cuenta todos los conceptos necesarios que nos sea de utilidad y ayudándonos de los instrumentos o procedimientos seleccionados para la elaboración de estos, además es necesario la corroboración y existencia de conceptos. Pasando después a la recopilación de datos y documentación de estos.

Ya obtenidos los documentos necesarios, se procede a capturar los datos en programas especializados, en este caso se necesita la ayuda de software como el Excel, Word, AutoCAD entre otros. Llegando así al análisis y la comparación de los resultados con la teoría sobre diseño de sistemas de drenaje, hasta entablar conclusiones que den cumplimiento al objetivo principal y la pregunta de investigación de la presente tesis.

## **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se presentaran todo lo relacionado con los cálculos necesarios para el diseño del drenaje en la intersección, así como condiciones y normas necesarias que rigen al proyecto.

### **Generalidades**

El diseño del proyecto de drenaje de la intersección está ligado con el diseño del proyecto geométrico, ya que el proyecto geométrico toma en cuenta todas las características necesarias para el correcto diseño vial. En el anexo uno, podemos observar el estado actual de la intersección, ya que se muestran las curvas de nivel, mientras en el anexo dos, se observa el diseño del proyecto geométrico.

### **Diseño del drenaje.**

Para el diseño del drenaje es necesario conocer primeramente la ubicación del área de conflicto, con lo cual una gran ayuda es la consulta de las cartas del INEGI, la carta que se utilizó en el presente proyecto fue la e13b89, correspondiente a la ciudad de Guacamayas, Michoacán y que es la que se muestra a continuación (La carta por cuestiones de espacio fue reducida).



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

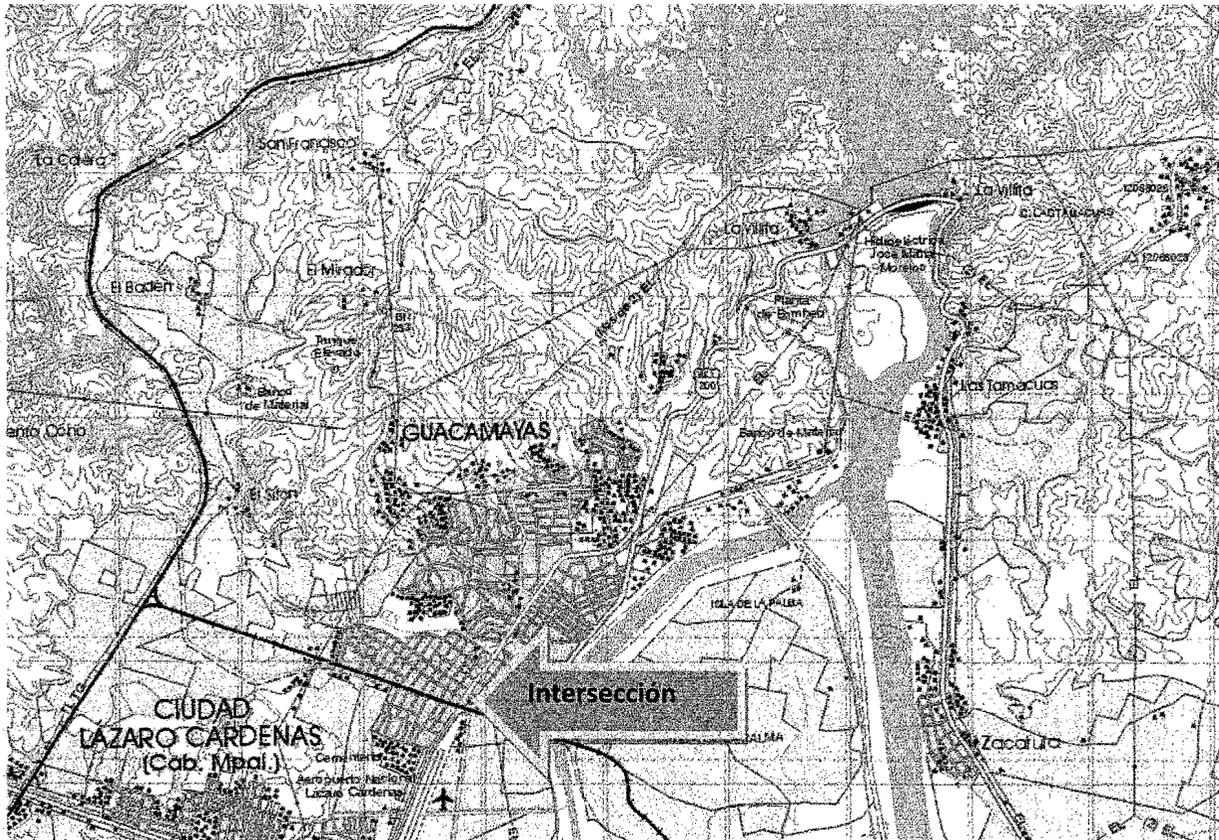


Figura 42. Localización de la intersección.

Ya localizado el lugar de conflicto se procede a la determinación del cálculo de los elementos de drenaje.

#### **Determinación de elementos de drenaje.**

En el proyecto se tomaron los aspectos más importantes para un buen diseño de drenaje, entre los cuales se encuentran:

- Bombeo transversal.
- Localización de alcantarillas y pozo de visita para la captación y desalajo del agua en el camino.
- Alcantarilla comunicante entre terraplenes interiores.

## Diseño del bombeo en el camino.

El bombeo empleado en el proyecto es correspondiente a caminos asfaltados, en nuestro país para este tipo de caminos se utiliza un bombeo del 2%, por lo que se debe emplear éste mismo porcentaje de bombeo en nuestro proyecto, el bombeo en el camino se encuentra en el anexo 4, el cual muestra las secciones del perfil de la intersección las cuales cumplen con el bombeo del 2%. A continuación se muestra algunos ejemplos del perfil.

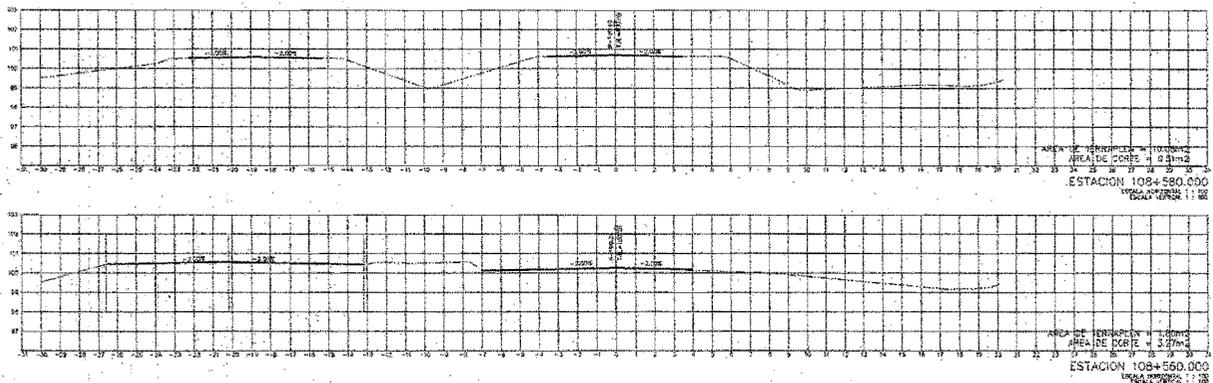


Figura 43. Secciones del proyecto.

## Diseño de alcantarilla.

El diseño de la alcantarilla se muestra a continuación:

Primeramente es necesario obtener el área de captación de la alcantarilla, la cual se obtuvo con la ayuda del programa Auto CAD y del proyecto geométrico, dicha área se muestra a continuación:

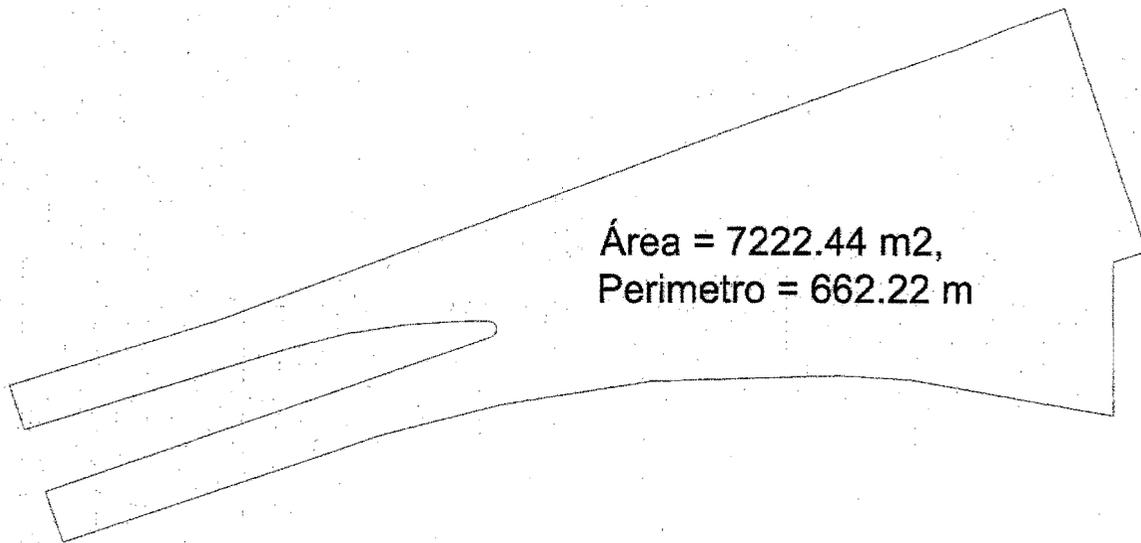


Figura 44. Área considerada para diseño.

### Formula de Talbot

Ésta fórmula es aplicable sólo para áreas menores a 4km<sup>2</sup> y es aplicada en la construcción de carreteras y aeropuertos.

$$Q = 0.278 C i A$$

donde:

A = área de drenaje, en km<sup>2</sup>

C = Coeficiente adimensional que representa la relación precipitación/ escurrimiento.

i = intensidad de precipitación para la frecuencia elegida en mm/h, y para una duración igual al tiempo de concentración.

Para el valor de i es necesario obtener los datos acerca de la precipitación del lugar, en nuestro caso es de 1276.8 mm anuales para la aplicación de este dato en la fórmula es necesario convertirlo a mm/h, por lo tanto tomando datos de la CNA tenemos que:

En el Anexo se muestra más acerca del tema de precipitación.

Precipitación anual	1276.8	mm x año
meses con mayor precipitación mayo-octubre según CNA	6	
30 días promedio del mes	212.8	mm x mes
24 horas	30	
	7.1	mm x día
	24	
	0.30	mm x hora

A =	0.72	Km <sup>2</sup>
C =	0.75	Tabla 1
i =	0.3	mm/hr.

por lo tanto se tiene que:

$$Q = 0.045036 \text{ m}^3/\text{seg}$$

De la formula  $Q = AV$  despejamos A y tenemos que  $A = Q/V$

Tomando en cuenta que

Velocidades mínimas y máximas

Velocidades a sección llena:

Alcantarillado Sanitario:

- velocidades mínima = 0.6 m/s
- velocidades máxima = 5.0 m/s

Alcantarillado Pluvial:

- velocidades mínima = 0.6 m/s
- velocidades máxima = 8.0 m/s

tomando una velocidad de .6m/s .+ critica

$$Q = 0.045 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = 0.6 \text{ m/seg}$$

$$A = 0.075 \text{ m}^2$$

Considerando que el calado máximo es de .40 D

+ 75%

Área máxima 0.131355

Para obtener el diámetro del tubo despejamos d de la fórmula del círculo teniendo así que:

$$A = (\pi \times d^2)/4$$

$$\text{Obteniendo así que: } d = \sqrt{((Ax4)/\pi)}$$

$$d = 0.4089 \text{ m}$$

Por lo tanto es necesario un tubo de 40 cm de diámetro

Para la SCT el diámetro mínimo de alcantarillas es de 1.20 m en caminos tipo B

Procediendo así, a analizar los muros de cabeza con dichas dimensiones del diámetro comercial de la compañía ADS Mexicana es de 48" (1200 mm)

### **Diseño de los muros de cabeza**

Para las dimensiones de los muros de cabeza se toman en cuenta las dimensiones tipo de acuerdo con Crespo.

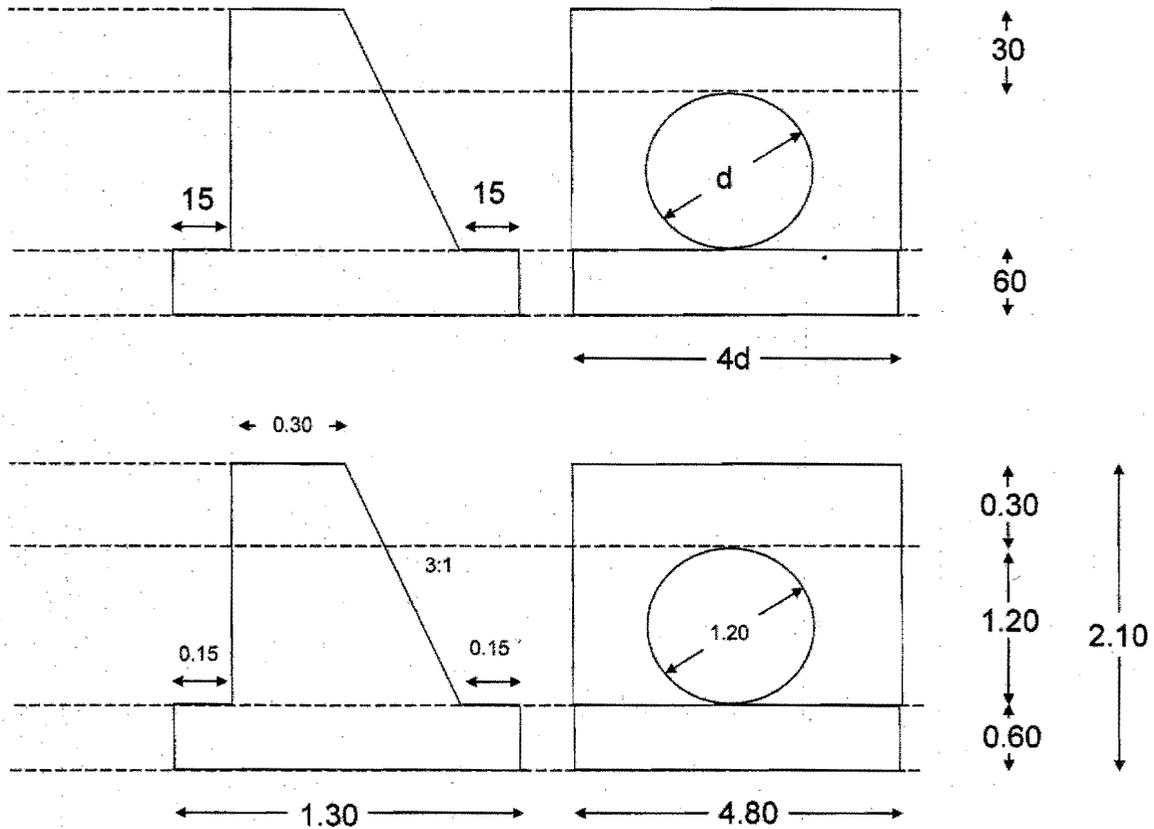


Figura 45. Dimensiones del muro de cabeza.

### Diseño de las cargas vivas sobre la alcantarilla

$P$  = Carga de la rueda =  $0.4 W$

Área de la base del cono de transmisión de

$A$  = esfuerzos

Profundidad del cono de transmisión de

$h$  = esfuerzos

$$r = h = \frac{\text{Ancho del camión}}{2} = \frac{1.88}{2} = 0.94$$

$$\text{Carga C3} = 20000 \text{ kg}$$

$$P = 0.4 \times 20000 = 8000 \text{ kg}$$

$$S = \frac{P}{A} = \frac{8000}{\pi r^2} = 2881.93$$

A continuación se muestra una tabla la cual relaciona la altura del colchón con respecto a las cargas que está sometida la alcantarilla:

h, en metros	S = P/A, en Kg/m <sup>2</sup>	h' = S/γ, en metros.	d = h + h', en metros
0.500	3669	2.82	3.32
0.940	1038	0.80	1.74
1.000	917	0.71	1.71
1.500	408	0.31	1.81
2.000	229	0.18	2.18
3.000	102	0.08	3.08
3.050	99	0.08	3.13
3.500	75	0.06	3.56
4.000	57	0.04	4.04
5.000	37	0.03	5.03
6.000	25	0.02	6.02
7.000	19	0.01	7.01
8.000	14	0.01	8.01

Grafica para determinar el colchón de la alcantarilla.

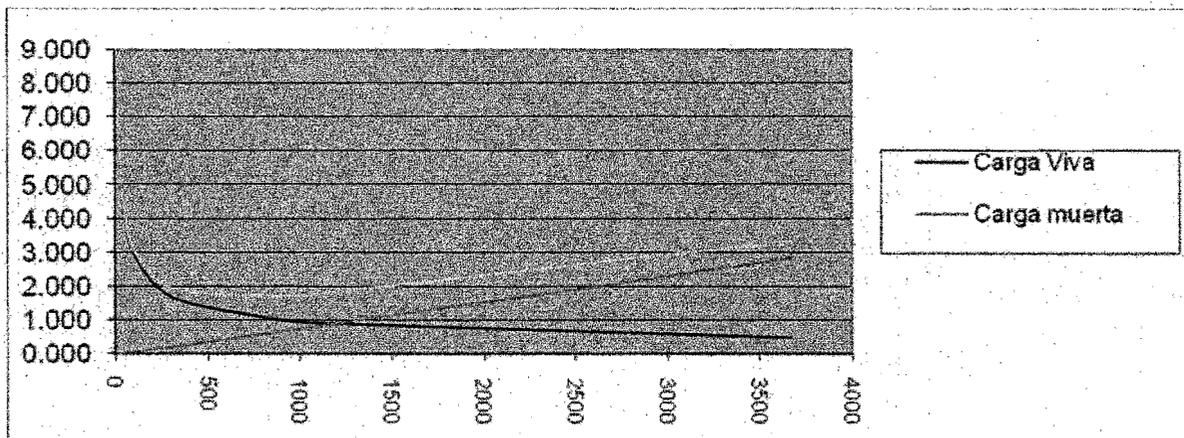


Figura 46. Gráfica para determinar el colchón de la alcantarilla.

Concluyendo así que debemos tener un colchón de 0.95 m, con una carga de 1038 Kg/m<sup>2</sup>. Por lo que se debe revisar si esta carga la soportara nuestra alcantarilla, en las tablas del fabricante se obtiene este dato que es de 1245.17 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto concluimos que:

Carga unitaria sobre alcantarilla		Carga resistente del tubo
1038 Kg/m <sup>2</sup>	<	1245.17 Kg/m <sup>2</sup>

Por lo tanto se acepta por flexión con un colchón de 0.94 metros

Los planos de construcción y especificaciones de diseño se encuentran en el anexos 3.

Es así que se cuenta un pozo de visita y una alcantarilla para el desalojo del agua en la carretera, el pozo de visita se ubicada en el kilómetro 108+560, con un diámetro de 1.20 m. la cual desfoga su gasto a un costado del aeropuerto de Guacamayas. Además con el diseño de un bombeo del 2% para mayor seguridad de los usuarios del camino y según norma.

En este tramo carretero no es necesario utilizar cunetas, ya que el tramo se encuentra sobre un nivel superior al terreno natural (terraplén) y el agua captada en este tramo es solamente la del camino, por lo que el drenado del agua basta con el bombeo calculado, por lo que la construcción de las cunetas solo representarían un gasto y el funcionamiento sería muy pobre.

## CONCLUSIÓN

De los primeros caminos hechos por nuestros antecesores hasta la construcción de puentes colgantes y túneles que atraviesan continentes hoy en día, existe una clara y gran diferencia en las técnicas y modelos de construcción, pero ambos parten de lo más fundamental "el estudio y la observación". La presente tesis parte de estos mismos fundamentos, ya que fue necesaria la investigación en campo para a continuación analizar los datos arrojados y por consiguiente diseñar los elementos necesarios para cubrir los objetivos antes planteados.

El principal objetivo, el diseñar el sistema de drenaje para la intersección de Guacamayas Michoacán carretera Zihuatanejo-Lázaro Cárdenas y los objetivos específicos, ahora al concluir la presente tesis se puede decir que se han cumplido, citando así que para el objetivo principal el análisis demostró que es necesario la construcción de un pozo de visita en el kilómetro 108+560, el cual tiene como función el captar toda el agua en superficie del camino por medio de una alcantarilla de polietileno de la marca ADS mexicana con un diámetro de 1.20 metros, el cual desfoga el agua captada hacia el aeropuerto de la población de Guacamayas. Así también el análisis demostró que el camino debe contar con un bombeo del 2% y que no es necesaria la construcción de cunetas, debido a que nuestro camino se encuentra en un terraplén y con el bombeo es más que suficiente para el desalojo del agua.

Para las interrogantes presentadas al inicio de la presente tesis se tiene las respuestas siguientes:



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El bombeo es la pendiente del eje transversal con que cuenta un camino, la función de dicha pendiente es drenar el agua que cae en la superficie hacia los extremos, comúnmente hacia las cunetas; el bombeo en caminos varía dependiendo del tipo de material con que se construyen. La función de un sistema de drenaje en caminos es la conservación y prolongación de la vida útil de un camino, evitando la erosión y la formación de baches en la superficie que son los causantes principales del deterioro de estos. Los elementos que componen las obras de drenaje son las alcantarillas y muros de cabeza, su función es ayudar a cruzar el agua de un punto a otro a través de un camino, las cunetas y contracunetas las cuales son las encargadas de captar el agua hacia la alcantarilla, el bombeo el cual drena el agua de la superficie hacia las cunetas, los lavaderos se encargan de desalojar el agua del camino y proteger los terraplenes y por último, los puentes que en claros grandes ayudan a unir dos puntos y darle continuación a un camino. La ventaja de contar con un sistema de drenaje en un camino es básicamente la conservación de éste, ya que un camino que no cuenta con ningún elemento de drenaje su rehabilitación es en corto tiempo originando costos mayores a los de construcción de elementos de drenaje.

Lo más destacado de la investigación fue la escases de información acerca de las condiciones actuales del estado, así como la falta de estaciones meteorológicas automáticas en gran parte del estado, en el INEGI muestra que Michoacán sólo cuenta con 3 estaciones fijas y que arrojan información para todo el estado. Destacando también que cada vez es más rápida la construcción en general, ya que van surgiendo nuevos materiales que economizan y agilizan la construcción.

## BIBLIOGRAFIA

Aparicio Mijares, J. (1989)

Fundamentos de hidrología de superficie

Limusa Noriega editores, México

Apuntes de la UNAM de ingeniería civil

Ingeniería de caminos

UNAM

Arias Rivera, Carlos (1984)

Cuaderno de Trabajo de comportamiento de suelos

Editorial UNAM Facultad de Ingeniería Civil México

Chow Ven, Te (1994)

Hidrología aplicada

McGraw-Hill, México

Crespo Villaluz, Carlos (2005)

Vías de comunicación

Limusa 3ª edición, México

Hernández S., Roberto (2004)

Metodología de la Investigación

Editorial Mc Graw Hill México



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Rojas, Yolanda (2005)

Técnicas de Investigación documento

Editorial Thompson México

Manual de Proyecto (1974)

Geométrico de Carreteras

SCT

Mendieta Alatorre, Ángeles (2005)

Métodos de investigación y Manual Académico

Editorial Ed. Porrúa México

Mier S., José Alfonso (1987)

Introducción a la ingeniería de caminos

UMSNH

Olivera Bustamante, Fernando (2006)

Estructuración de Vías Terrestres 2da Edición

Editorial Continental, México

**Otras fuentes de información:**

<http://www.labsuelosuni.edu.pe/pdf/Terzaghi%20Mecanica%20Suelos%20Texto.pdf>

Ilustración del ciclo del agua

[http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Temas\\_basicos\\_ing\\_civil/Hidrologia/Modulo\\_I\\_Hidrologia.pdf](http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Temas_basicos_ing_civil/Hidrologia/Modulo_I_Hidrologia.pdf)

## Anexo 6

### » Descripción de una Estación Meteorológica Automática

#### ¿Qué es una Estación Meteorológica Automática?

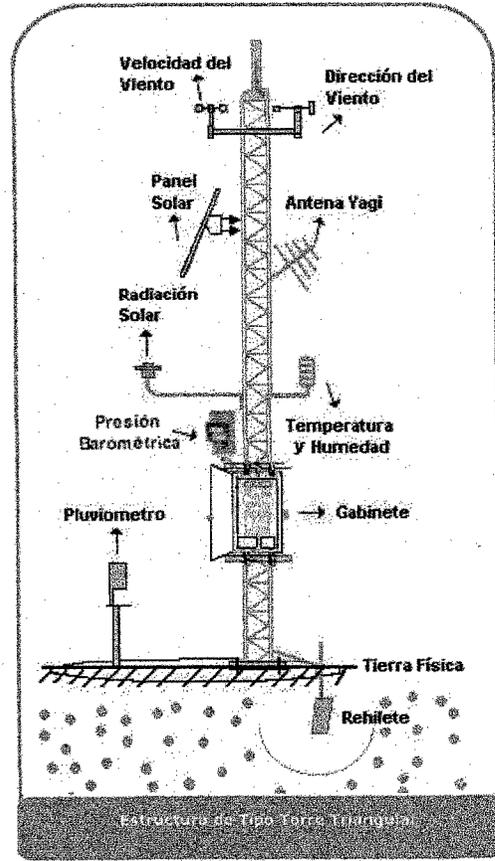
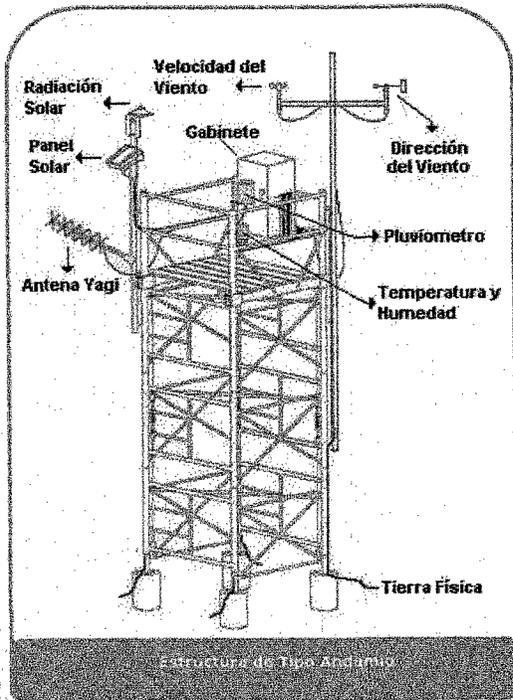
Es una estación en la que las observaciones meteorológicas se realizan automáticamente (sobre todo en forma numérica) (*Referencia OMM 182.*). Una Estación Meteorológica Automática está conformada por un conjunto de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática de los sitios donde están estratégicamente colocadas. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas Variables Meteorológicas del lugar para generar archivos del promedio de cada 10 minutos de todas las variables, esta información es enviada en intervalos de 1 ó 3 horas por estación.

El área representativa de las estaciones es de 5 km de radio aproximadamente, en terreno plano, excepto en terreno montañoso.  
(*Referencia OMM número 100 y 168*)

#### ▪ **Sensores que integran la Estación:**

- Sensor de Velocidad del viento
- Sensor de Dirección del viento
- Sensor de Presión atmosférica
- Sensor de Temperatura y Humedad relativa
- Sensor de Radiación solar
- Sensor de Precipitación
- Panel Solar

**Existen dos tipos de estructura donde van montadas las estaciones:**



» Catálogo de Estaciones

**Lista de 94 Estaciones Meteorológicas Automáticas administradas por la GCSMN con Transmisión Vía Satélite**

ESTADO	NOMBRE	Clave	Latitud	Longitud	Altitud
AGUASCALIENTES	CALVILLO	AG01	21°50'58"	102°42'44"	1618
BAJA CALIFORNIA	PRESA ABELARDO L. RODRÍGUEZ (TIJUANA)	BC01	32°26'50"	116°54'30"	156
BAJA CALIFORNIA	PRESA EMILIO LÓPEZ ZAMORA (ENSENADA)	BC02	31°53'29"	116°36'12"	32
BAJA CALIFORNIA	MEXICALI	BC03	32°40'1"	115°17'27"	50
BAJA CALIFORNIA	SAN QUINTÍN	BC04	30°31'54"	115°50'15"	32
BAJA CALIFORNIA	BAHÍA DE LOS ANGELES	BC05	28°53'47"	113°33'37"	10
BAJA CALIFORNIA	CATAVIÑA	BC06	29°43'38"	114°43'09"	514
BAJA CALIFORNIA	LA RUMOROSA	BC07	32°16'20"	116°12'20"	1262
BAJA CALIFORNIA SUR	SANTA ROSALÍA	BS01	27°20'17"	112°16'10"	53
BAJA CALIFORNIA SUR	CD. CONSTITUCIÓN	BS02	25°00'35"	111°39'48"	28
BAJA CALIFORNIA SUR	CABO SAN LUCAS	BS03	22°52'52"	109°55'35"	224
BAJA CALIFORNIA SUR	GUSTAVO DÍAZ ORDAZ	BS04	27°38'34"	113°27'27"	37
CAMPECHE	CD. DEL CARMEN	CM01	18°38'53"	91°49'21"	8
CAMPECHE	CAMPECHE	CM02	19°50'10"	90°30'26"	11
CAMPECHE	CALAKMUL	CM03	18° 21' 54"	89° 53' 33"	28
CAMPECHE	ESCARCEGA	CM04	18°36'30"	90°45'14"	60
CHIAPAS	PALENQUE	CS01	17° 31' 33"	91° 59' 25"	52
CHIAPAS	ESCUINTLA	CS02	15° 17' 51"	92° 40' 34"	42
CHIHUAHUA	CHINIPAS	CH01	27°23'34"	108°32'11"	431
CHIHUAHUA	GUACHOCHI	CH02	26°48'49"	107°04'23"	2390
CHIHUAHUA	URIQUE	CH03	27°12'56"	107°55'1"	577
CHIHUAHUA	MAGUARICHI	CH04	27°51'30"	107°59'40"	1663
CHIHUAHUA	CHINATÚ	CH05	26°13'46"	106°46'14"	1982
CHIHUAHUA	BASASEACHI	CH06	28°11'57"	108°12'32"	1973
CHIHUAHUA	CIUDAD DELICIAS	CH07	28° 10' 12"	105° 30' 00"	1188
CHIHUAHUA	JIMENEZ	CH08	27°06'39"	104°54'23"	1360
COAHUILA	NUEVA ROSITA	CU01	27° 55' 12"	101° 19' 48"	366
COAHUILA	SANTA CECILIA	CU02	28°23'58"	101°12'47"	595
DISTRITO FEDERAL	TACUBAYA	DF01	19°24'13"	99°11'49"	2320
DISTRITO FEDERAL	ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS IPN	DF02	19°27'13"	99°10'16"	2389
DISTRITO FEDERAL	TEZONTLE	DF04	19°23'07"	99°05'59"	2358
DURANGO	LAS VEGAS	DG01	24° 11' 09"	105° 27' 58"	2398
DURANGO	AGUSTIN MELGAR	DG02	25° 15' 48"	104° 03' 58"	1226
GUANAJUATO	PRESA ALLENDE	GT01	20°50'54"	100°49'29"	1915
GUERRERO	ACAPULCO	GR01	16°45'48"	99°44'56"	7.5m
GUERRERO	CD. ALTAMIRANO	GR02	18° 21' 02"	100° 39' 30"	251
GUERRERO	PETACALCO	GR03	17° 59' 04"	102° 07' 23"	53

GUERRERO	IGUALA	GR04	18°21'37"	99°31'27"	780
HIDALGO	PACHUCA	HI01	20°05'49"	98°42'51"	2423
HIDALGO	HUICHAPAN	HI03	20° 23' 19"	99° 39' 50"	2080
HIDALGO	HUEJUTLA	HI02	21°09'17"	98°22'07"	115
JALISCO	CHAPALA	JA01	20°17'25"	103°12'06"	1493
JALISCO	TIZAPAN	JA02	20°10'10"	103°02'38"	1503
JALISCO	JOCOTEPEC	JA03	20°16'59"	103°24'59"	1506
JALISCO	LOS COLOMOS	JA04	20°42'24"	103°23'34"	1571
JALISCO	RÍO TOMATLAN	JA05	19°59'55"	105°08'01"	141
MEXICO	CERRO CATEDRAL	MX01	19°32'31"	99°31'9"	3754
MEXICO	PRESA MADÍN	MX02	19°31'28"	99°16'05"	2364
MEXICO	ATLACOMULCO	MX03	19°47'30"	99°52'11"	2600
MEXICO	NEVADO DE TOLUCA	MX04	19°07'0"	99°46'0"	4139
MEXICO	CEMCAS	MX05	19°28'47"	98°58'25"	2176
MICHOACÁN	ANGAMACUTIRO	MC01	20°07'31"	101°43'21"	1730
MICHOACÁN	APATZINGAN	MC02	19° 04' 58"	102° 22' 18"	282
MICHOACÁN	URUAPAN	MC03	19° 22' 51"	102° 01' 44"	1606
MORELOS	INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA	MO01	18°52'56"	99°09'25"	1355
MORELOS	TEPOZTLAN	MO02	18°57'03"	99°04'44"	1384
NAYARIT	IXTLAN DEL RÍO	NA01	21° 02' 20"	104° 17' 53"	1163
NAYARIT	ACAPONETA	NA02	22° 27' 59"	105 23' 07"	29
NUEVO LEÓN	PRESA EL CUCHILLO	NL01	25°43'59"	99°19'15"	134
OAXACA	PUERTO ÁNGEL	OX01	15°40'16"	96°29'50"	91
OAXACA	PINOTEPA NACIONAL	OX02	16° 20' 59"	98° 03' 09"	195
OAXACA	MATIAS ROMERO	OX03	16° 52' 58"	95° 02' 11"	186
OAXACA	NOCHISTLAN	OX04	17°26'12"	97°14'57"	2040
PUEBLA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE TECAMACHALCO	PU01	18°51'59"	97°43'18"	2047
PUEBLA	IZUCAR DE MATAMOROS	PU02	18°37'0"	98°27'7"	1353
QUERÉTARO	HUIMILPAN	QO01	20°23'25"	100°17'1"	2280
QUINTANA ROO	CANCÚN	QR01	21°04'30"	86°46'33"	4
QUINTANA ROO	CHETUMAL	QR02	18°30'02"	88°19'40"	14
QUINTANA ROO	SIAN KA'AN	QR03	20°07'40"	87°27'56"	8
QUINTANA ROO	COZUMEL	QR04	20° 28' 37"	86° 54' 25"	5
SAN LUIS POTOSI	MATEHUALA	SL01	23° 36' 51"	100° 39' 57"	1627
SAN LUIS POTOSI	CIUDAD VALLES	SL02	21°58'47"	99°01'51"	58
SINALOA	OBISPO	SI01	24°15'04"	107°11'17"	4
SONORA	ALAMOS	SO01	27°01'18"	108°56'16"	409
SONORA	YECORA	SO02	28° 22'	108° 55'00"	1531
SONORA	HERMOSILLO - BAHIA DE KINO	SO03	28° 43' 48"	111° 49' 48"	160
TABASCO	PARAISO	TA01	18° 25' 24"	93° 09' 20"	4
TAMAULIPAS	TAMPICO	TM01	22°23'15"	97°55'32"	61
TAMAULIPAS	MATAMOROS	TM03	25°53'09"	97°31'07"	4
TAMAULIPAS	SAN FERNANDO	TM04	24° 50' 34"	98° 09' 27"	45

TAMAULIPAS	CIUDAD MANTE	TM05	22° 44' 40"	98° 58' 59"	85
TLAXCALA	HUAMANTLA	TL01	19°23'	97°57'00"	2222
VERACRUZ	CENTRO DE PREVISIÓN DEL GOLFO	VR01	19°08'34"	96°06'41"	19
VERACRUZ	JALAPA	VR02	19°31'47"	96°55'29"	1439
VERACRUZ	TUXPAN	VR03	20°57'36"	97°25'01"	5
VERACRUZ	ALVARADO	VR04	18°42'54"	95°37'57"	113
VERACRUZ	CD. ALEMAN	VR05	18°11'21"	96°05'51"	107
VERACRUZ	LA CANGREJERA	VR06	18°06'21"	94°19'53"	34
VERACRUZ	CITLALTEPEC	VR07	21°20'04"	97°52'43"	211
YUCATÁN	MÉRIDA	YC01	20°56'47"	89°39'06"	18
YUCATÁN	CELESTÚN	YC02	20°51'29"	90°22'59"	10
YUCATÁN	RÍO LAGARTOS	YC03	21°34'16"	88°09'37"	5
YUCATÁN	TANTAQUIN	YC04	20° 01' 49"	89° 02' 50"	30
ZACATECAS	ZACATECAS	ZC01	22°44'48"	102°30'22"	2270

# PROCESO ELECTRONICO

## ESPECIFICACIONES DE PROYECTO

C O N C E P T O S	CARACTERISTICAS		UNIDAD
	DEL TRAMO	EN ESTE PLANO	
CARRETERA	" B "	" B "	
VELOCIDAD DE PROYECTO	70	70	km/h
ANCHO DE CORONA EN TANGENTE	7	7	m
ANCHO DE CARPETA EN TANGENTE	9	9	m
ESPESOR DE SUB BASE, BASE Y CARPETA			m
CURVATURA MAXIMA	40'00'	40'00'	.
PENDIENTE GOBERNADORA	---	---	%
PENDIENTE MAXIMA	3	2	%

No. -

ESCALAS :

HORIZONTAL

1 : 1200

## PLANO TOPOGRAFICO

CARRETERA: ZIHUTANEJO - LA MIRA

TRAMO: LIM. EDOS. GRO./MICH. - LA MIRA

ALTERNATIVA: \_\_\_\_\_

DE ESTACION: 108+000 A EST. 109+000

ORIGEN: LA MIRA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

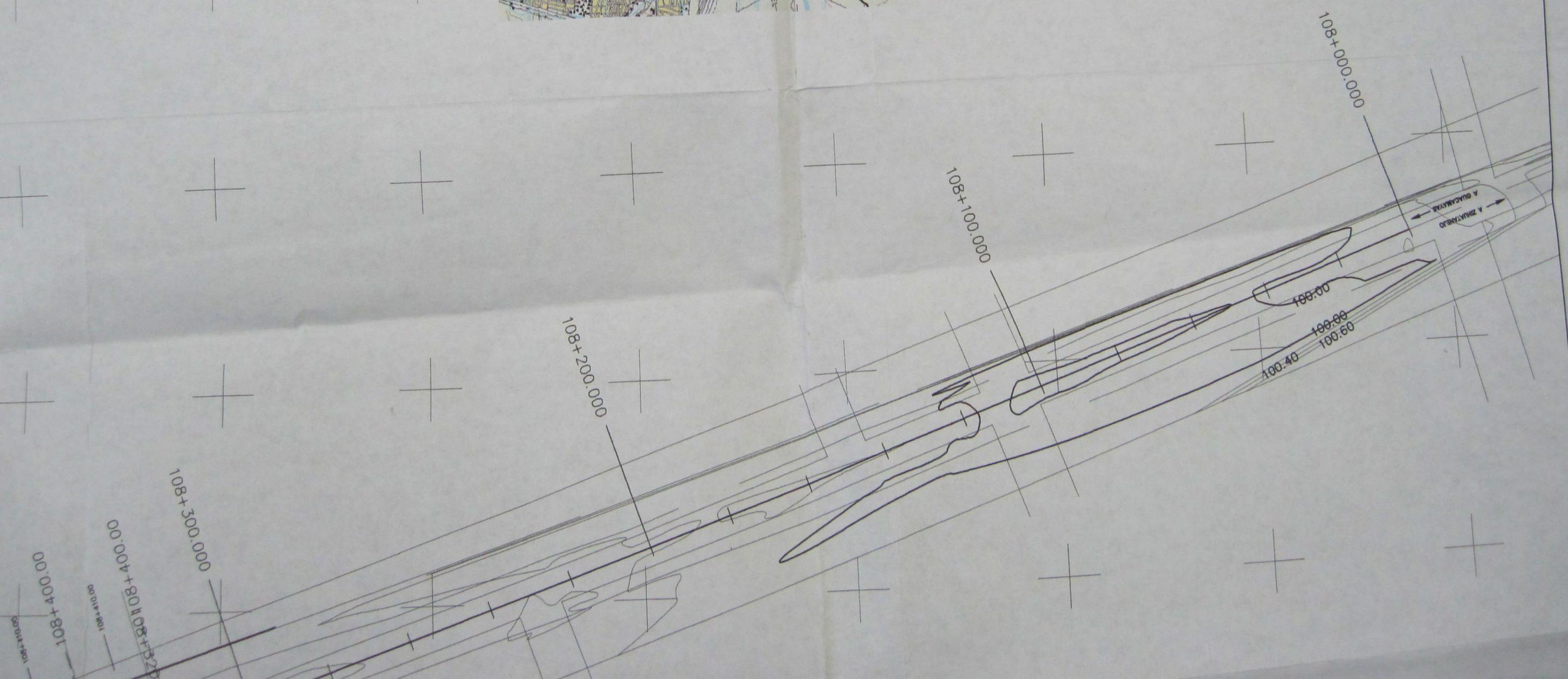
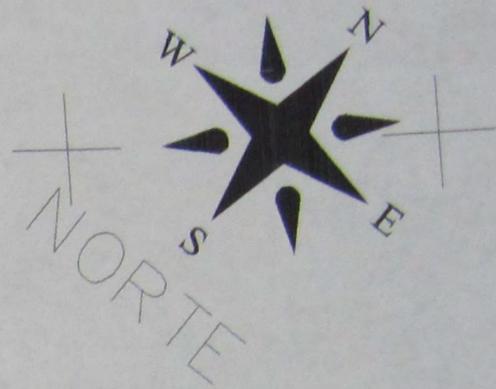


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

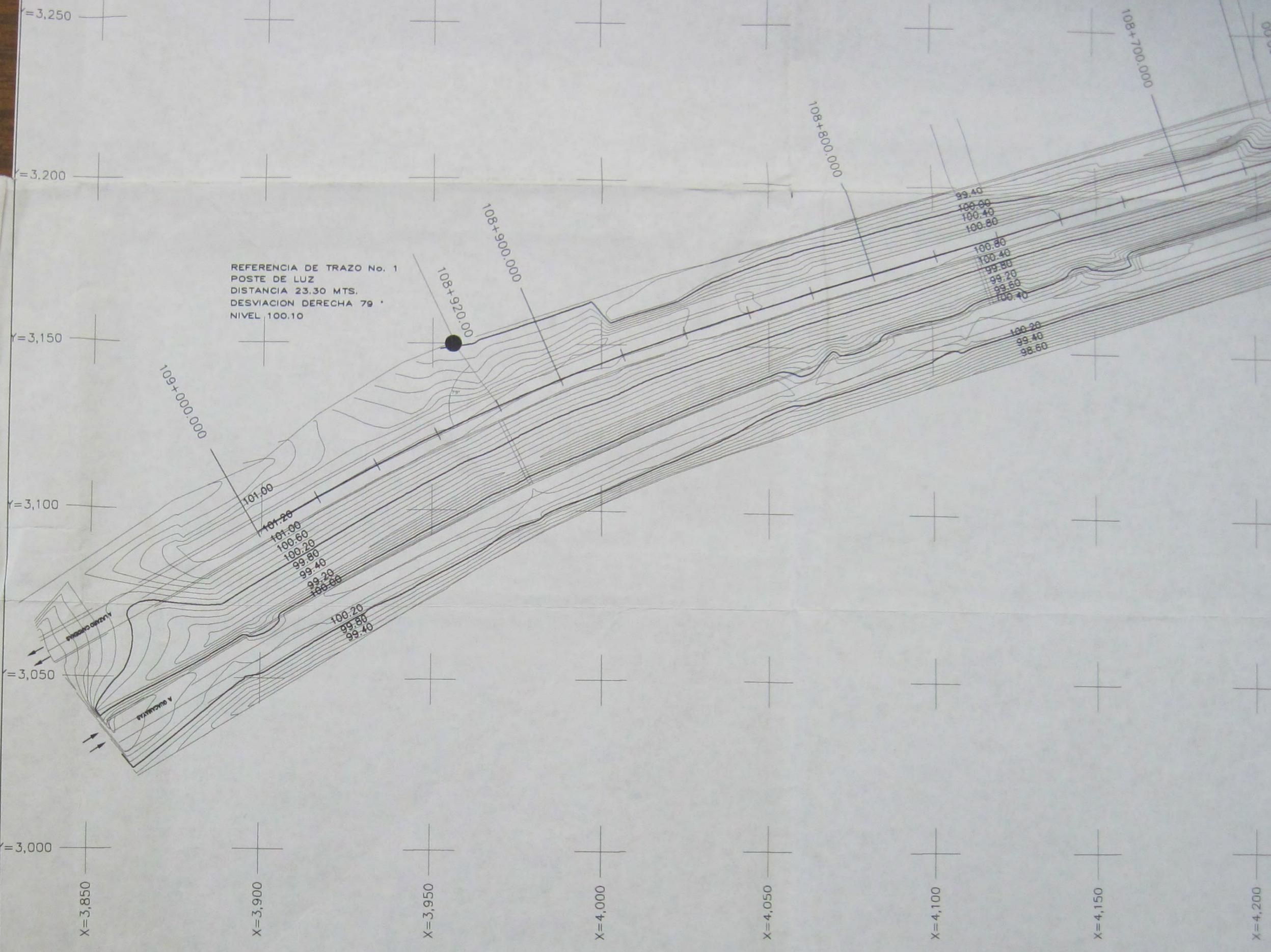
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



REFERENCIA DE TRAZO No. 1  
POSTE DE LUZ  
DISTANCIA 23.30 MTS.  
DESVIACION DERECHA 79 °  
NIVEL 100.10



Observaciones:

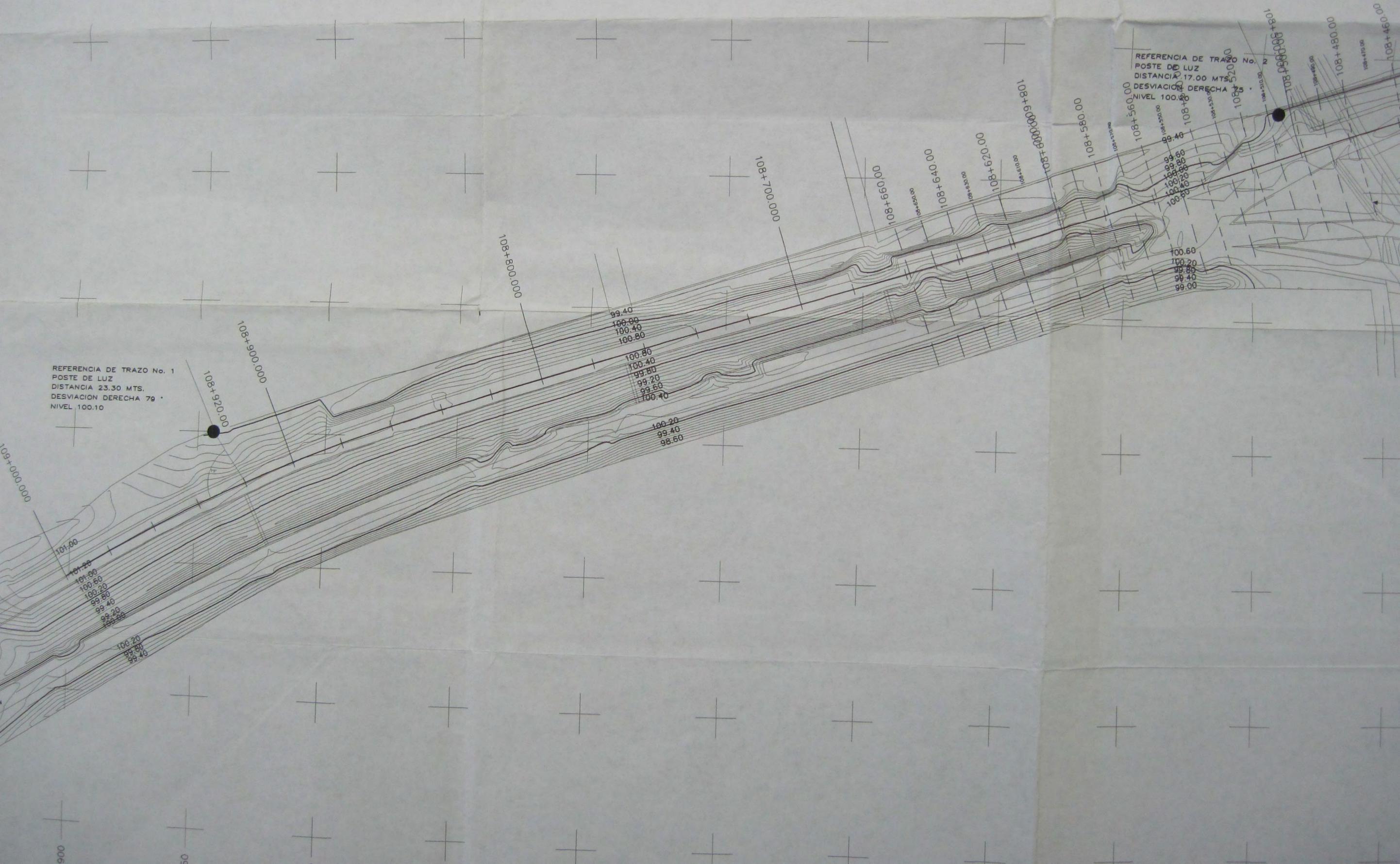
El presente plano muestra el levantamiento topográfico de la intersección.

TRAMO: LIM. EDOS. GRO./MICH. LA MIRA

ALTERNATIVA:

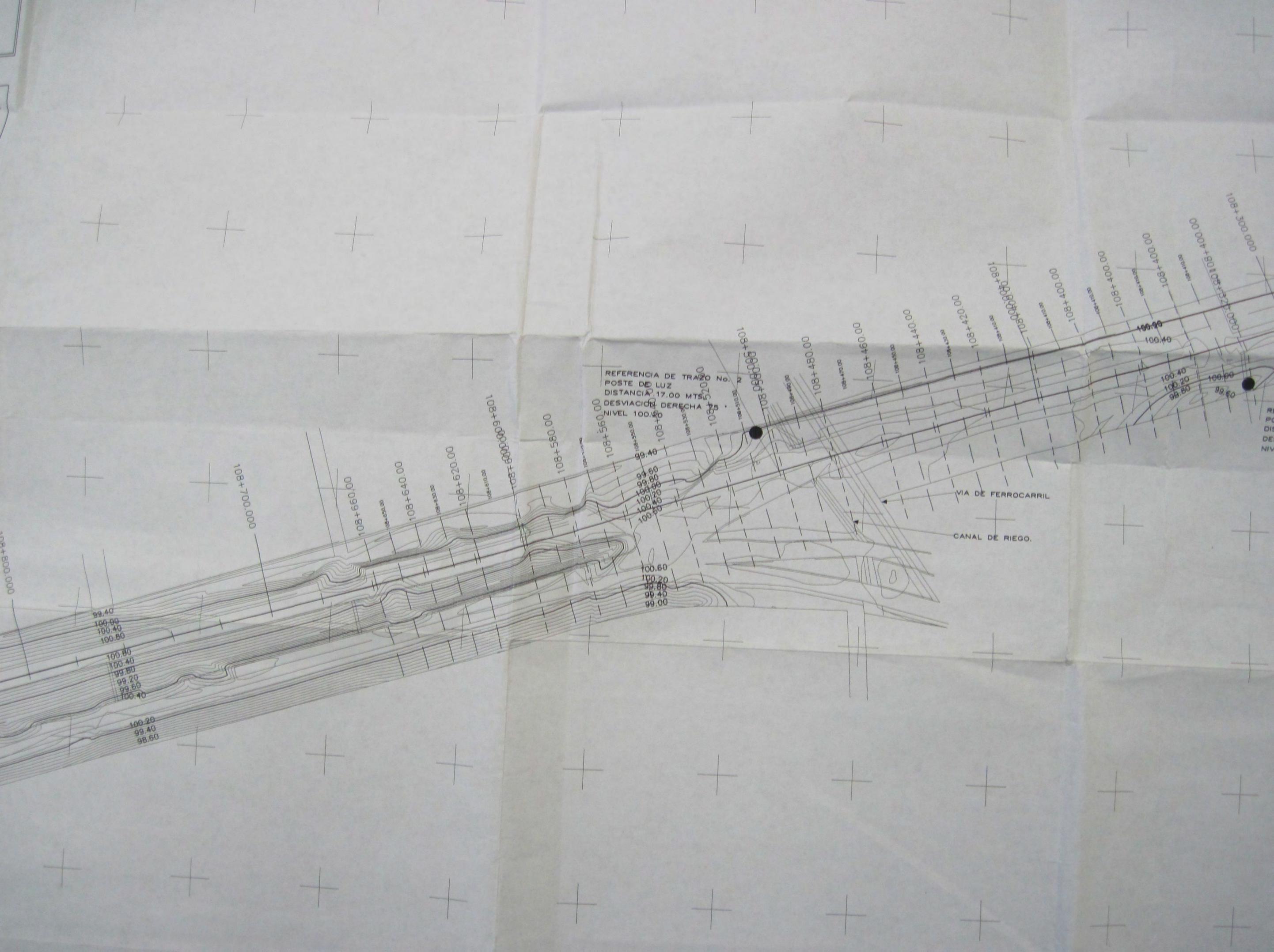
DE ESTACION: 108+000 A EST. 109+000

ORIGEN: LA MIRA



REFERENCIA DE TRAZO No. 1  
POSTE DE LUZ  
DISTANCIA 23.30 MTS.  
DESVIACION DERECHA 79°  
NIVEL 100.10

REFERENCIA DE TRAZO No. 2  
POSTE DE LUZ  
DISTANCIA 17.00 MTS.  
DESVIACION DERECHA 75°  
NIVEL 100.20



REFERENCIA DE TRAZO No. 007C  
POSTE DE LUZ  
DISTANCIA 17.00 MTS  
DESVIACION DERECHA  
NIVEL 100.80

VIA DE FERROCARRIL  
CANAL DE RIEGO.

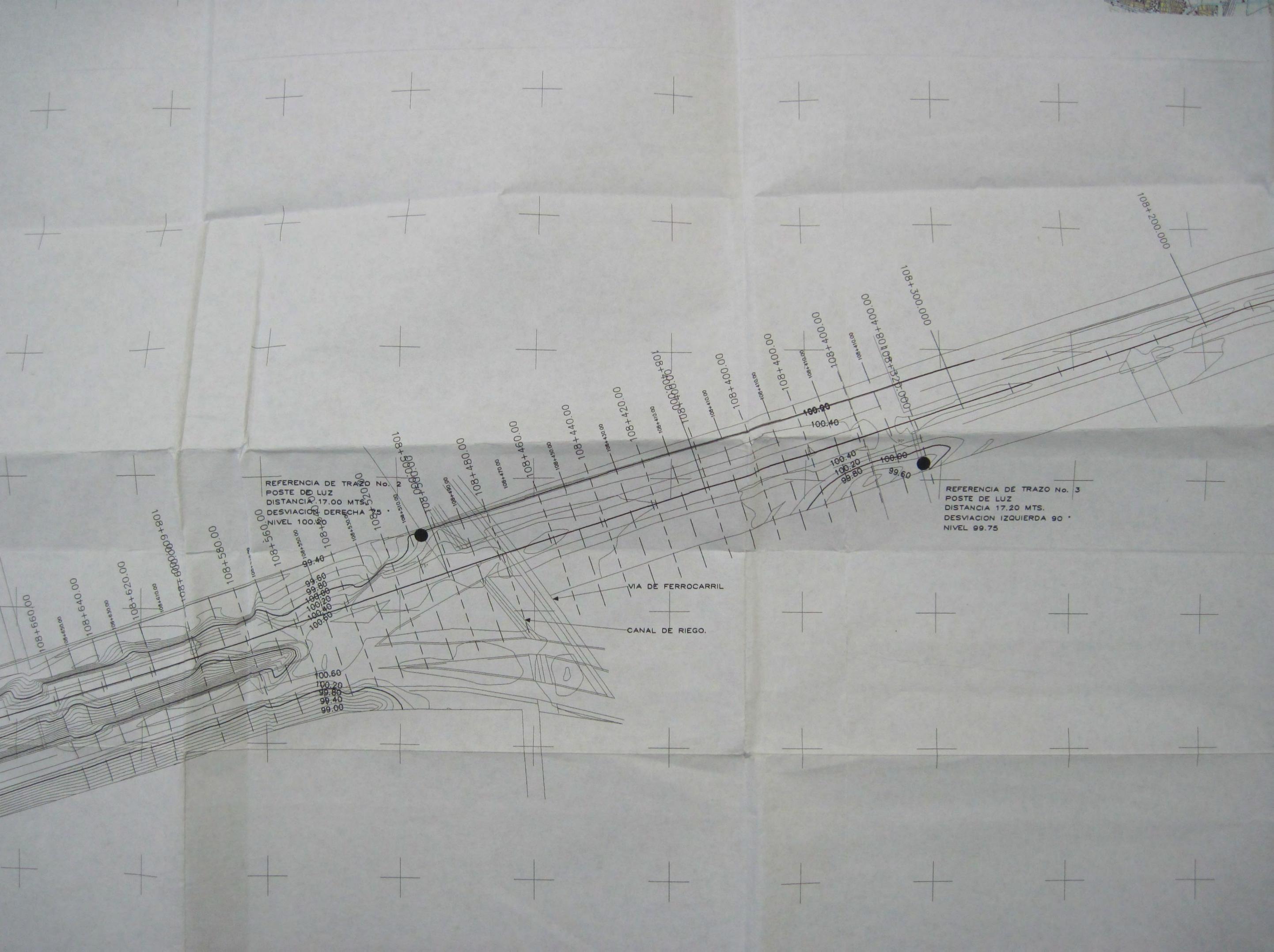
108+800.00  
108+700.00  
108+660.00  
108+640.00  
108+620.00  
108+600.00  
108+580.00  
108+560.00

108+560.00  
108+580.00  
108+600.00  
108+620.00  
108+640.00  
108+660.00  
108+680.00  
108+700.00  
108+720.00  
108+740.00  
108+760.00  
108+780.00  
108+800.00  
108+820.00  
108+840.00  
108+860.00  
108+880.00  
108+900.00  
108+920.00  
108+940.00  
108+960.00  
108+980.00  
109+000.00  
109+020.00  
109+040.00  
109+060.00  
109+080.00  
109+100.00  
109+120.00  
109+140.00  
109+160.00  
109+180.00  
109+200.00  
109+220.00  
109+240.00  
109+260.00  
109+280.00  
109+300.00

99.40  
100.00  
100.40  
100.80  
100.80  
100.40  
99.80  
99.20  
99.60  
100.40  
106.20  
99.40  
98.60

99.40  
99.80  
100.20  
100.60  
100.80  
100.80  
100.40  
100.00  
99.60  
99.20  
98.80  
98.40  
98.00

100.40  
100.80  
99.60  
100.40  
100.20  
98.80  
100.40  
100.80  
99.60



REFERENCIA DE TRAZO No. 1  
POSTE DE LUZ  
DISTANCIA 17.00 MTS.  
DESVIACION DERECHA  
NIVEL 100.20

REFERENCIA DE TRAZO No. 3  
POSTE DE LUZ  
DISTANCIA 17.20 MTS.  
DESVIACION IZQUIERDA 90°  
NIVEL 99.75

VIA DE FERROCARRIL

CANAL DE RIEGO.

108+550.00  
108+560.00  
108+570.00  
108+580.00  
108+590.00  
108+600.00

100.60  
100.20  
99.80  
99.40  
99.00

100.80  
100.40  
100.20  
99.80  
99.60

108+580.00  
108+590.00  
108+600.00

108+450.00  
108+460.00  
108+470.00  
108+480.00  
108+490.00  
108+500.00  
108+510.00  
108+520.00  
108+530.00  
108+540.00

108+440.00  
108+450.00  
108+460.00  
108+470.00  
108+480.00  
108+490.00  
108+500.00

108+420.00  
108+430.00  
108+440.00  
108+450.00  
108+460.00  
108+470.00  
108+480.00  
108+490.00  
108+500.00

108+400.00  
108+410.00  
108+420.00  
108+430.00  
108+440.00  
108+450.00  
108+460.00  
108+470.00  
108+480.00  
108+490.00  
108+500.00

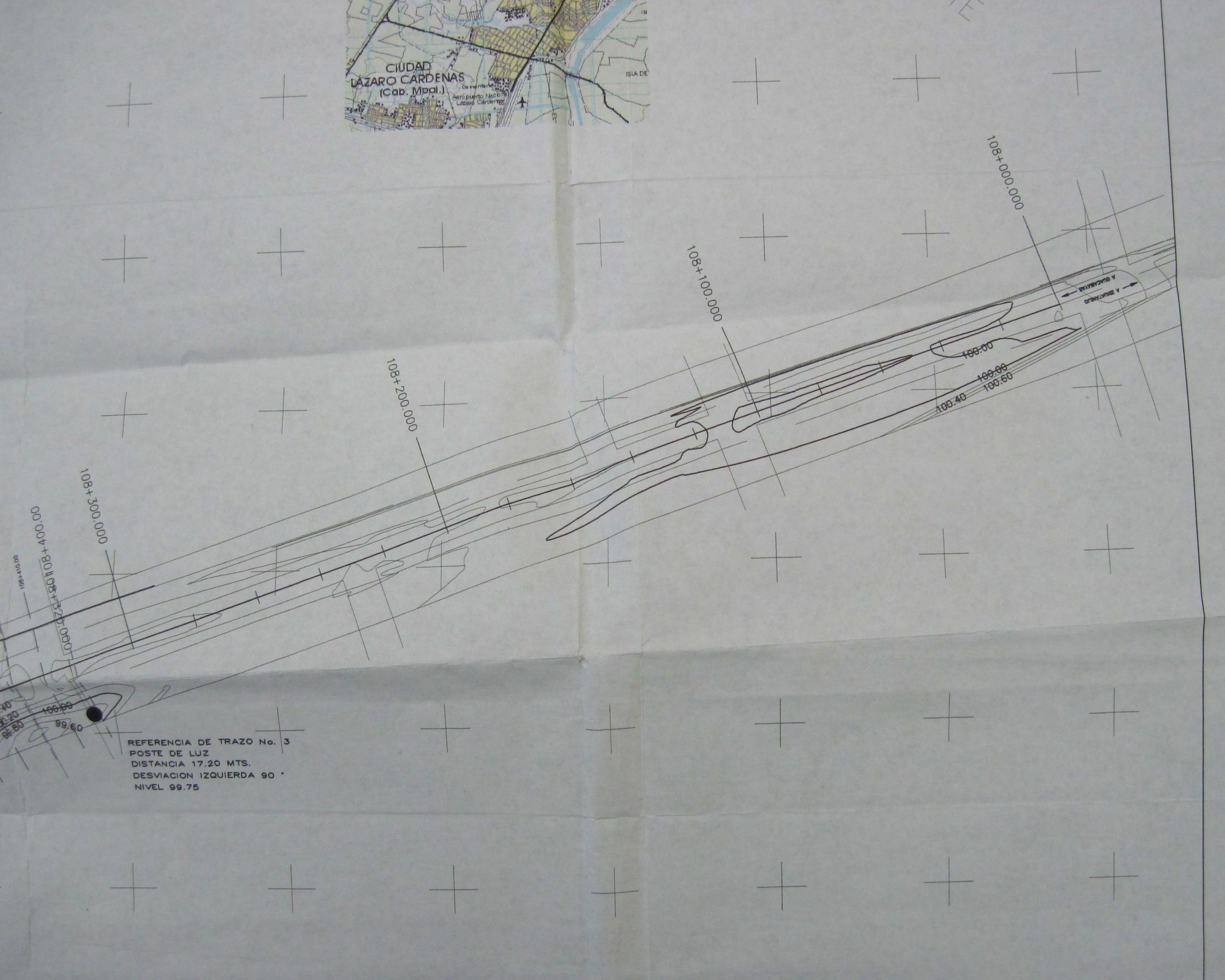
108+380.00  
108+390.00  
108+400.00  
108+410.00  
108+420.00  
108+430.00  
108+440.00  
108+450.00  
108+460.00  
108+470.00  
108+480.00  
108+490.00  
108+500.00

108+360.00  
108+370.00  
108+380.00  
108+390.00  
108+400.00  
108+410.00  
108+420.00  
108+430.00  
108+440.00  
108+450.00  
108+460.00  
108+470.00  
108+480.00  
108+490.00  
108+500.00

108+340.00  
108+350.00  
108+360.00  
108+370.00  
108+380.00  
108+390.00  
108+400.00  
108+410.00  
108+420.00  
108+430.00  
108+440.00  
108+450.00  
108+460.00  
108+470.00  
108+480.00  
108+490.00  
108+500.00

108+200.00

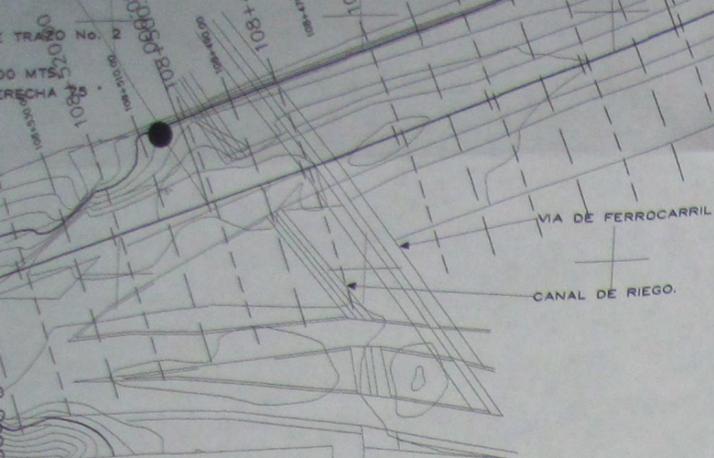




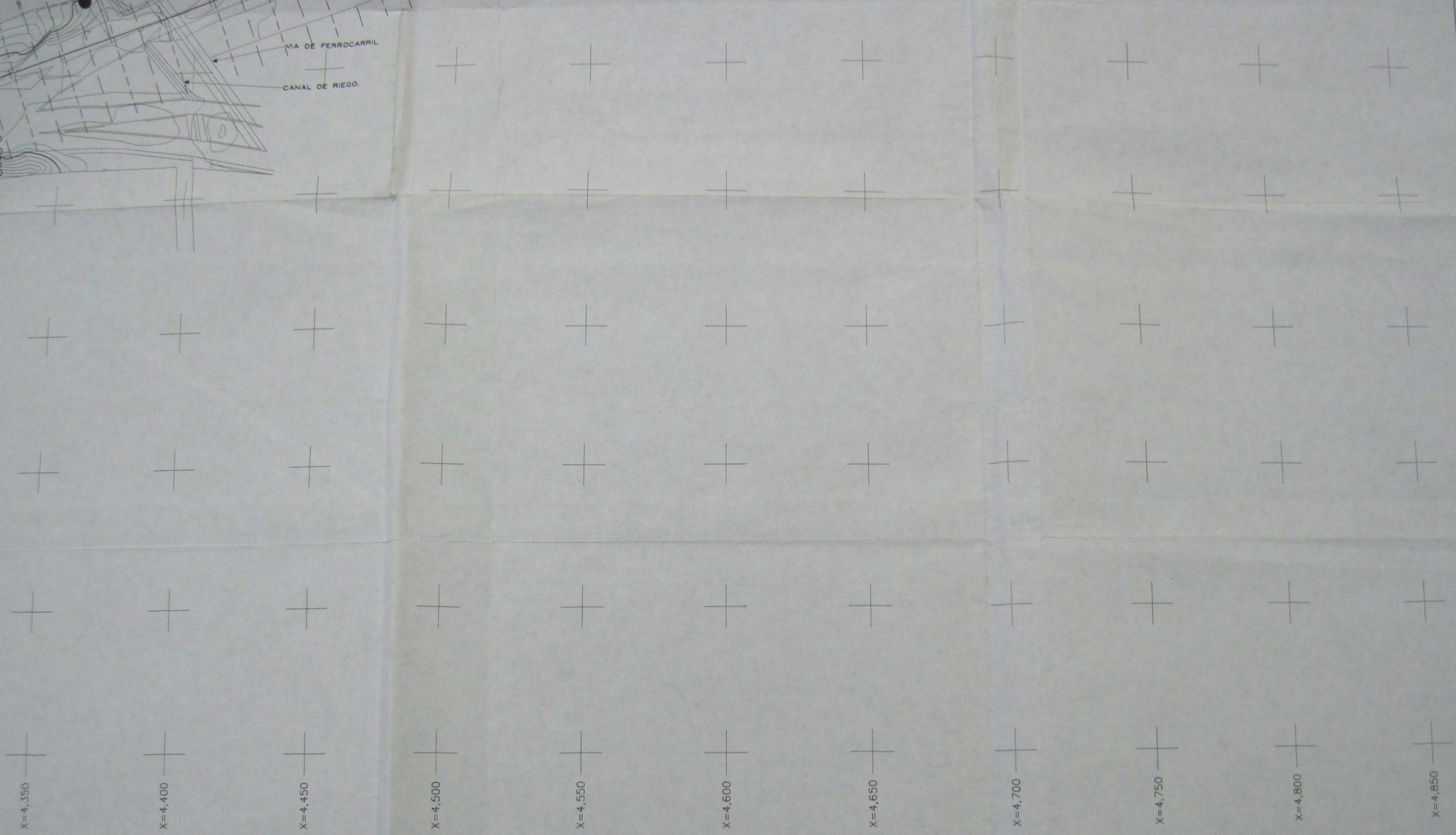
REFERENCIA DE TRAZO No. 3  
POSTE DE LUZ  
DISTANCIA 17.20 MTS.  
DESVIACION IZQUIERDA 90 °  
NIVEL 99.75

108+410.00  
108+320.000  
108+400.00  
108+300.000  
108+200.000  
108+100.000  
108+00.000

100.40  
100.60  
100.80  
99.60



REFERENCIA DE TRAZO No. 3  
 POSTE DE LUZ  
 DISTANCIA 17.20 MTS.  
 DESVIACION IZQUIERDA 90 °  
 NIVEL 99.75

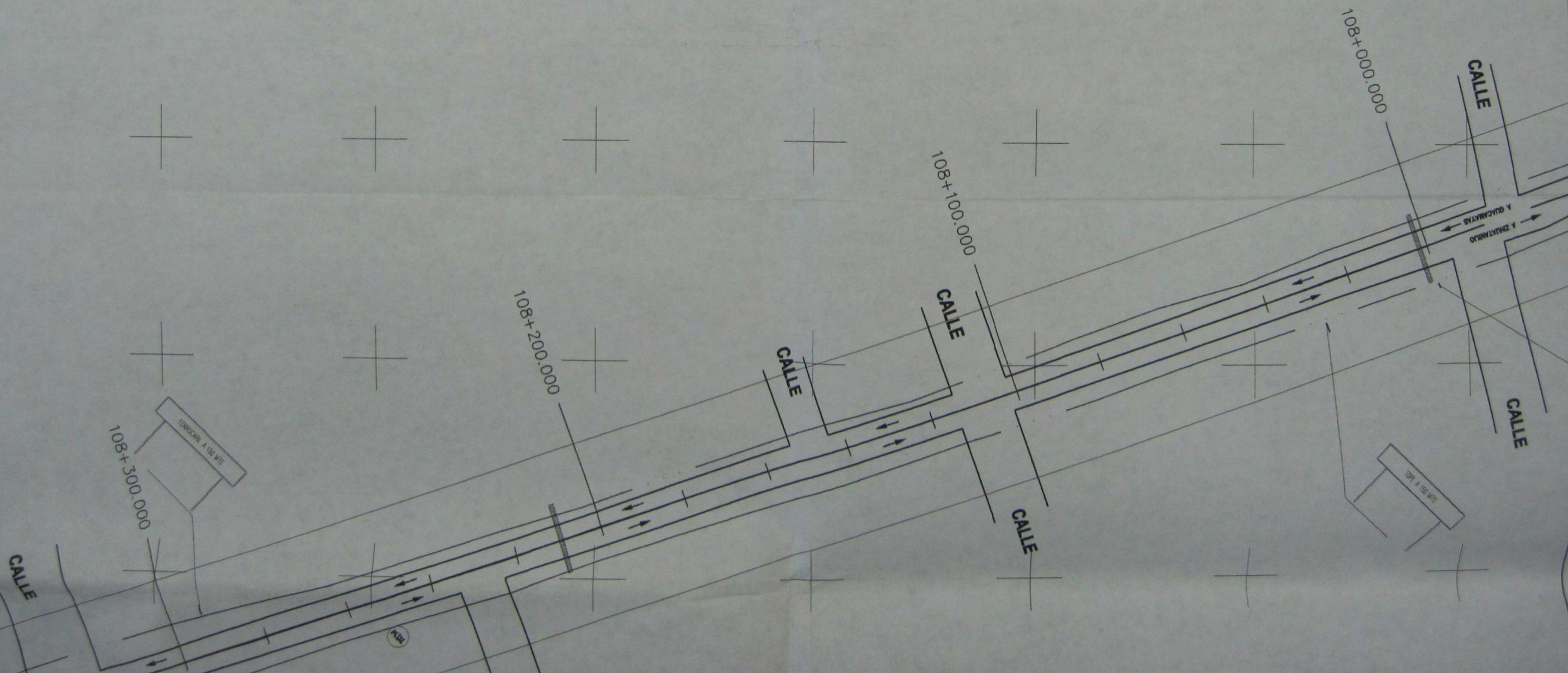


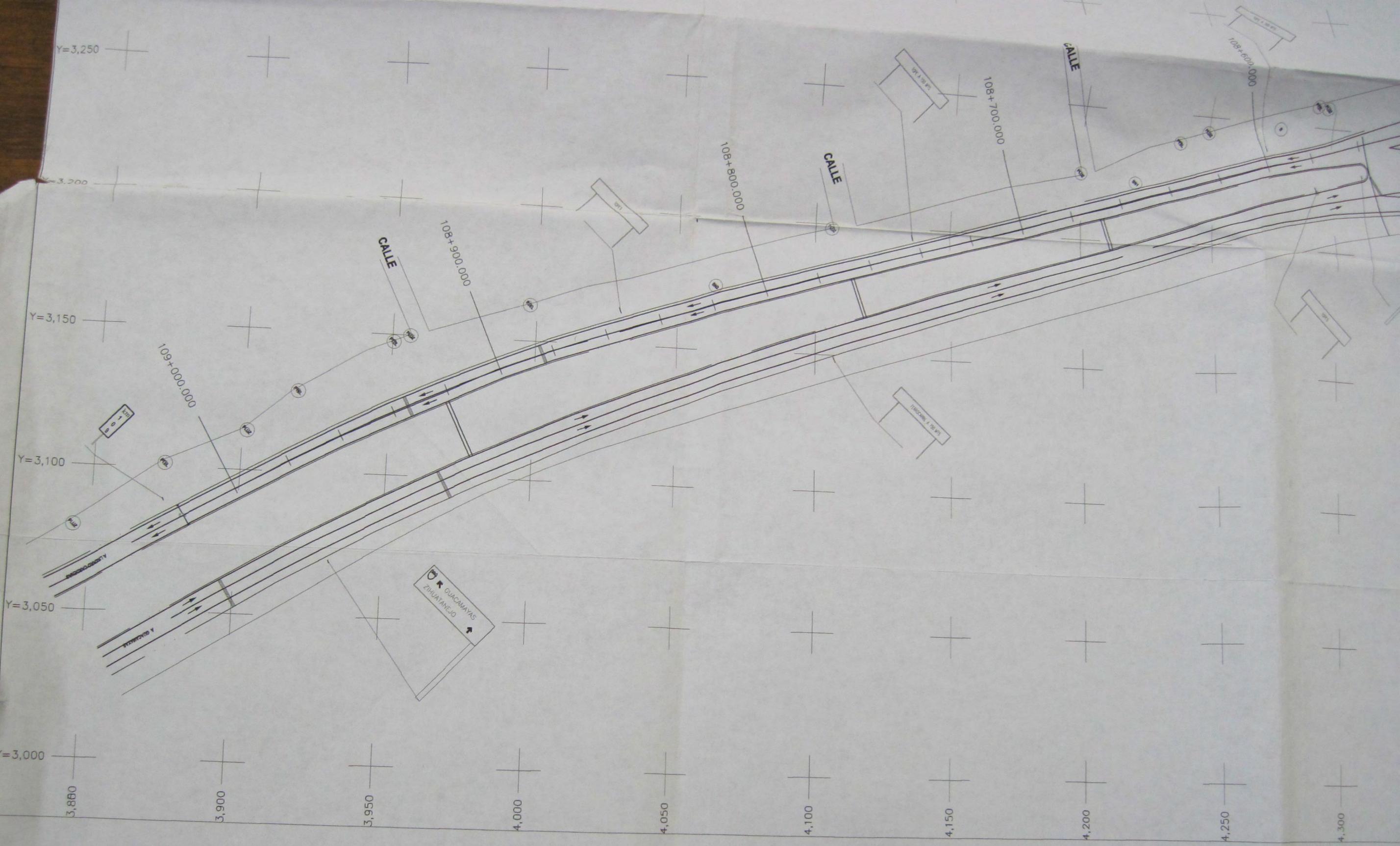
Revizó:  
 \_\_\_\_\_  
 Ing. sandra Natalia Parra Macías



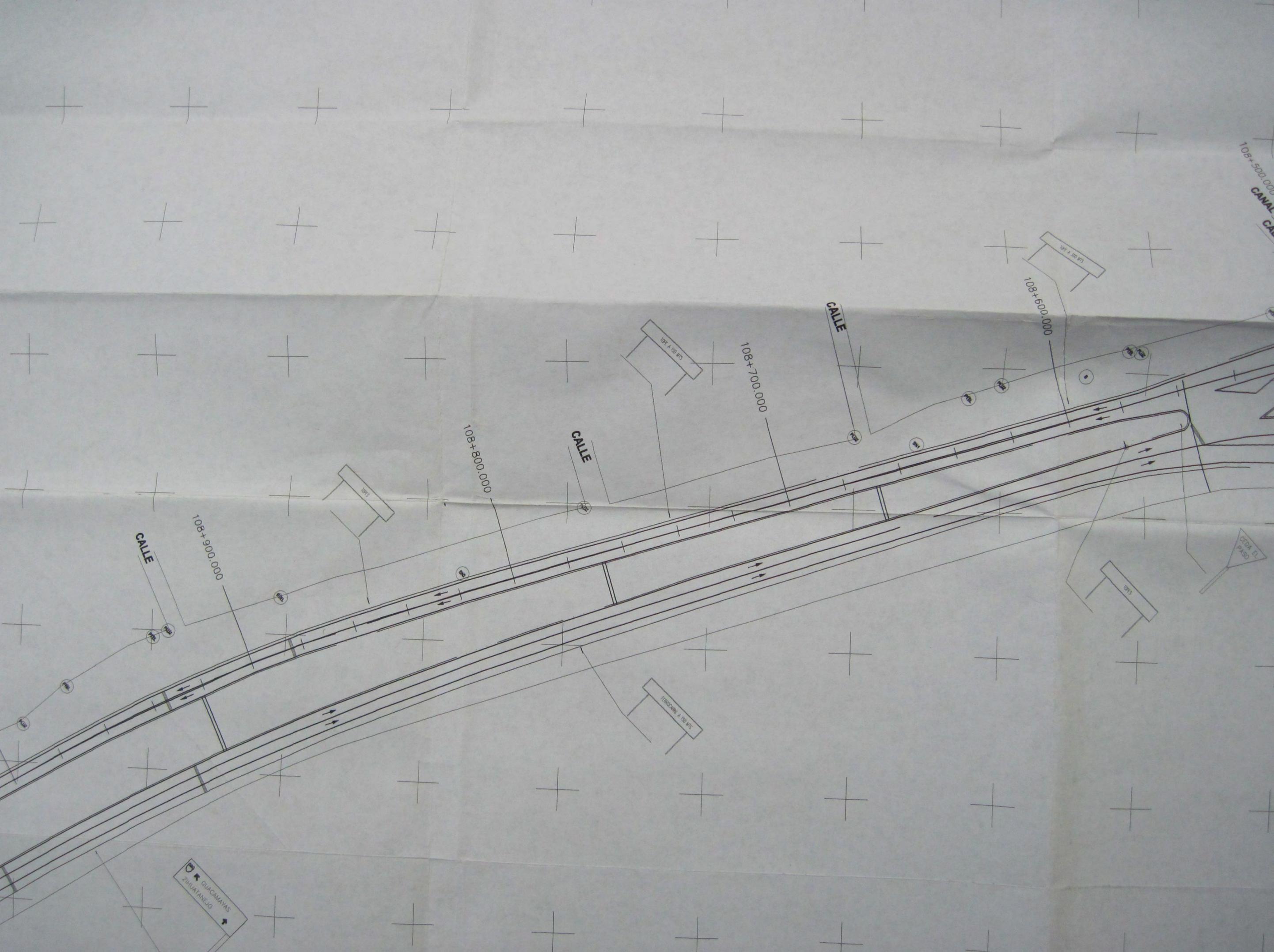
Christian Cesar Gonzalez Mejia	Acot. m
Contenido: Curvas de nivel del tramo de la intersección de Guacamayas.	Escala 1:1200
	Anexo 1

# CROQUIS DE LOCALIZACION





Observaciones:  
 El presente plano muestra



CALLE

108+900.000

108+800.000

CALLE

108+700.000

CALLE

108+600.000

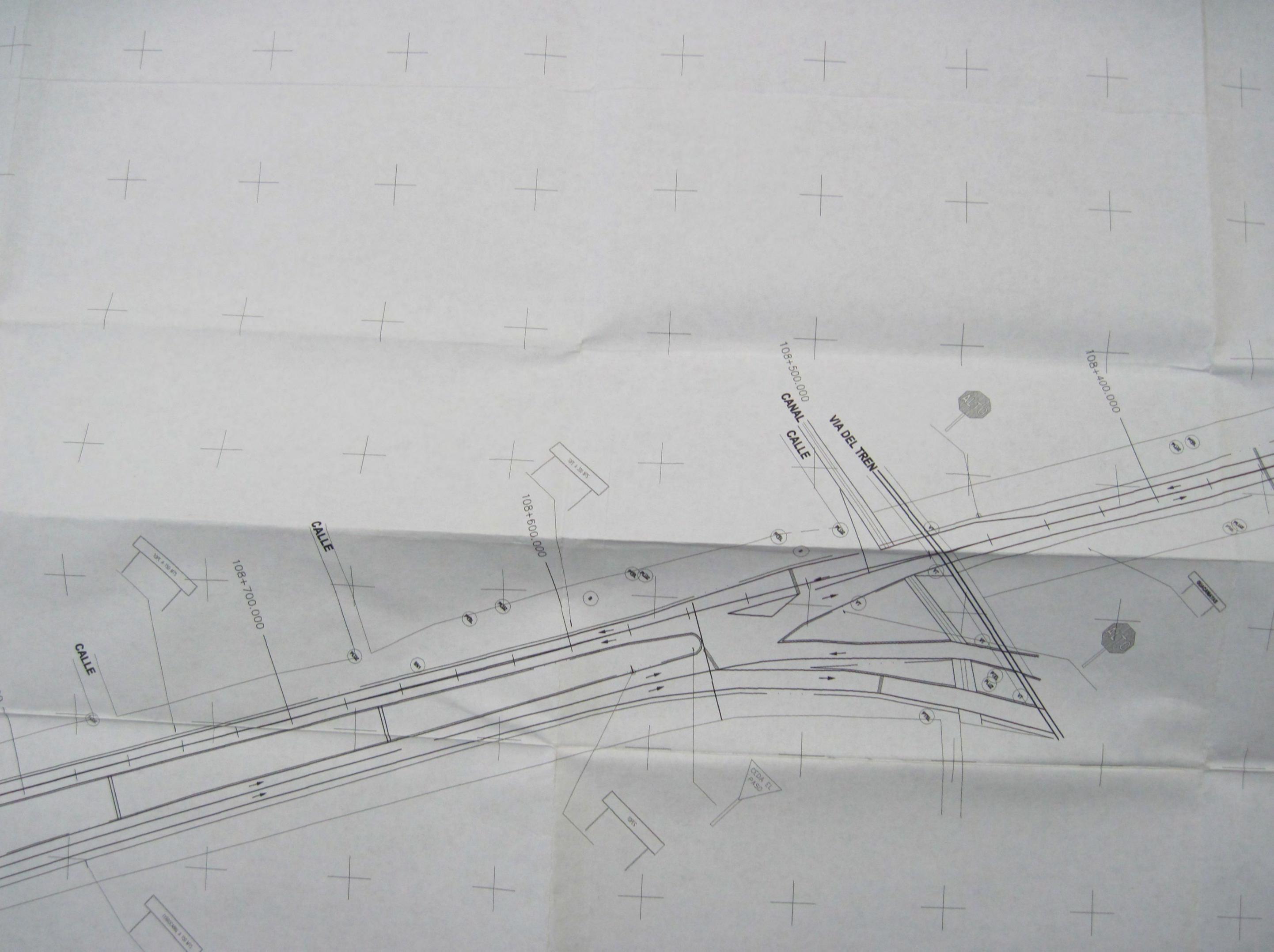
QUACAMAYAS  
ZHUATANEJO

OPERACION A 120 MTS

OPS

CASA EL PASO

108+500.000  
CANAL





Universidad Nacional  
Autónoma de México

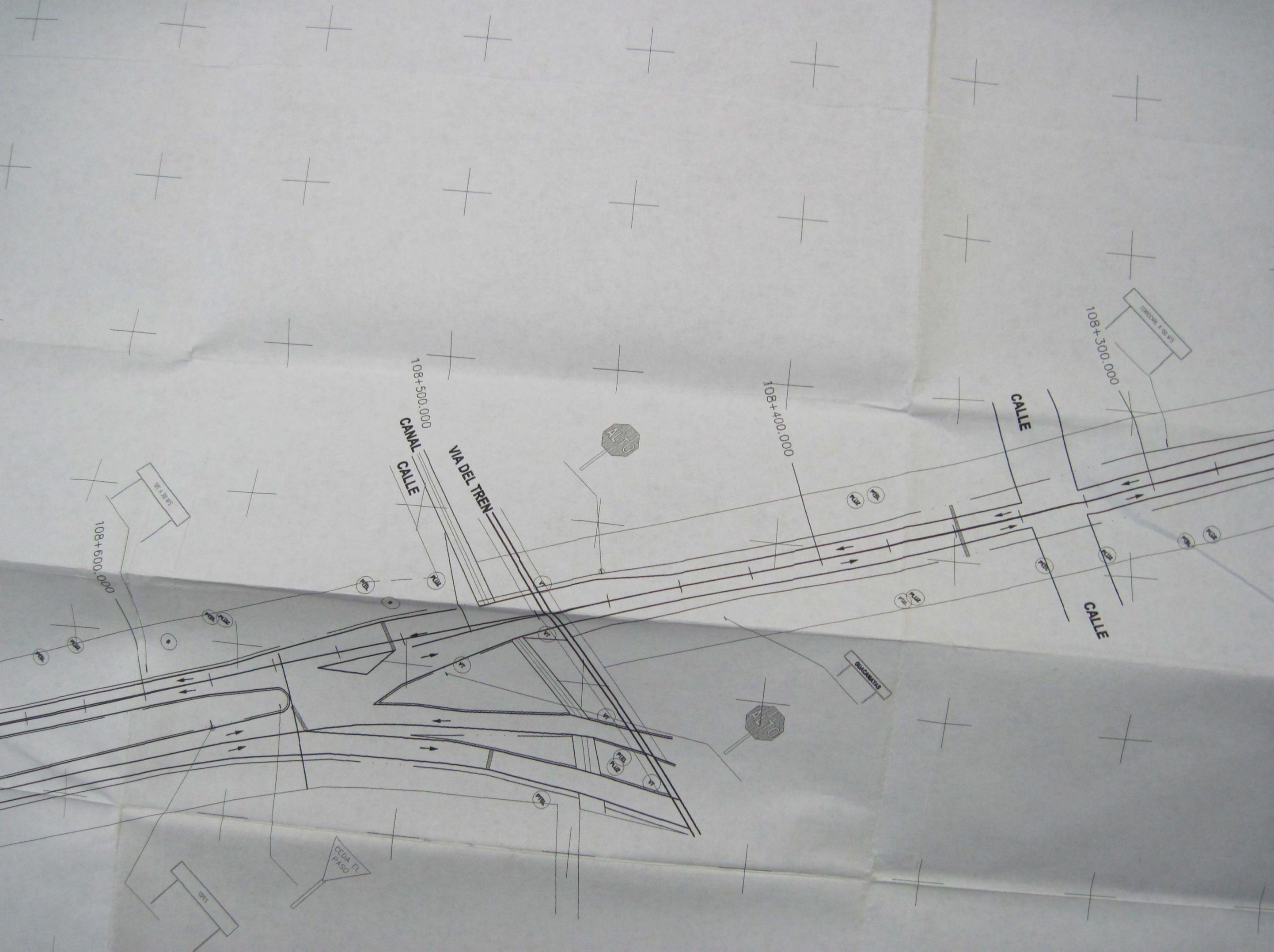


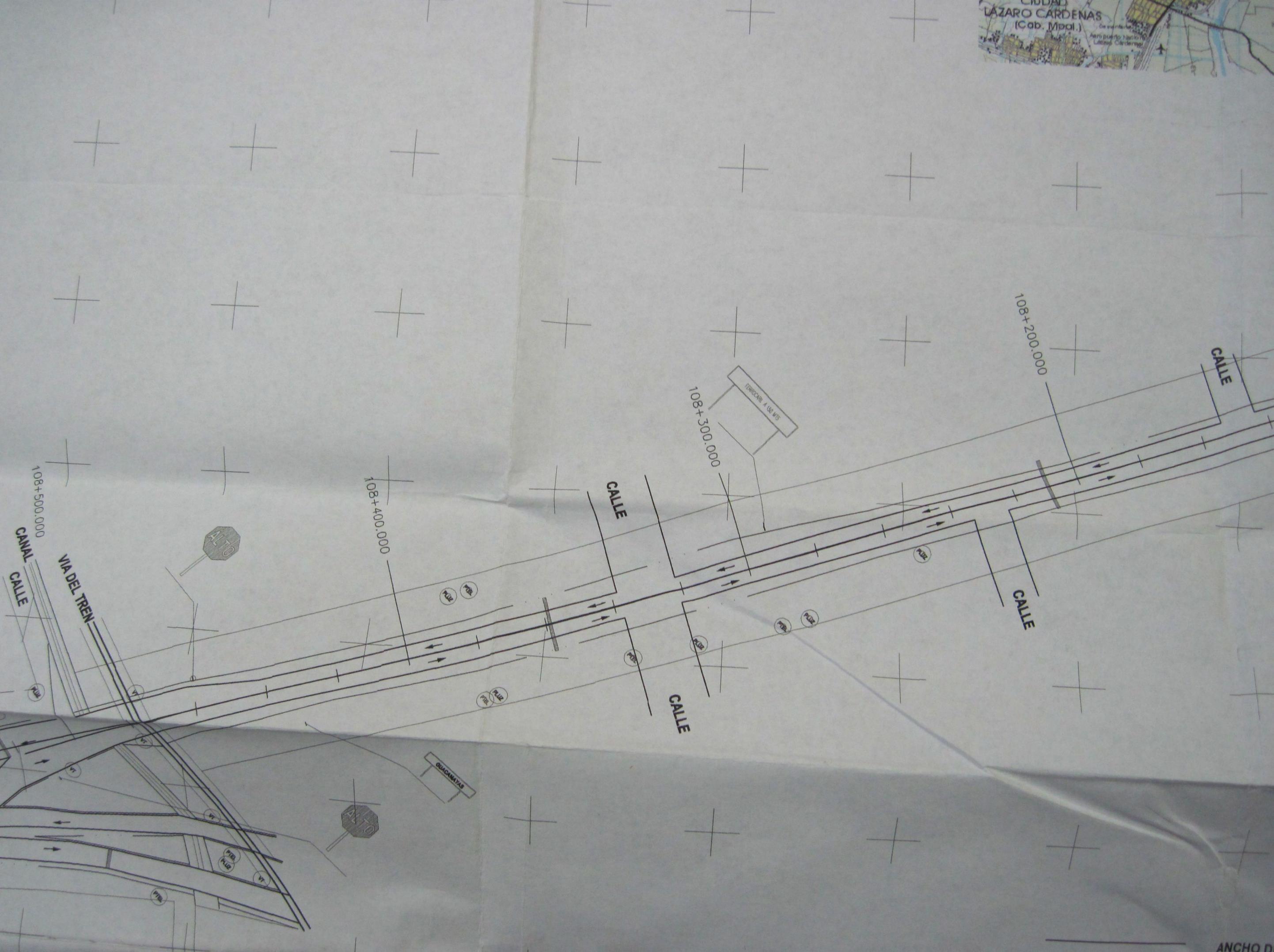
**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

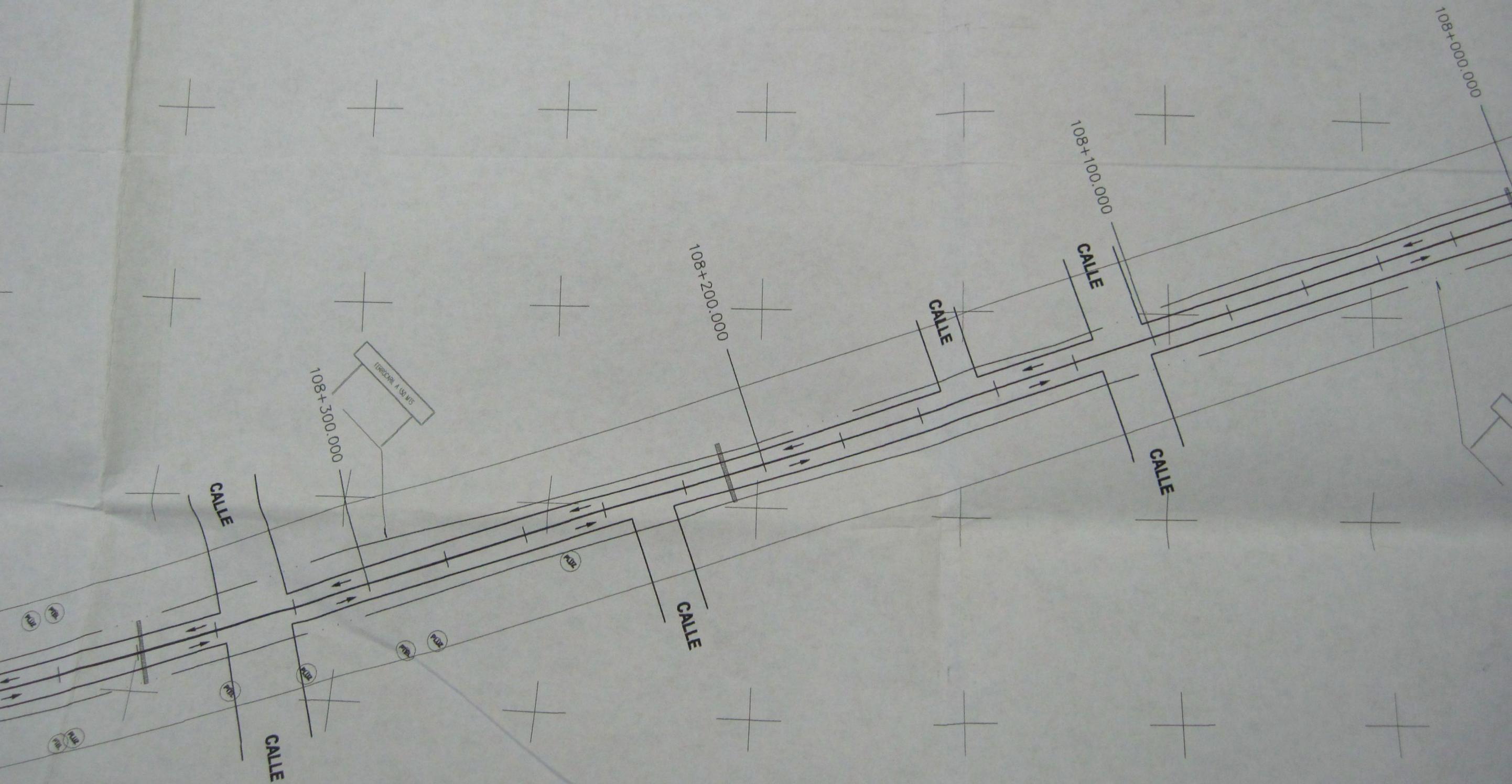
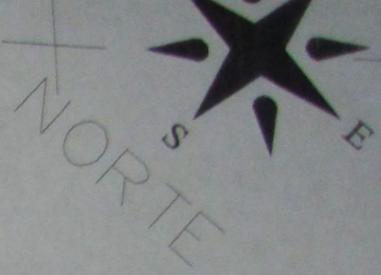
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

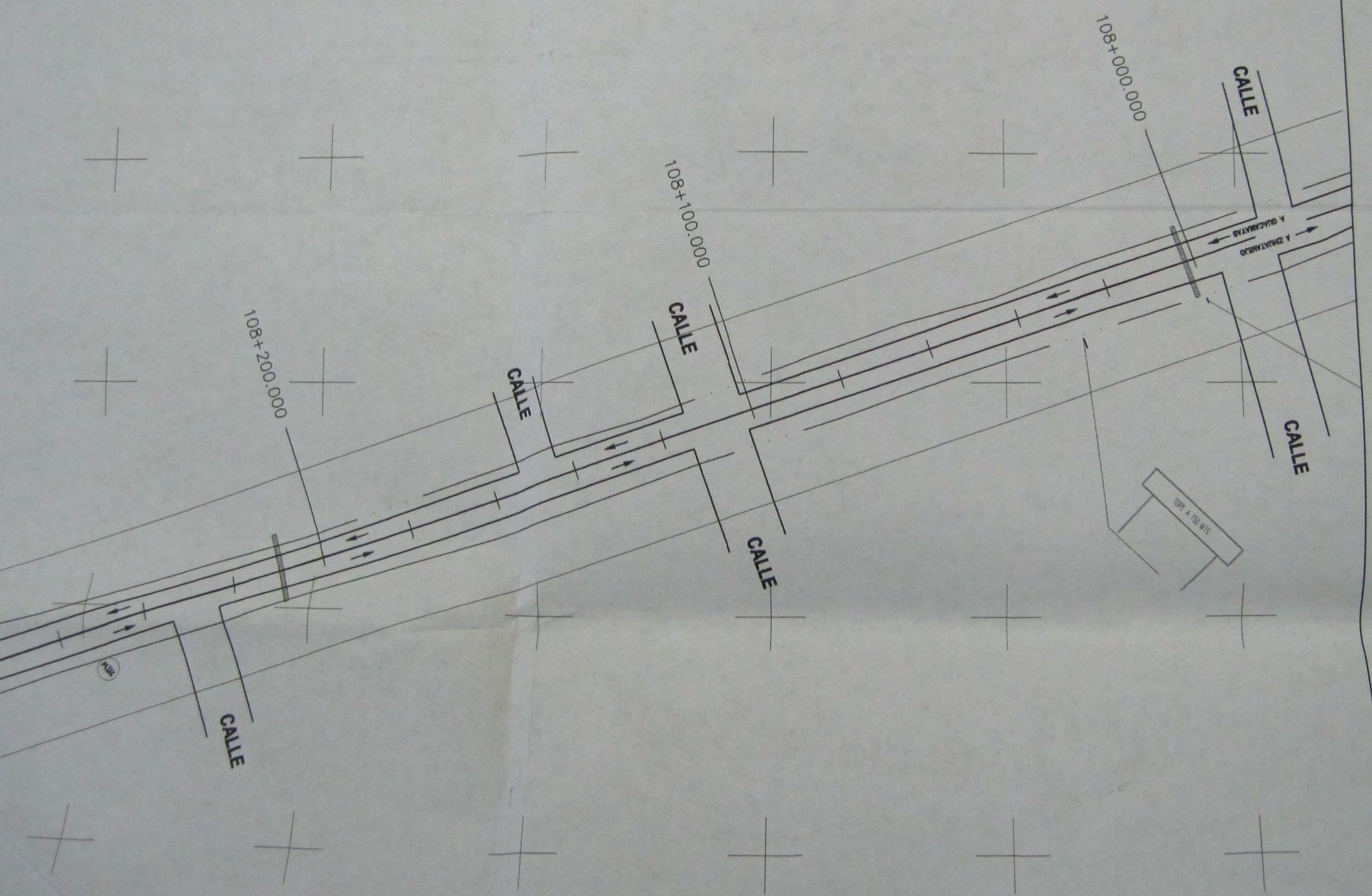
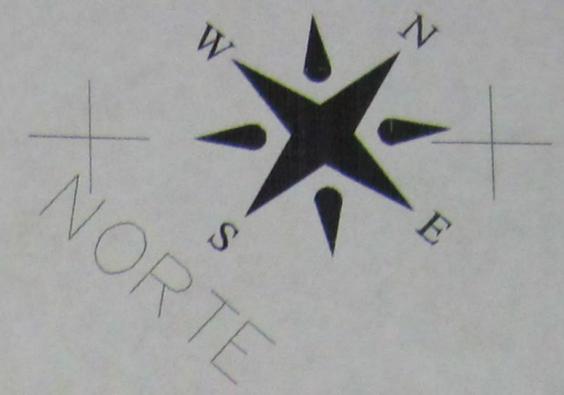


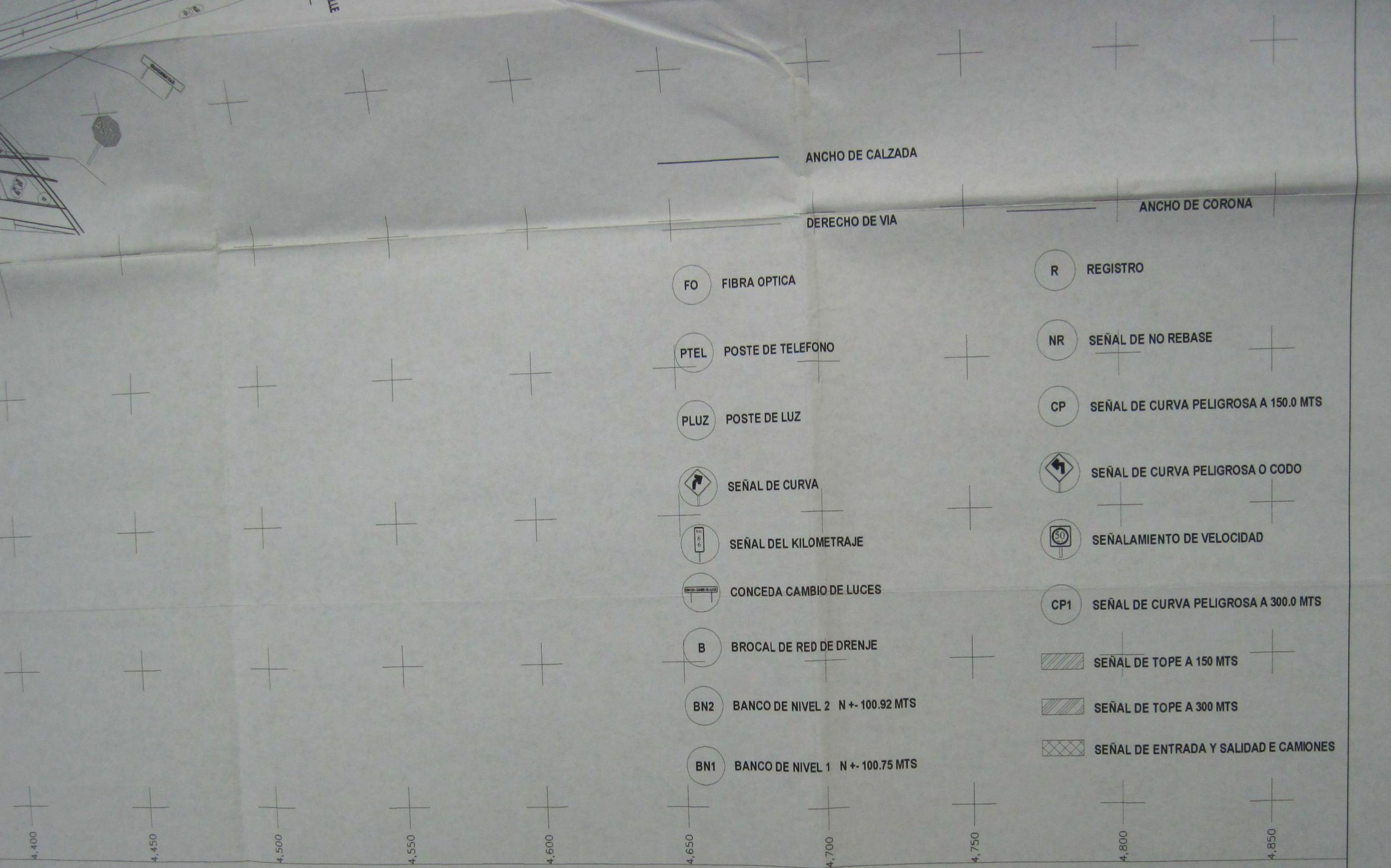


ANCHO



# CROQUIS DE LOCALIZACION

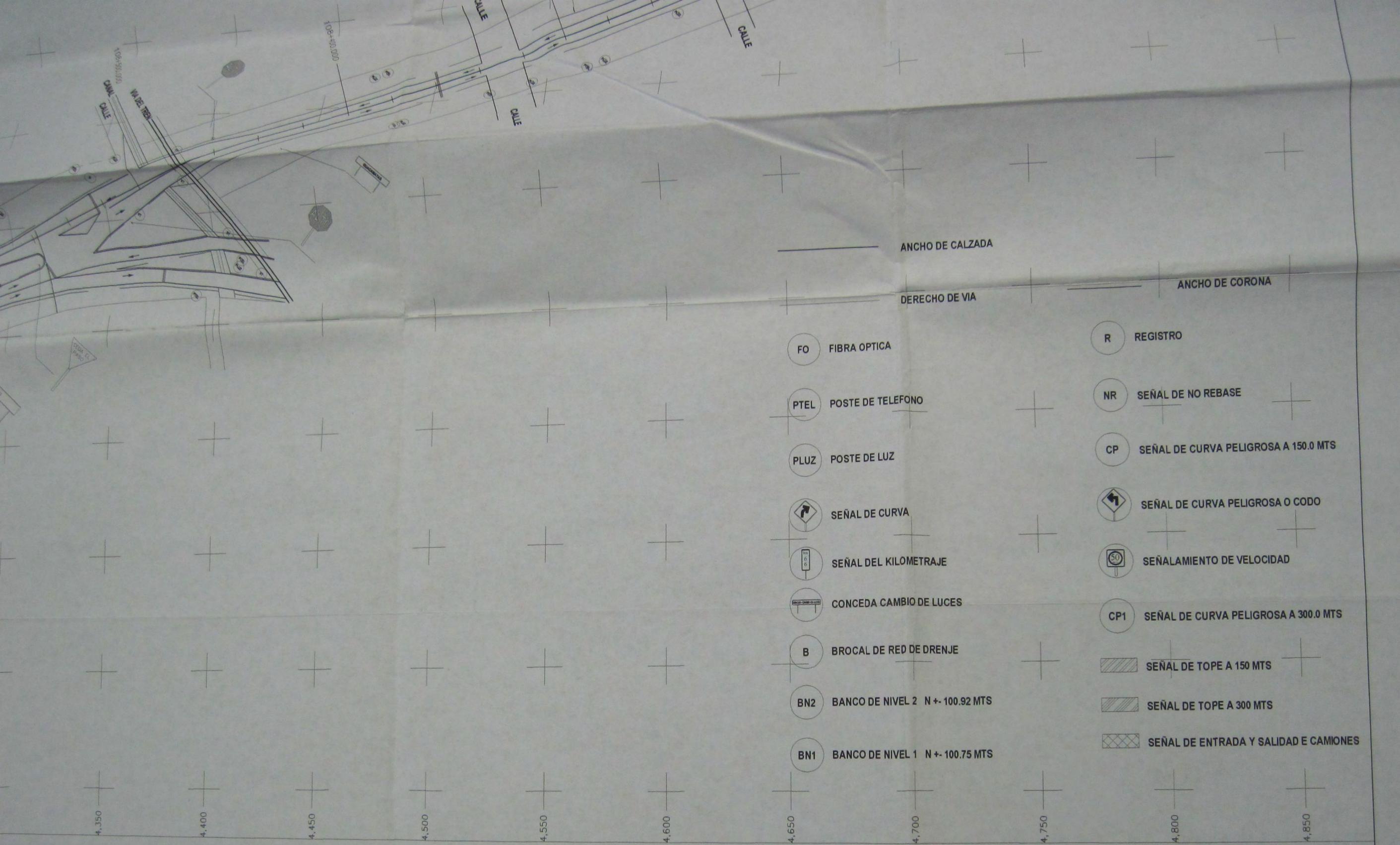




Revizó:  
 Ing. Sandra Natalia Parra Macías



Christian Cesar Gonzalez Mejia	Acot. m
Contenido: Proyecto Geometrico de la intersección	Escala 1:1200
	Anexo 2



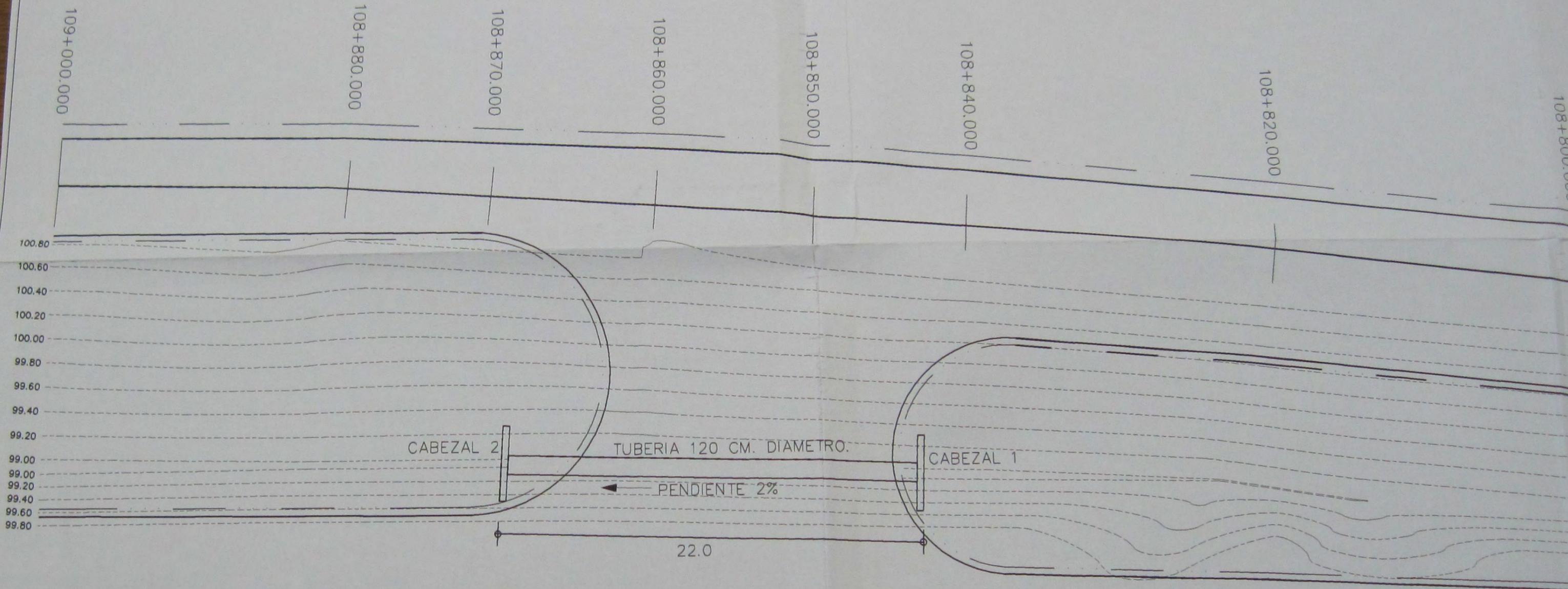
- FO FIBRA OPTICA
- R REGISTRO
- PTEL POSTE DE TELEFONO
- NR SEÑAL DE NO REBASE
- PLUZ POSTE DE LUZ
- CP SEÑAL DE CURVA PELIGROSA A 150.0 MTS
-  SEÑAL DE CURVA
-  SEÑAL DE CURVA PELIGROSA O CODO
-  SEÑAL DEL KILOMETRAJE
-  SEÑALAMIENTO DE VELOCIDAD
-  CONCEDA CAMBIO DE LUCES
- CP1 SEÑAL DE CURVA PELIGROSA A 300.0 MTS
- B BROCAL DE RED DE DRENJE
-  SEÑAL DE TOPE A 150 MTS
- BN2 BANCO DE NIVEL 2 N +- 100.92 MTS
-  SEÑAL DE TOPE A 300 MTS
- BN1 BANCO DE NIVEL 1 N +- 100.75 MTS
-  SEÑAL DE ENTRADA Y SALIDA DE CAMIONES

Revizó:  
 Ing. Sandra Natalia Parra Macías

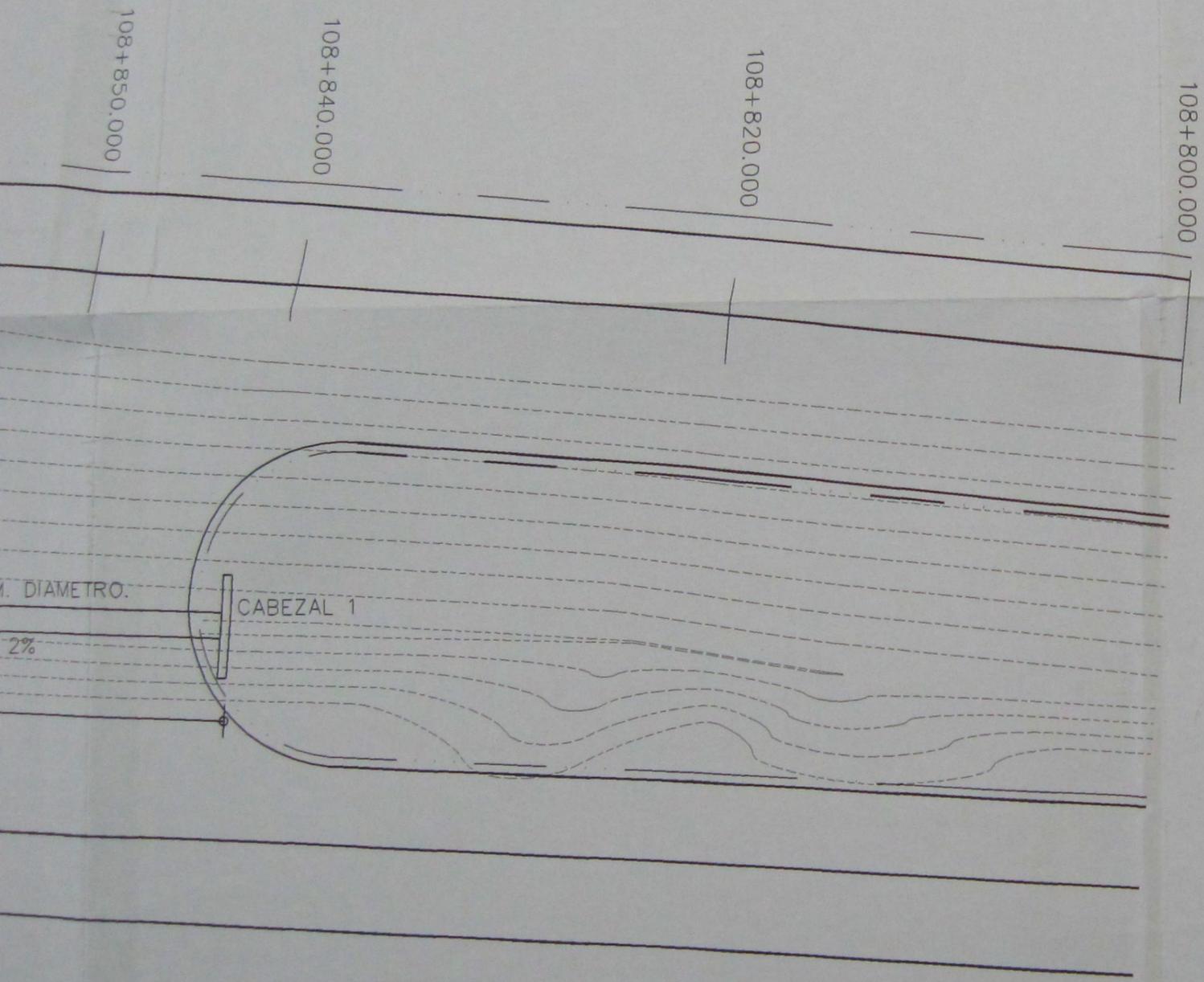


Christian Cesar Gonzalez Mejia	Acot. m
Contenido: Proyecto Geometrico de la intersección	Escala 1:1200
	Anexo 2

# UNION DE TERRAPLENES

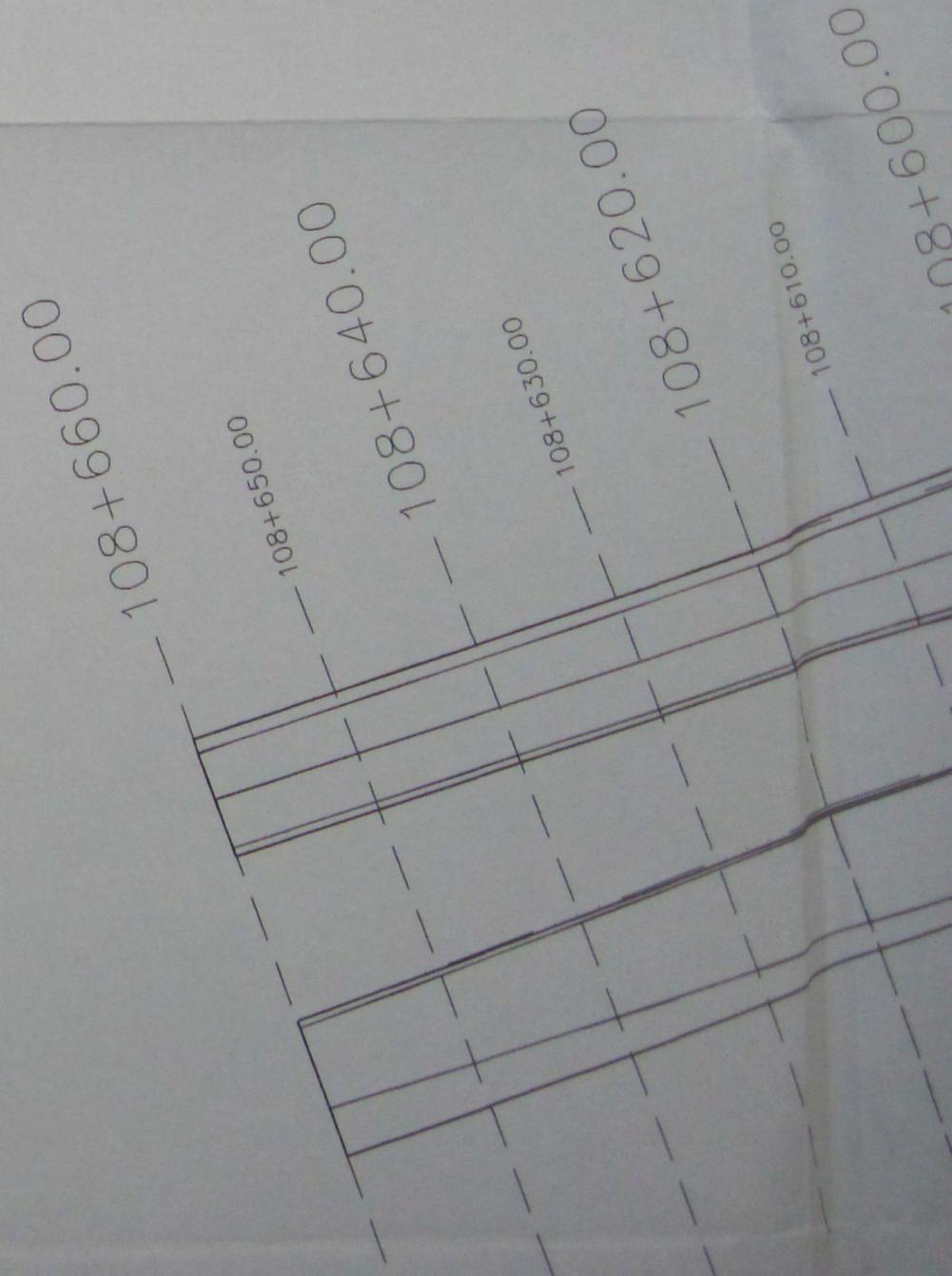


IES



# PLANTA

ESC 1:100  
ACOTACION EN METROS.



108+800.000

# PLANTA

ESC 1:100  
ACOTACION EN METROS.

108+660.00

108+650.00

108+640.00

108+630.00

108+620.00

108+610.00

108+600.00

108+590.00

108+580.00

108+570.00

108+560.00

108+550.00

108+540.00

108+530.00

POZO DE

ALCANF

AEROPUERTO

CANTABILLA

A  
METROS.

108+660.00

108+650.00

108+640.00

108+630.00

108+620.00

108+610.00

108+600.00

108+590.00

108+580.00

108+570.00

108+560.00

108+550.00

108+540.00

108+530.00

108+520.00

108+510.00

108+500.00

108+490.00

108+480.00

108+470.00

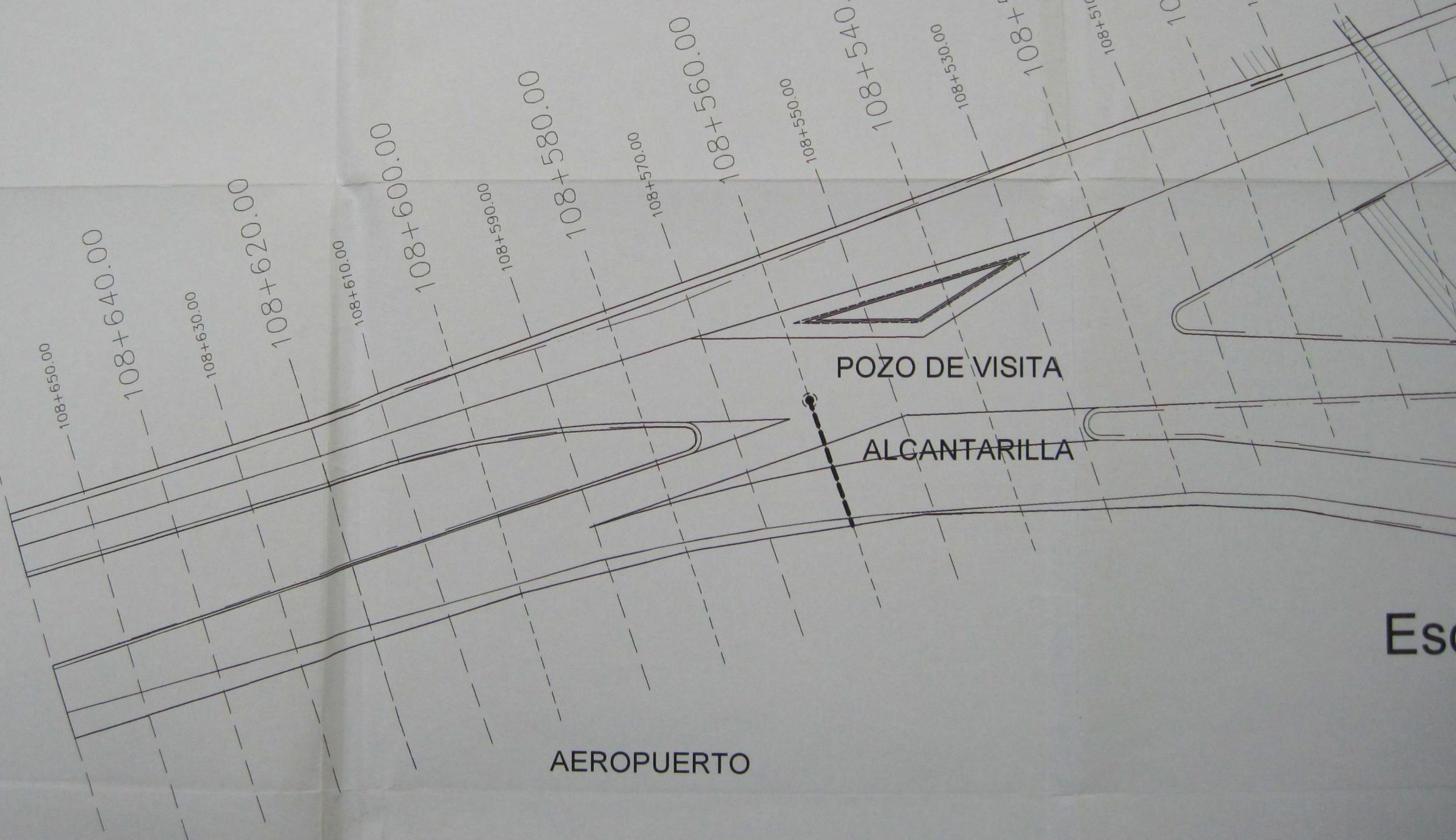
108+460.00

POZO DE VISITA

ALCANTARILLA

AEROPUERTO

Esc





108+630.00

108+620.00

108+610.00

108+600.00

108+590.00

108+580.00

108+570.00

108+560.00

108+550.00

108+540.00

108+530.00

108+520.00

108+510.00

108+500.00

108+490.00

108+480.00

108+470.00

108+460.00

POZO DE VISITA

ALCANTARILLA

AEROPUERTO

Esc. 1:500

99.40  
99.60  
99.80

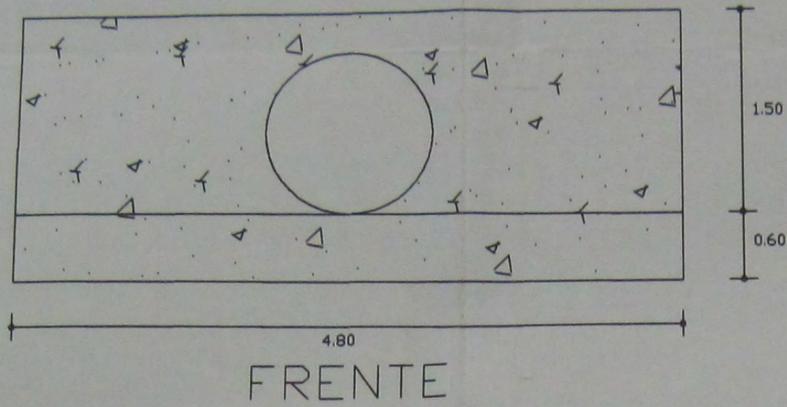
22.0

PLANTA

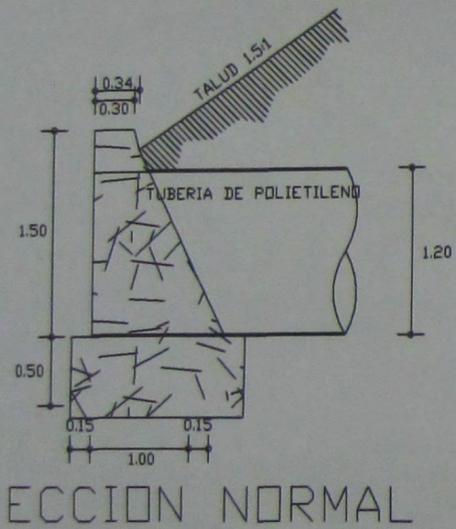
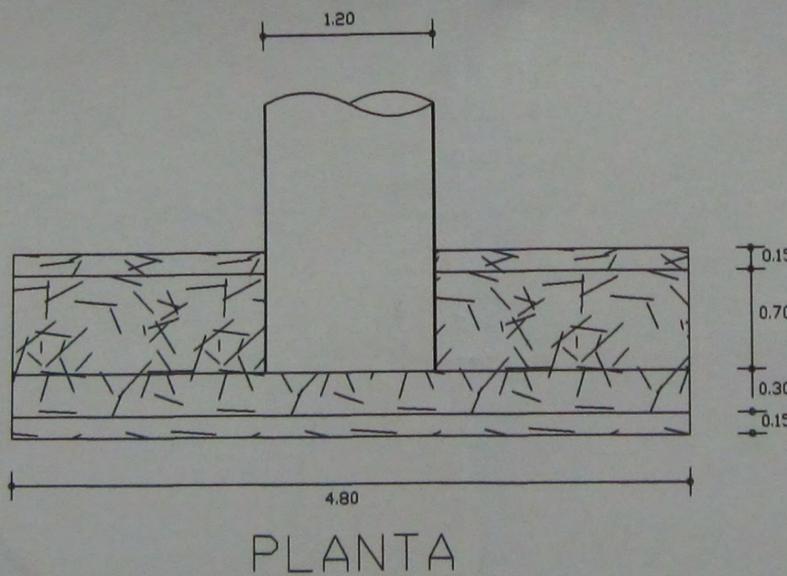
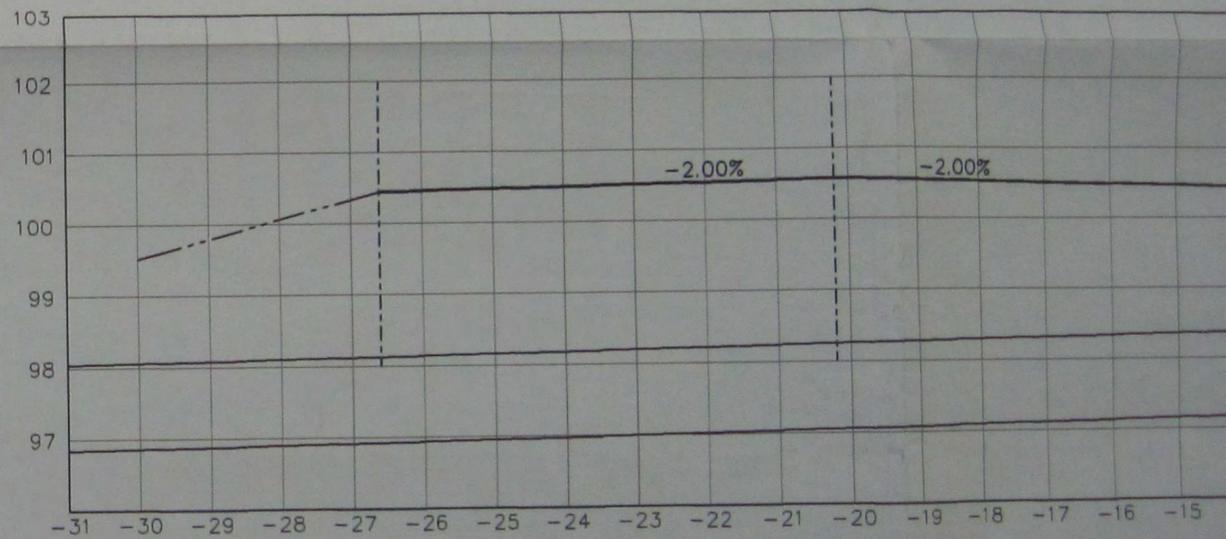
ESC 1:100  
ACOTACION EN METROS.

# DETALLE DE MUROS DE CABEZA

Esc. 1:50



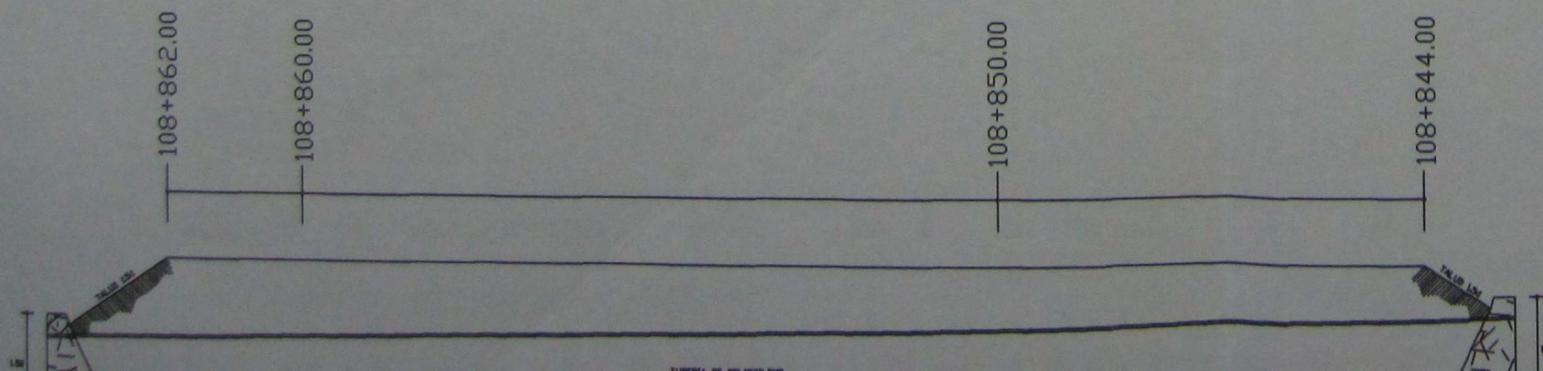
# PERFIL DE ALCANTARILLA



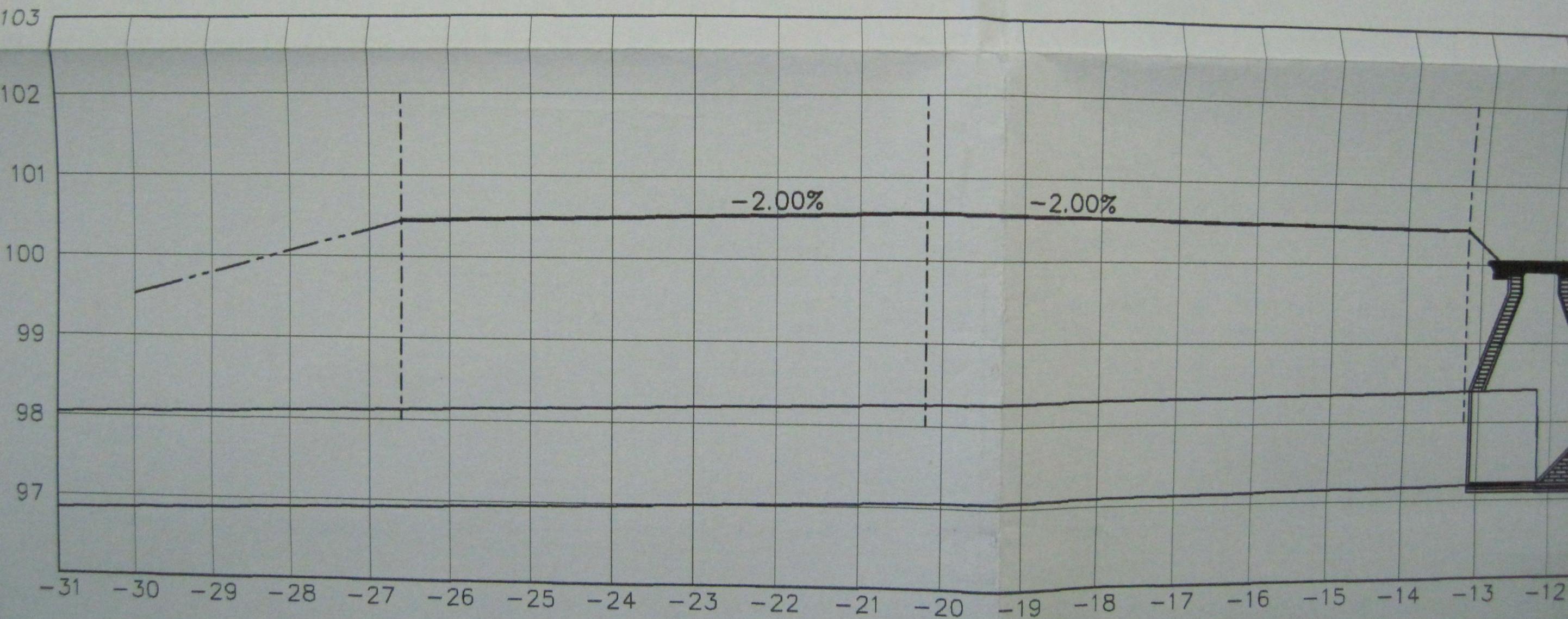
SECCION NORMAL

PLANTA

# PERFIL DE ALCANTARILLA



# PERFIL DE ALCANTARILLA





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

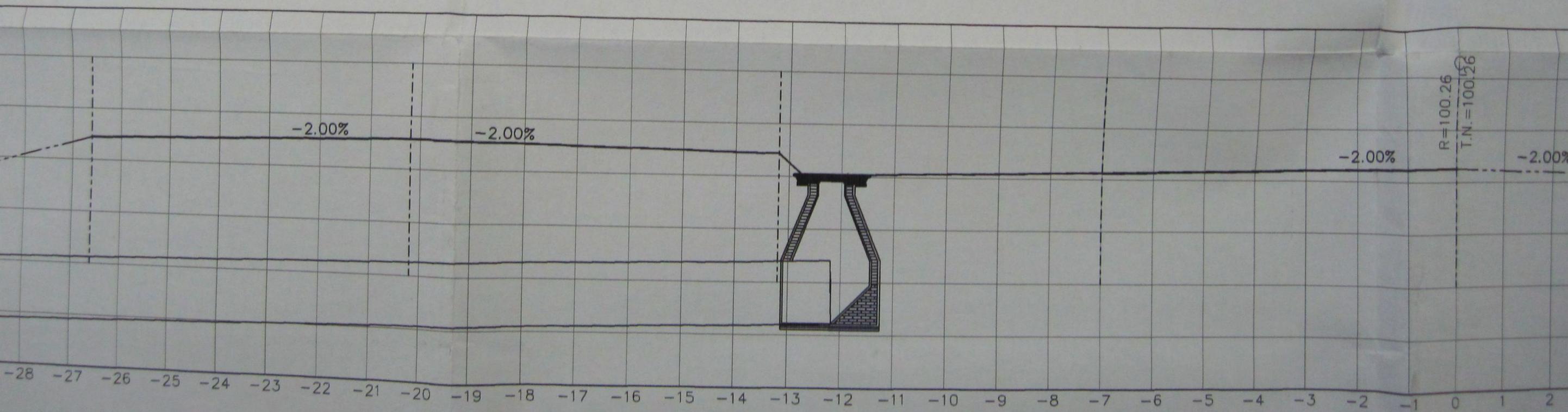
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# PLANTA

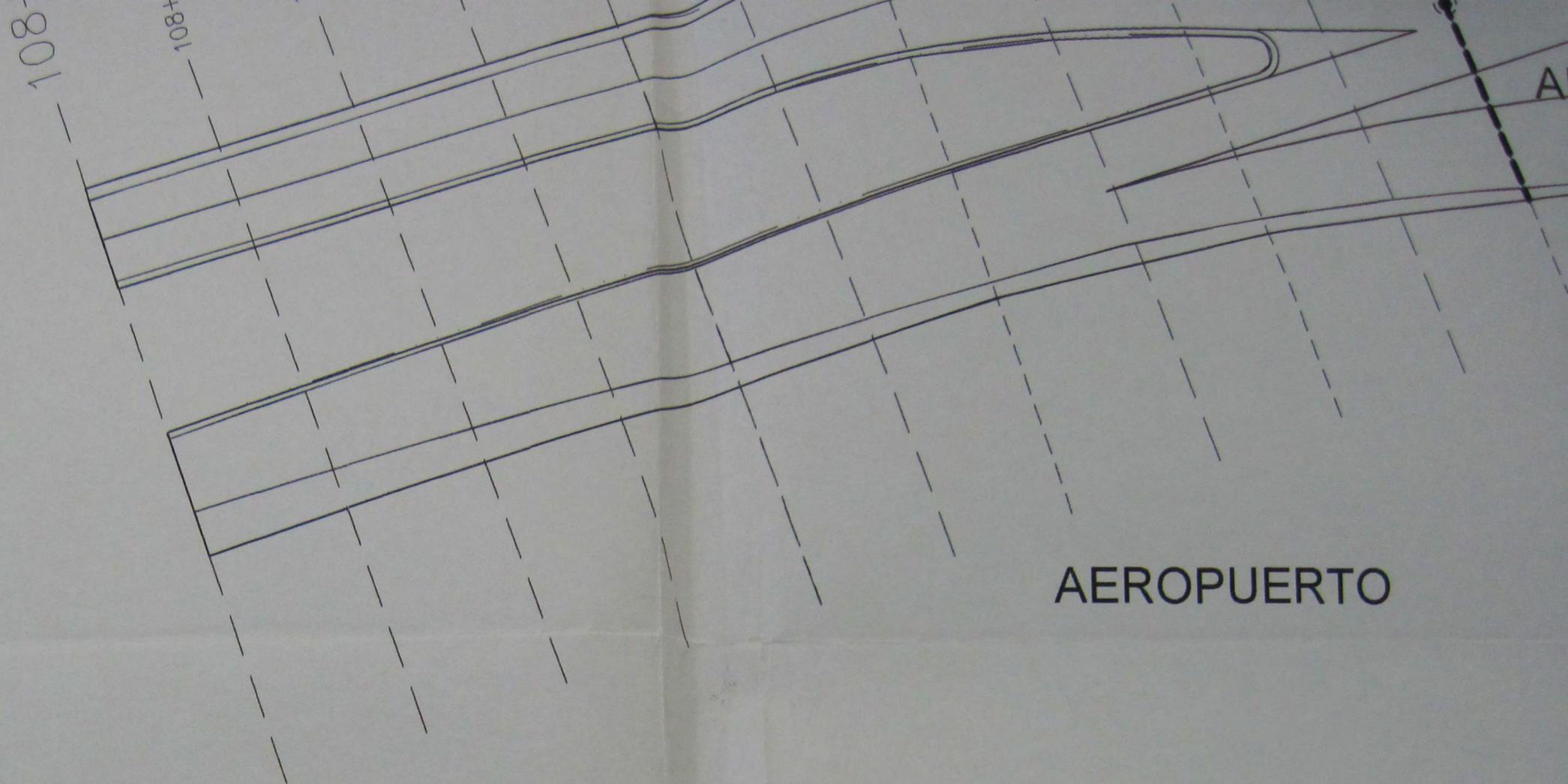
ESC 1:100  
ACOTACION EN METROS.

## FIL DE ALCANTARILLA

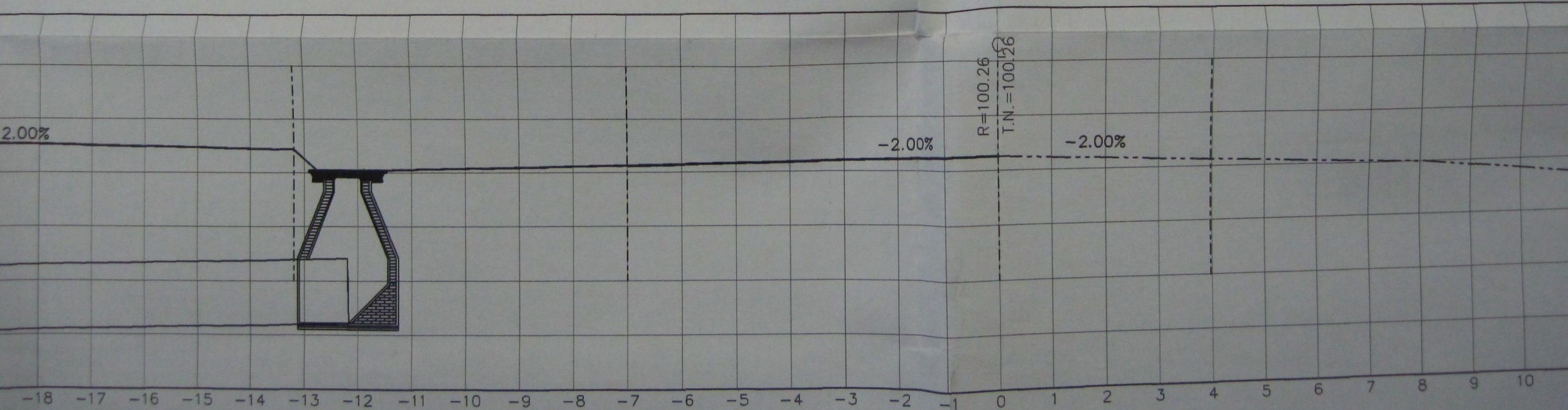


# PLANTA

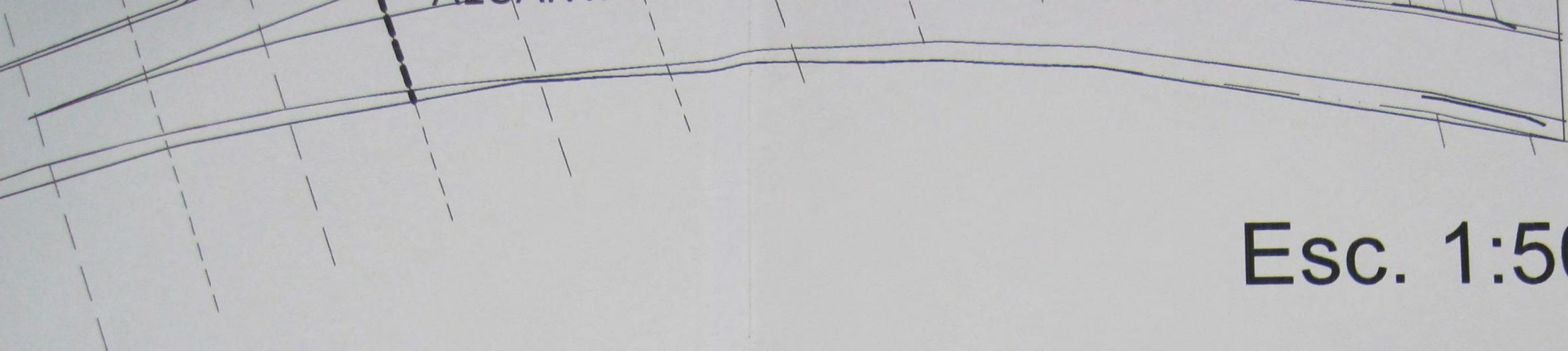
ESC 1:100  
ACOTACION EN METROS.



# TARILLA

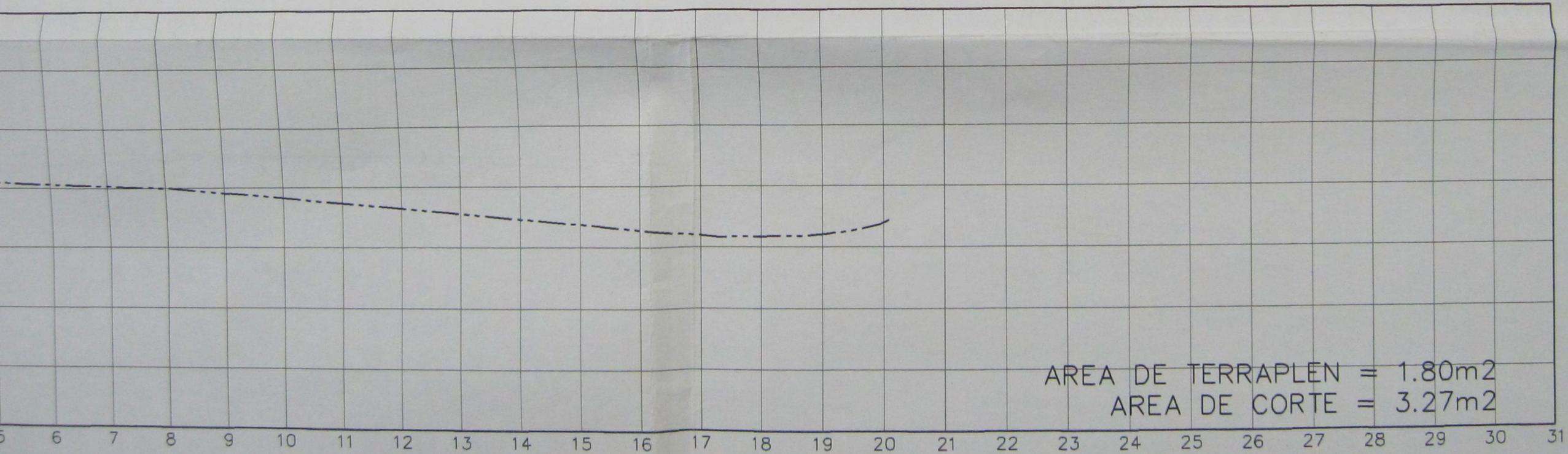






Esc. 1:500

EROPUERTO

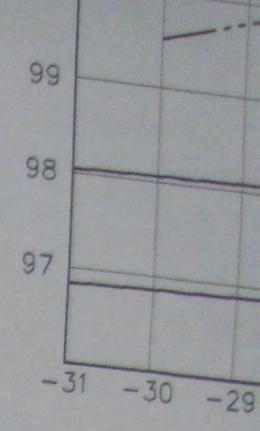
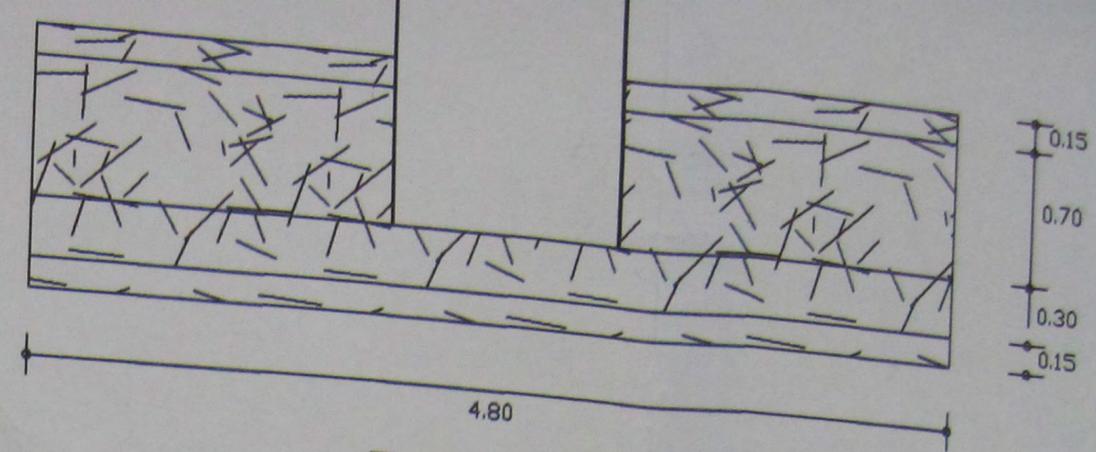
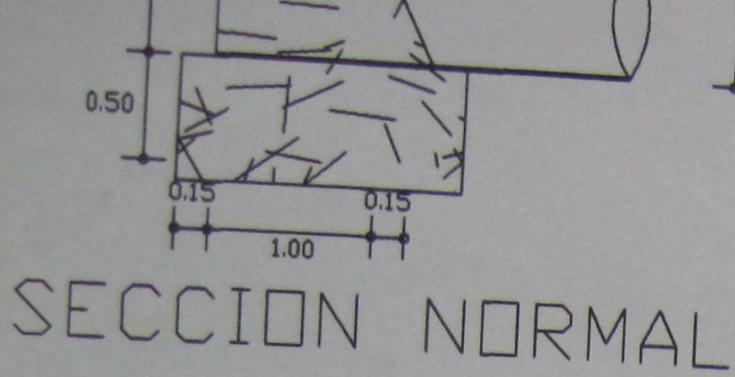


AREA DE TERRAPLEN = 1.80m<sup>2</sup>  
AREA DE CORTE = 3.27m<sup>2</sup>

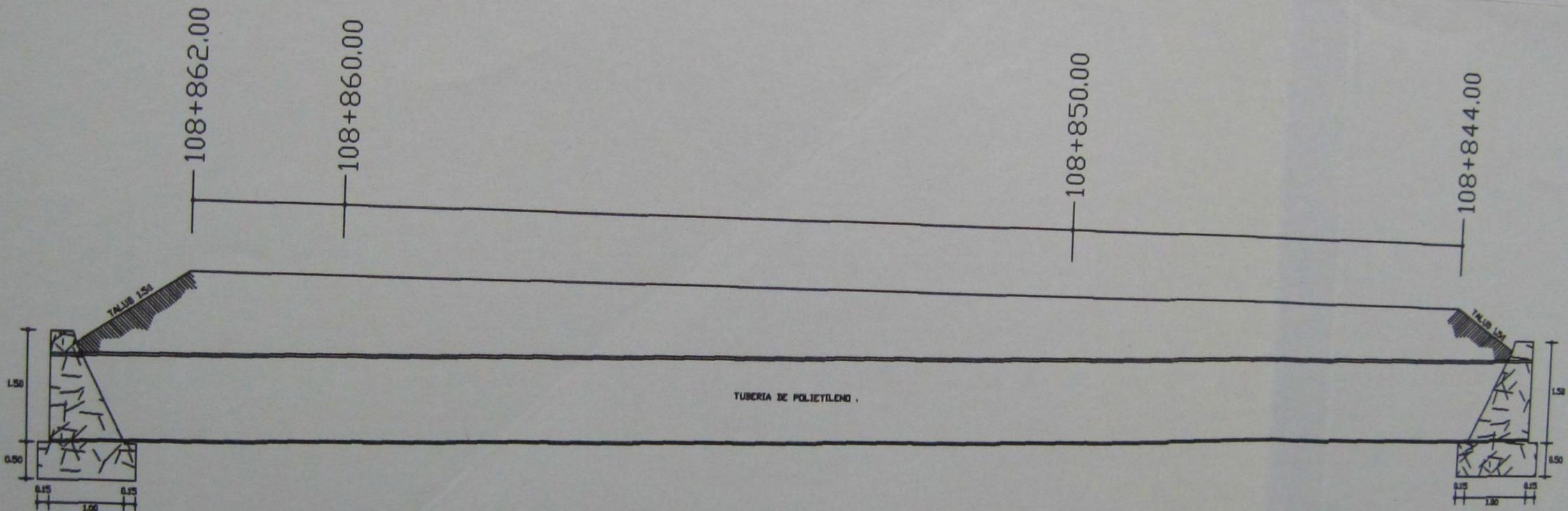
ESTACION 108+560.000

ESCALA HORIZONTAL 1 : 100  
ESCALA VERTICAL 1 : 100

SITA



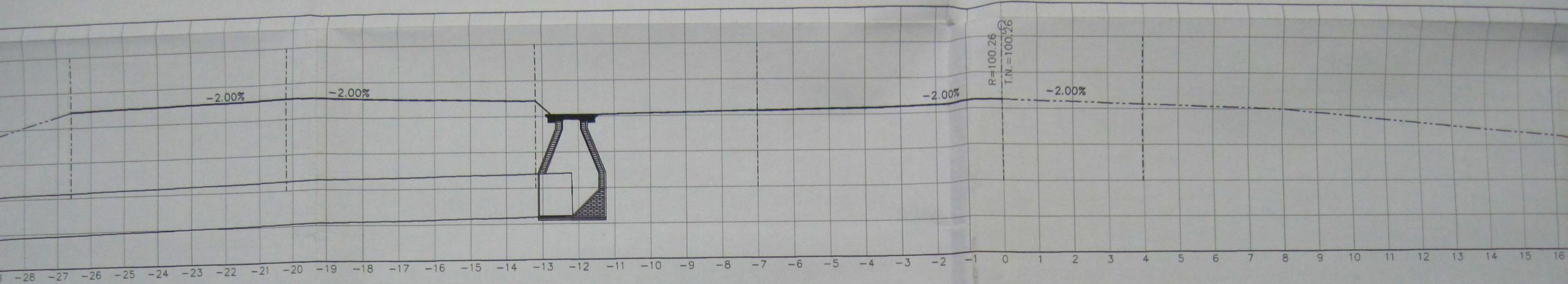
# PERFIL DE ALCANTARILLA



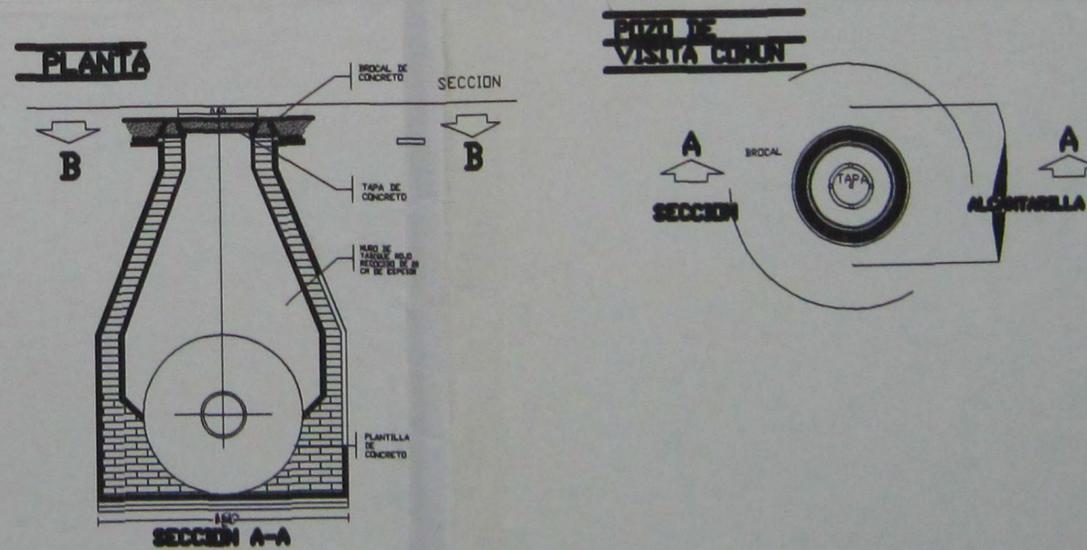
## Observaciones:

El presente plano muestra detalles de alcantarilla, pozo de visita y perfiles de localización.

# FIL DE ALCANTARILLA

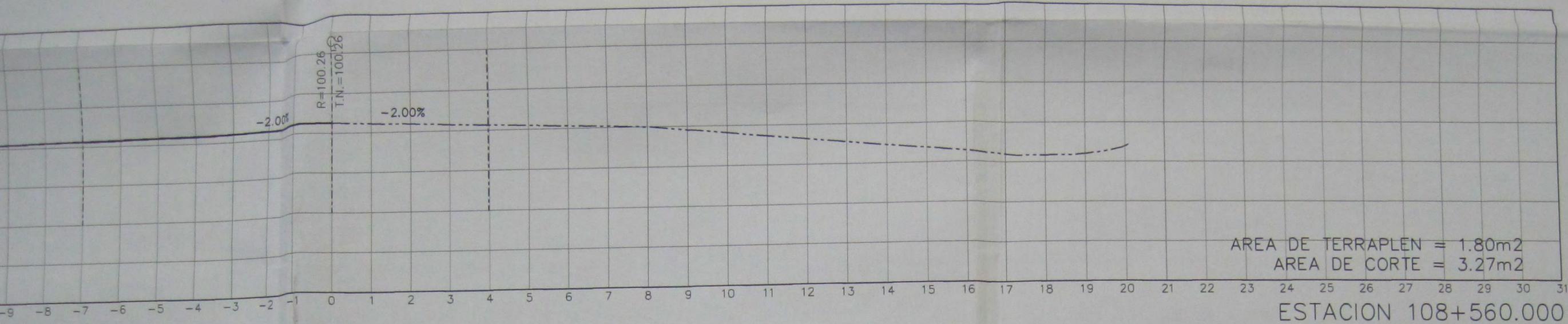


## DETALLE DE POZO DE VISITA

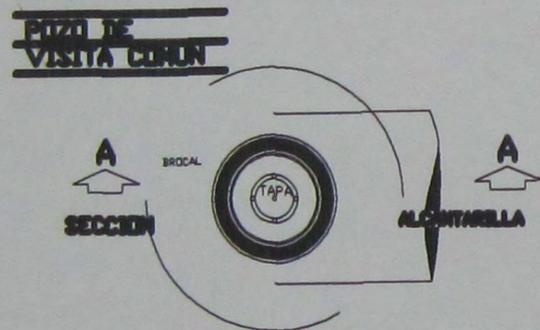
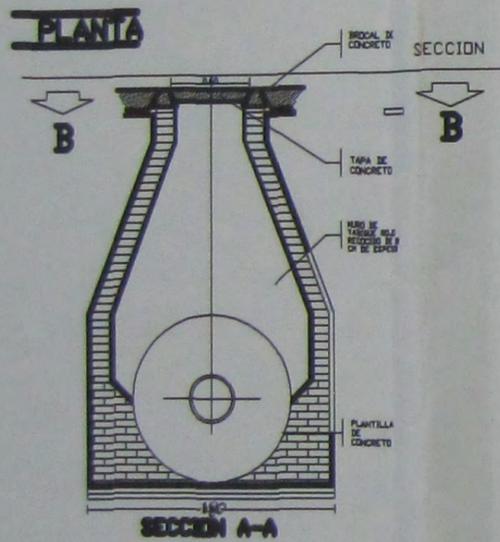


Revizó:  
Ing. sandra Natalia Parra Macías





# LLE DE POZO DE VISITA



Revizó:  
 Ing. sandra Natalia Parra Macías



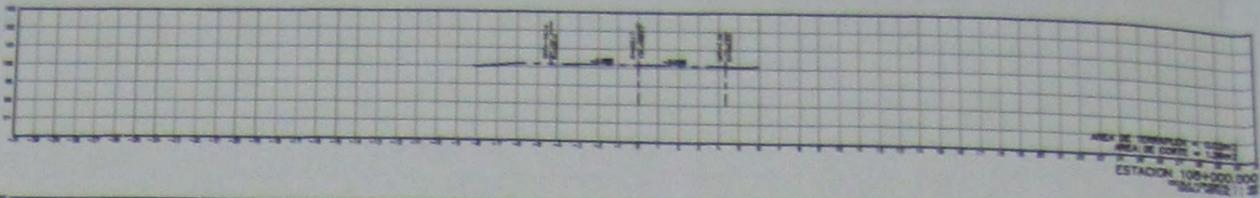
Christian Cesar Gonzalez Mejia

Acot.  
m

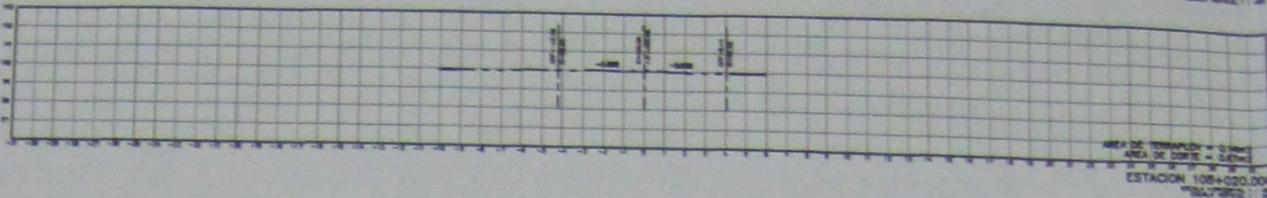
Contenido: Proyecto de drenaje  
 en la intersección.

Escala  
 1:100

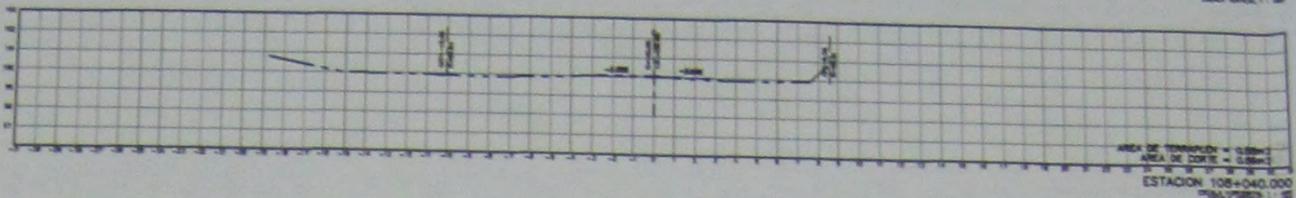
Anexo  
 3



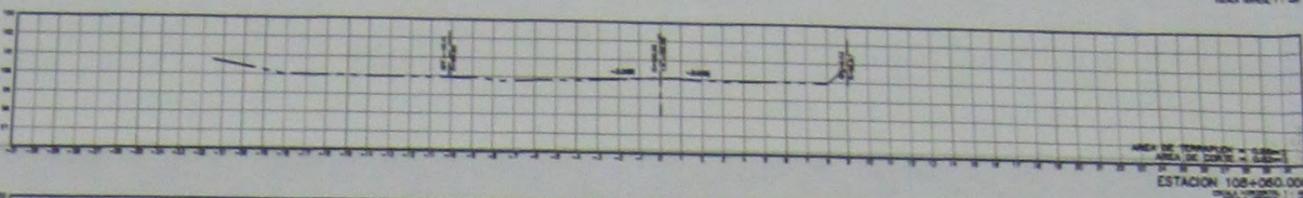
Se acepta bombeo



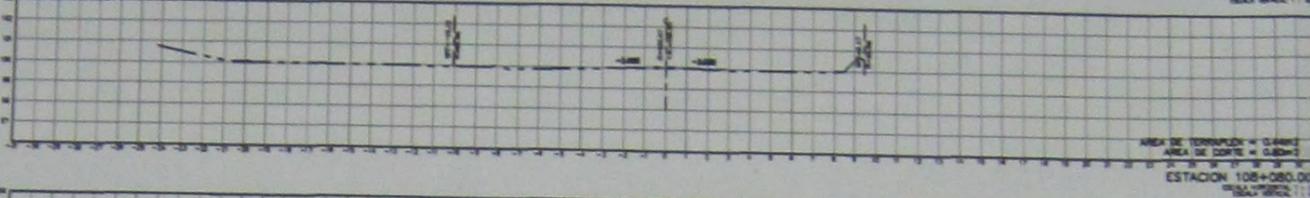
Se acepta bombeo



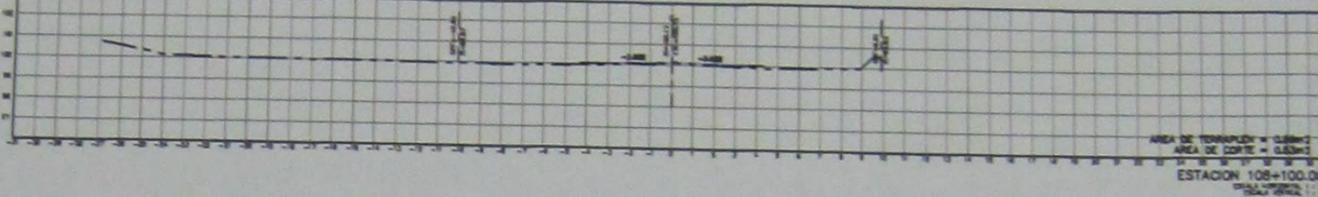
Se acepta bombeo



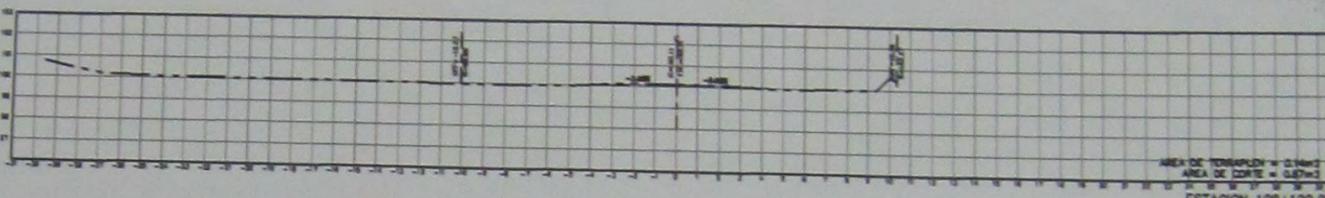
Se acepta bombeo



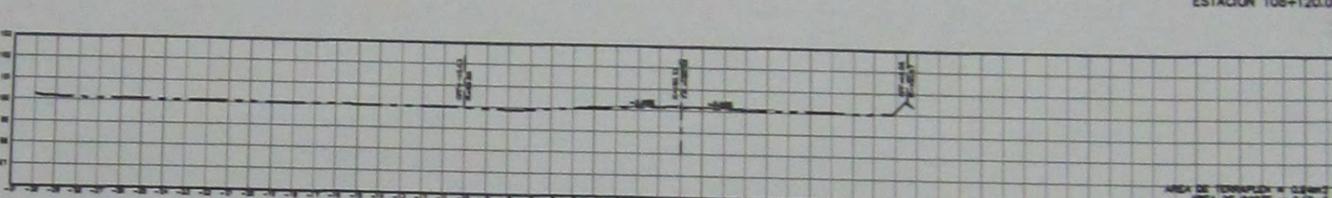
Se acepta bombeo



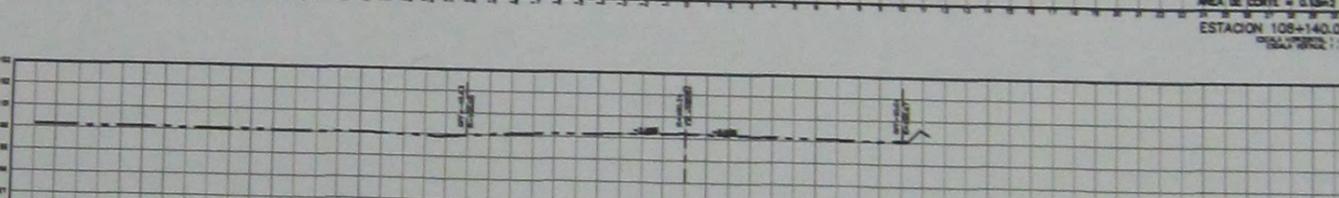
Se acepta bombeo



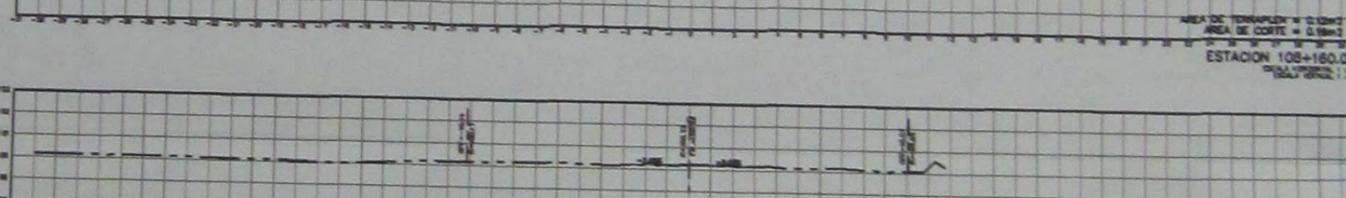
Se acepta bombeo



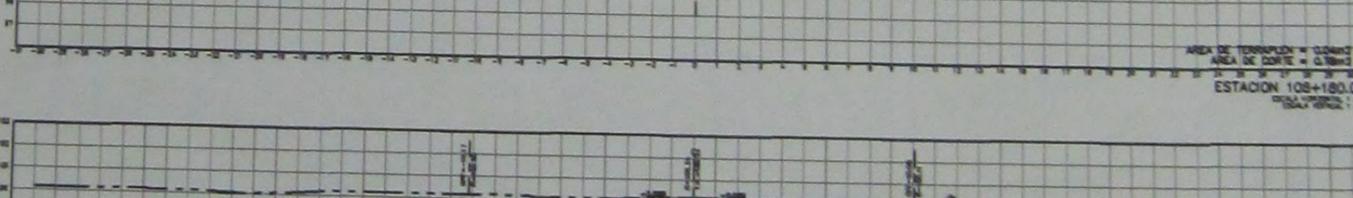
Se acepta bombeo



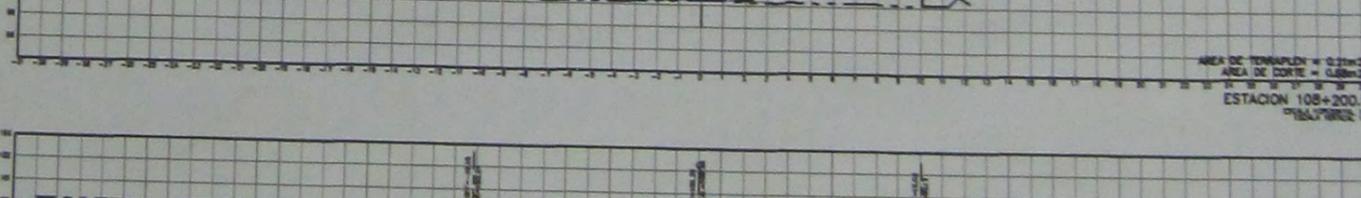
Se acepta bombeo



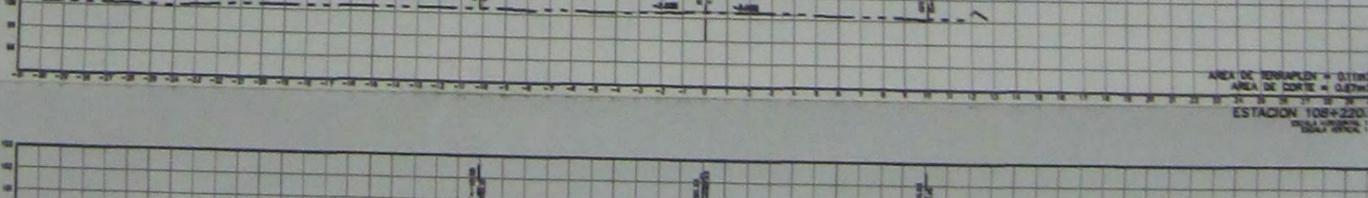
Se acepta bombeo



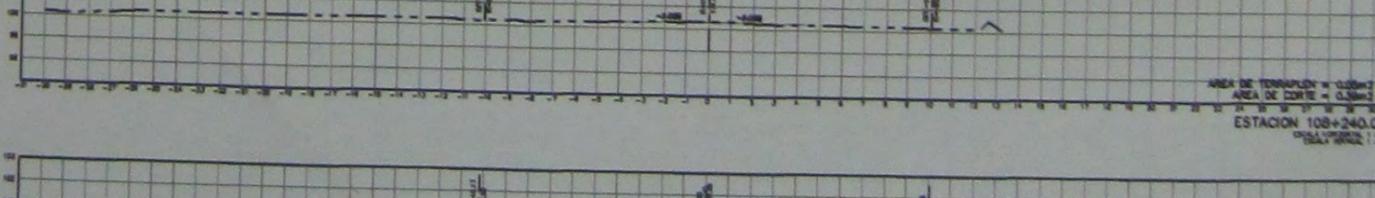
Se acepta bombeo



Se acepta bombeo



Se acepta bombeo



Se acepta bombeo



Universidad Nacional  
Autónoma de México



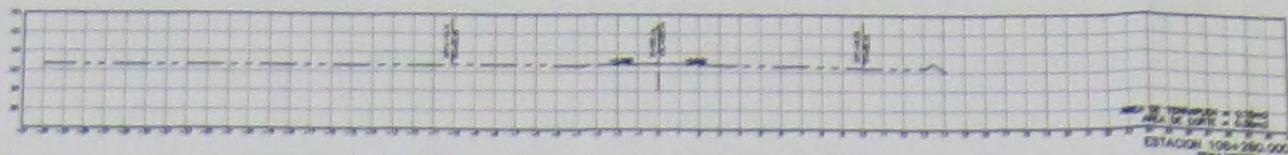
**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

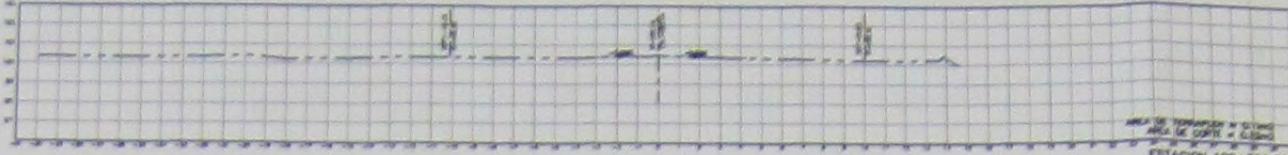
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

bombeo



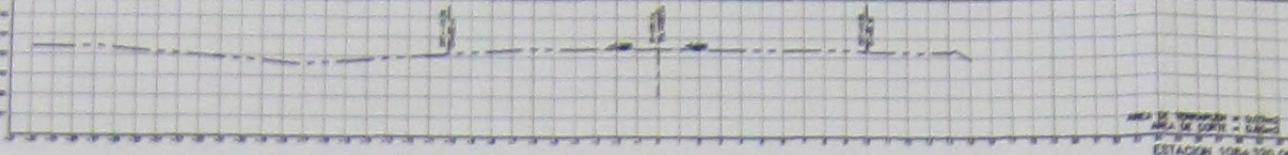
Se acepta bombeo

bombeo



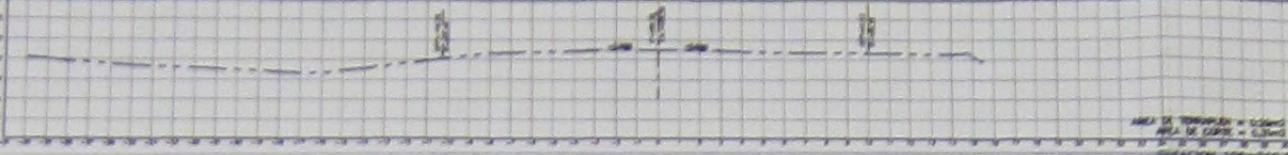
Se acepta bombeo

bombeo



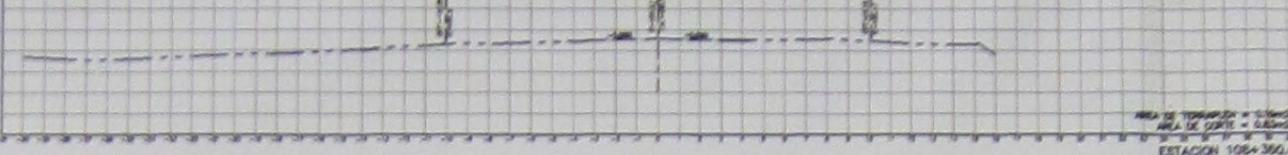
Se acepta bombeo

bombeo



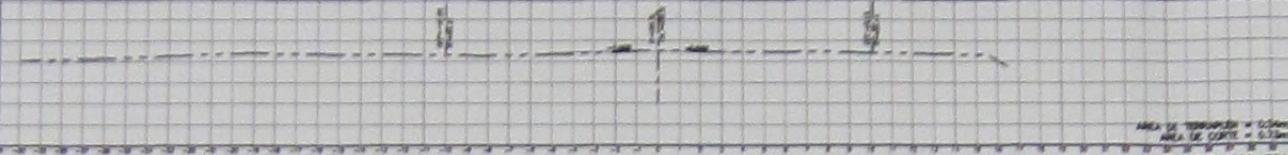
Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

bombeo



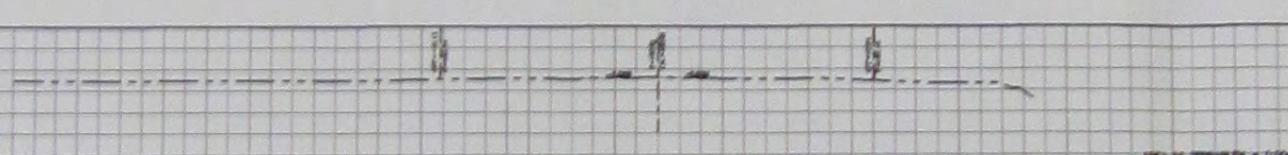
Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

bombeo



Se acepta bombeo

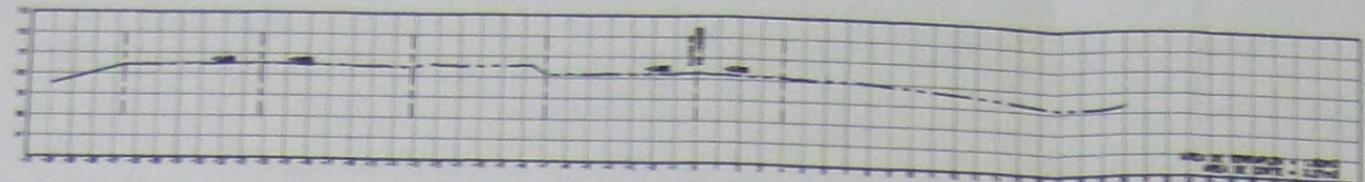
bombeo



Se acepta bombeo

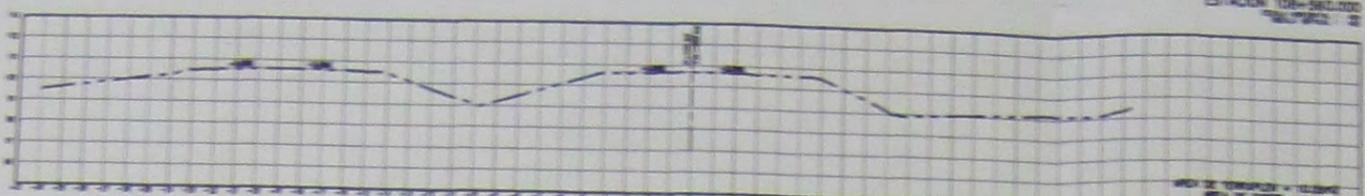
--	--

bombas



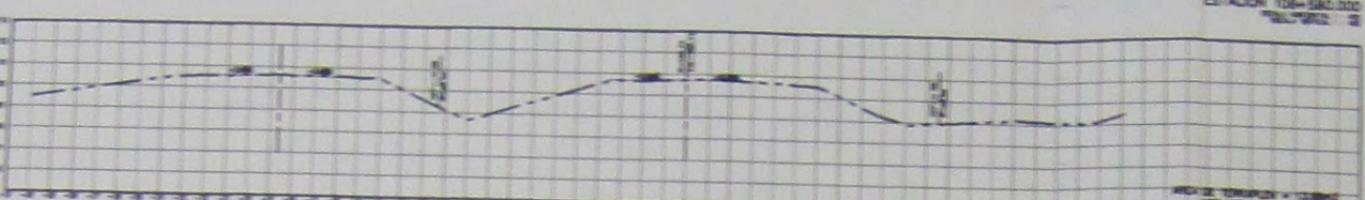
Se acepta bombeo

bombas



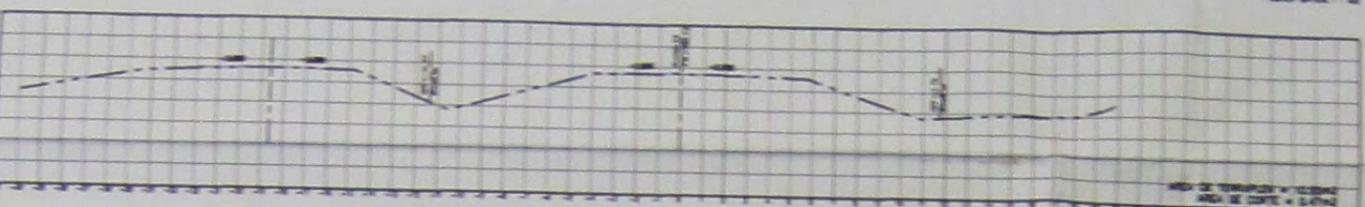
Se acepta bombeo

bombas



Se acepta bombeo

bombas

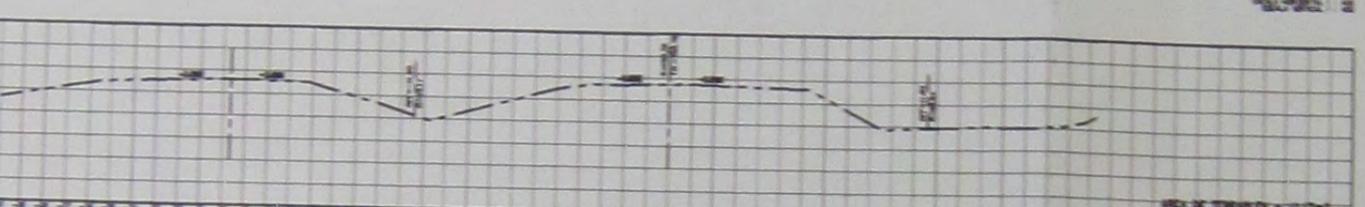


Se acepta bombeo

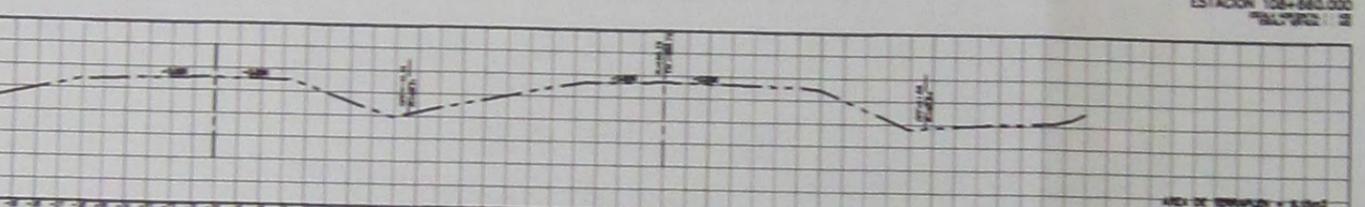
bombas



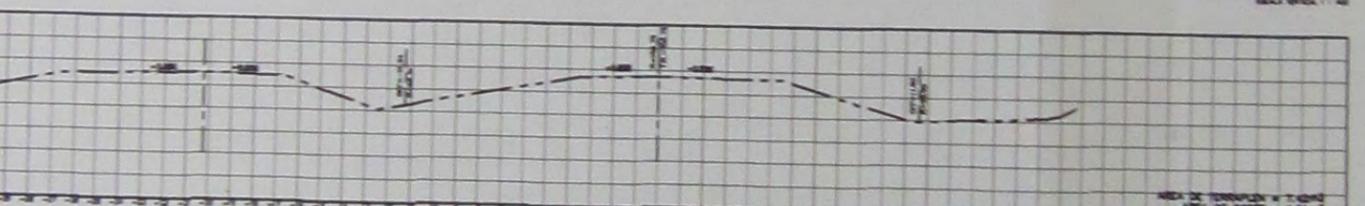
Se acepta bombeo



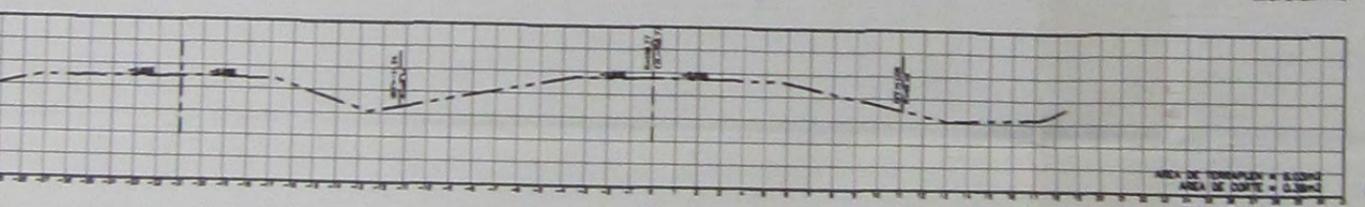
Se acepta bombeo



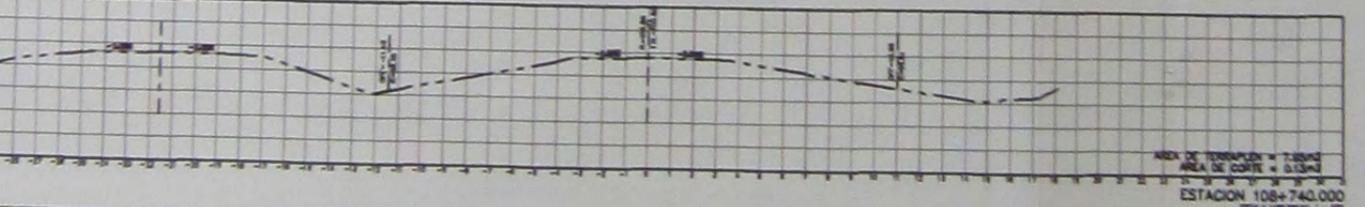
Se acepta bombeo



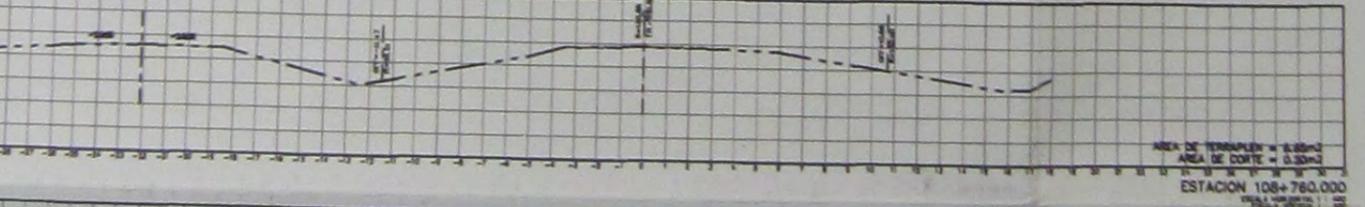
Se acepta bombeo



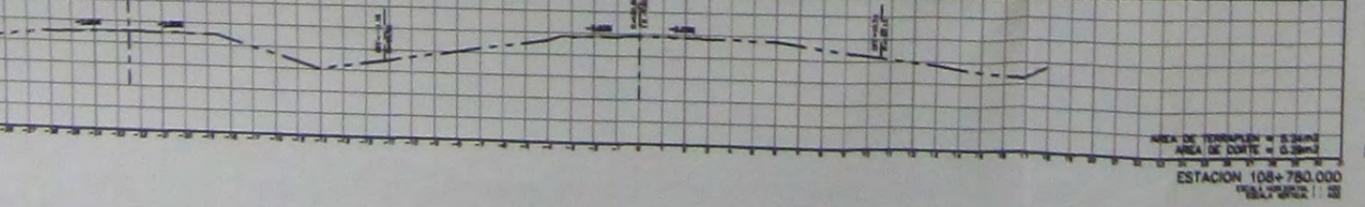
Se acepta bombeo



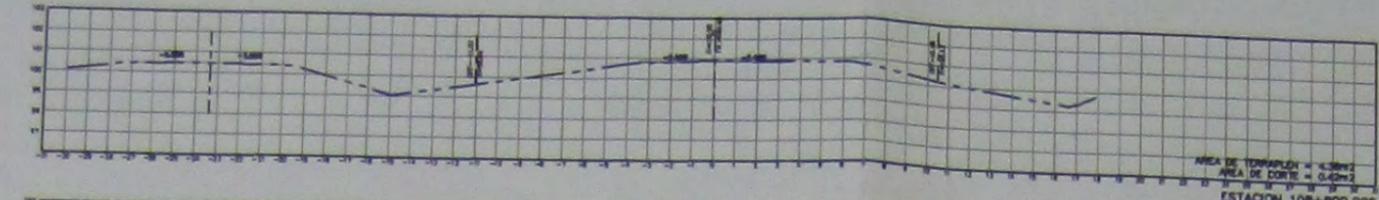
Se acepta bombeo



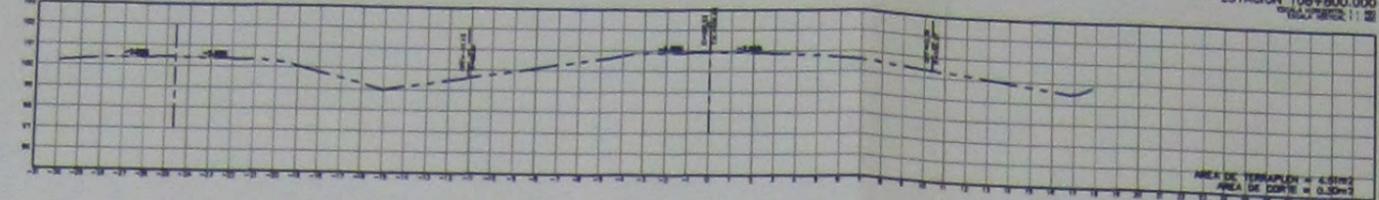
Se acepta bombeo



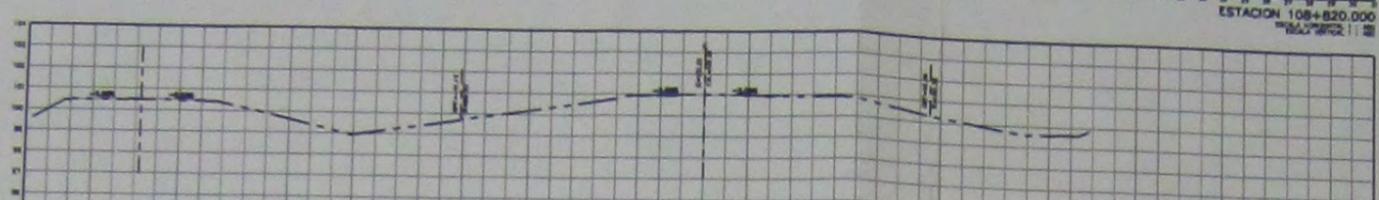
Se acepta bombeo



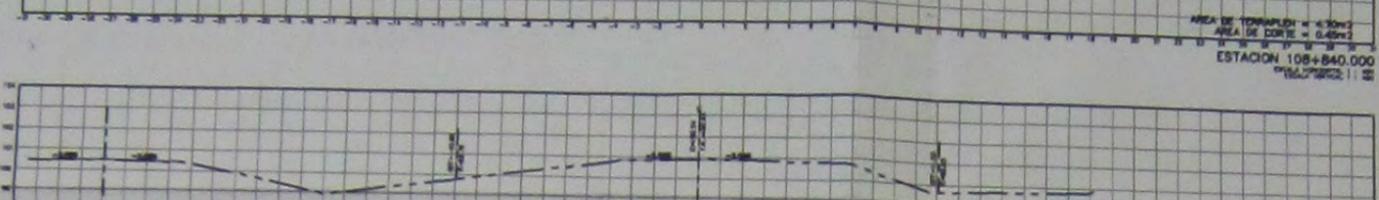
Se acepta bombeo



Se acepta bombeo



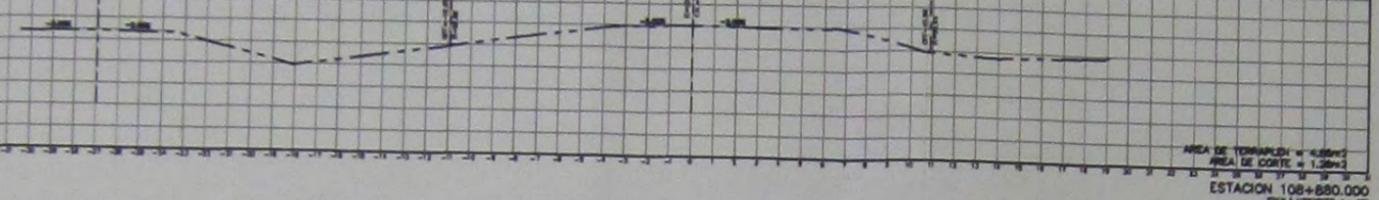
Se acepta bombeo



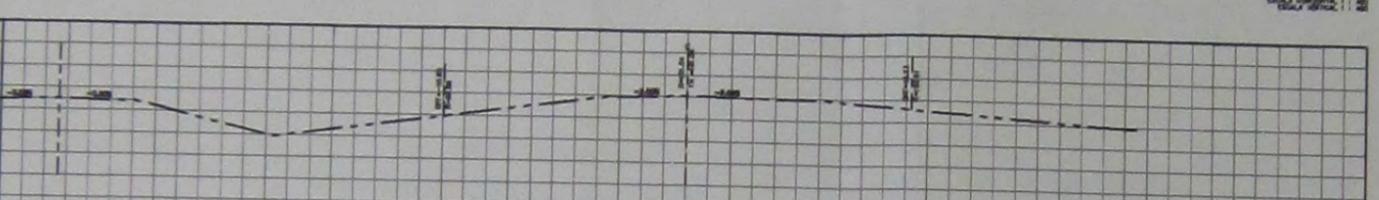
Se acepta bombeo



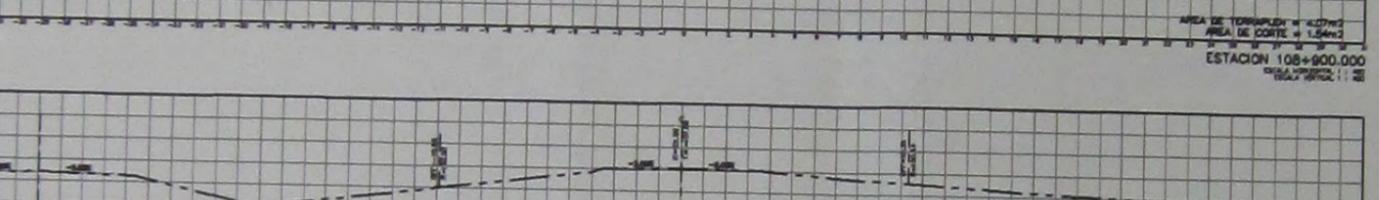
Se acepta bombeo



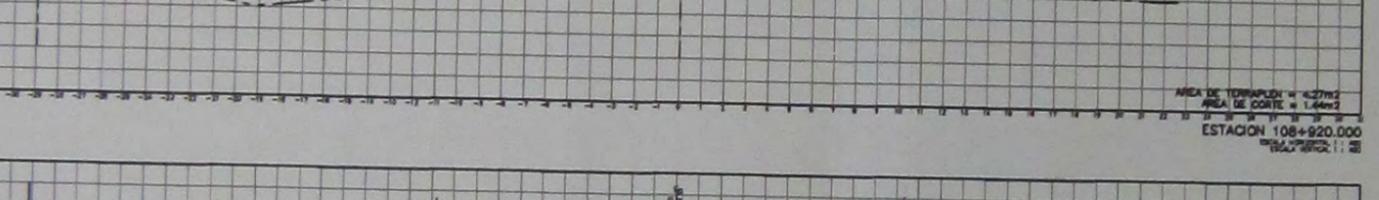
Se acepta bombeo



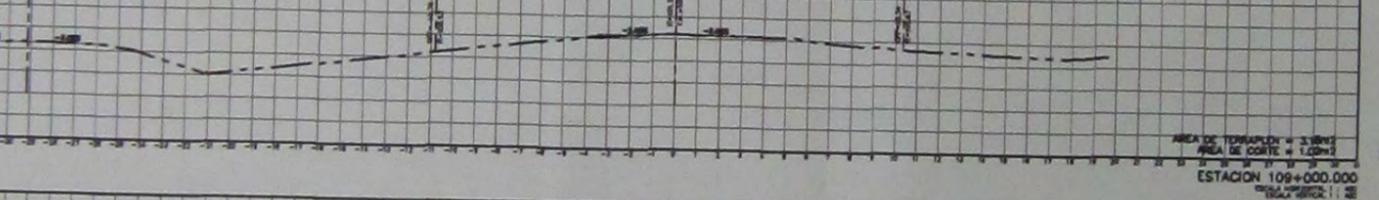
Se acepta bombeo



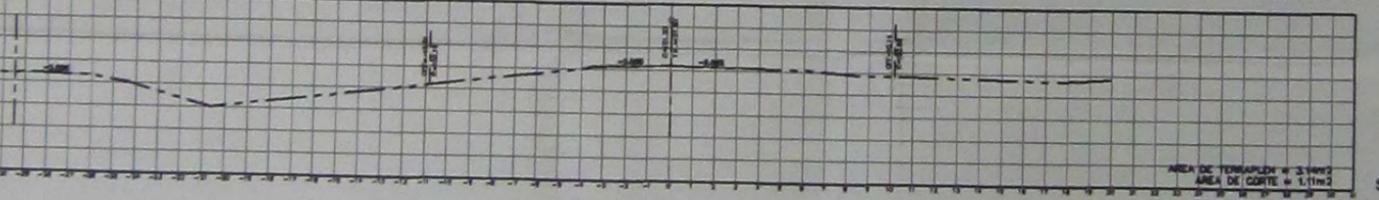
Se acepta bombeo



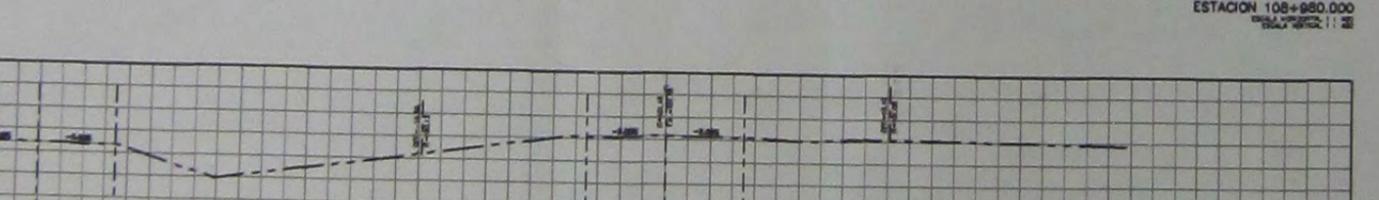
Se acepta bombeo



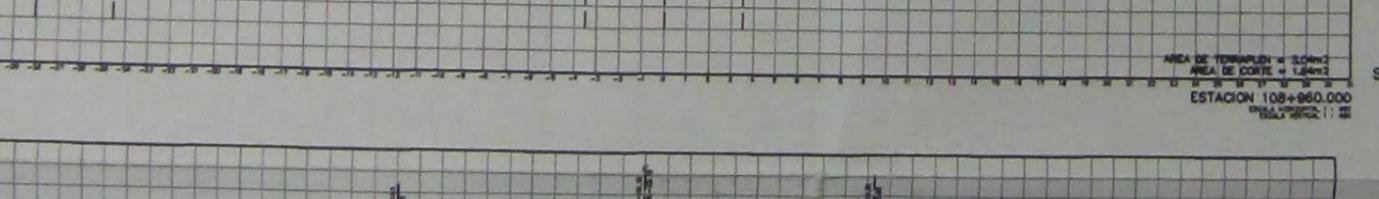
Se acepta bombeo



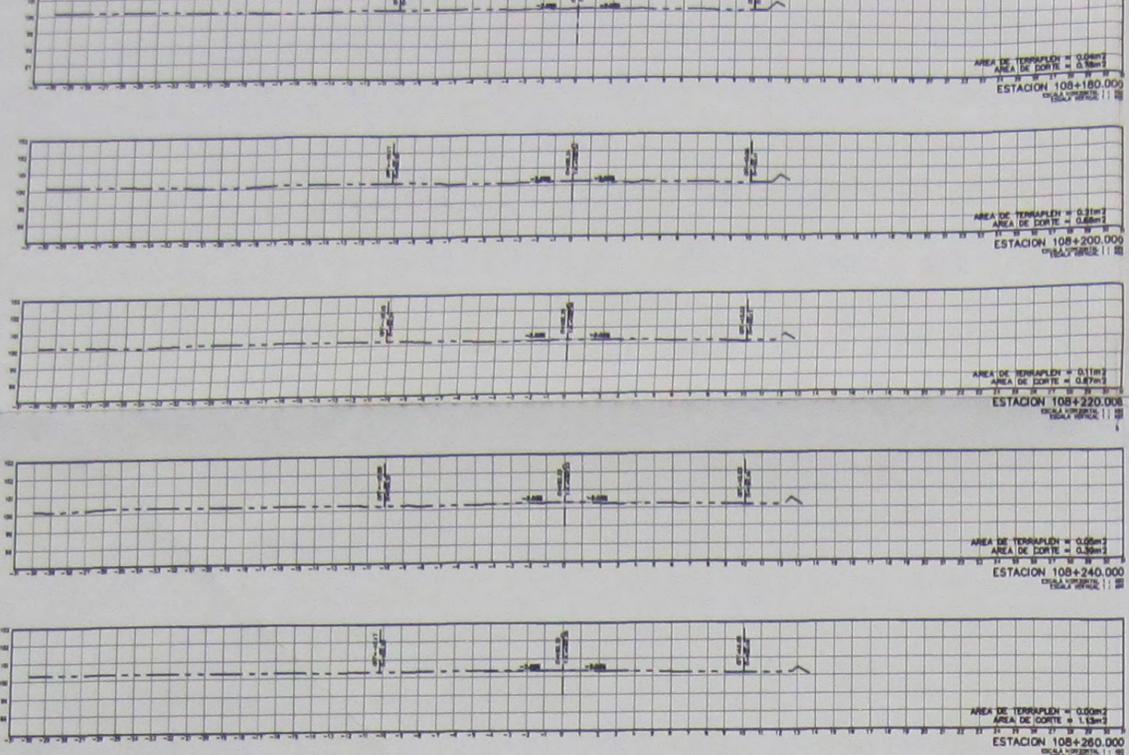
Se acepta bombeo



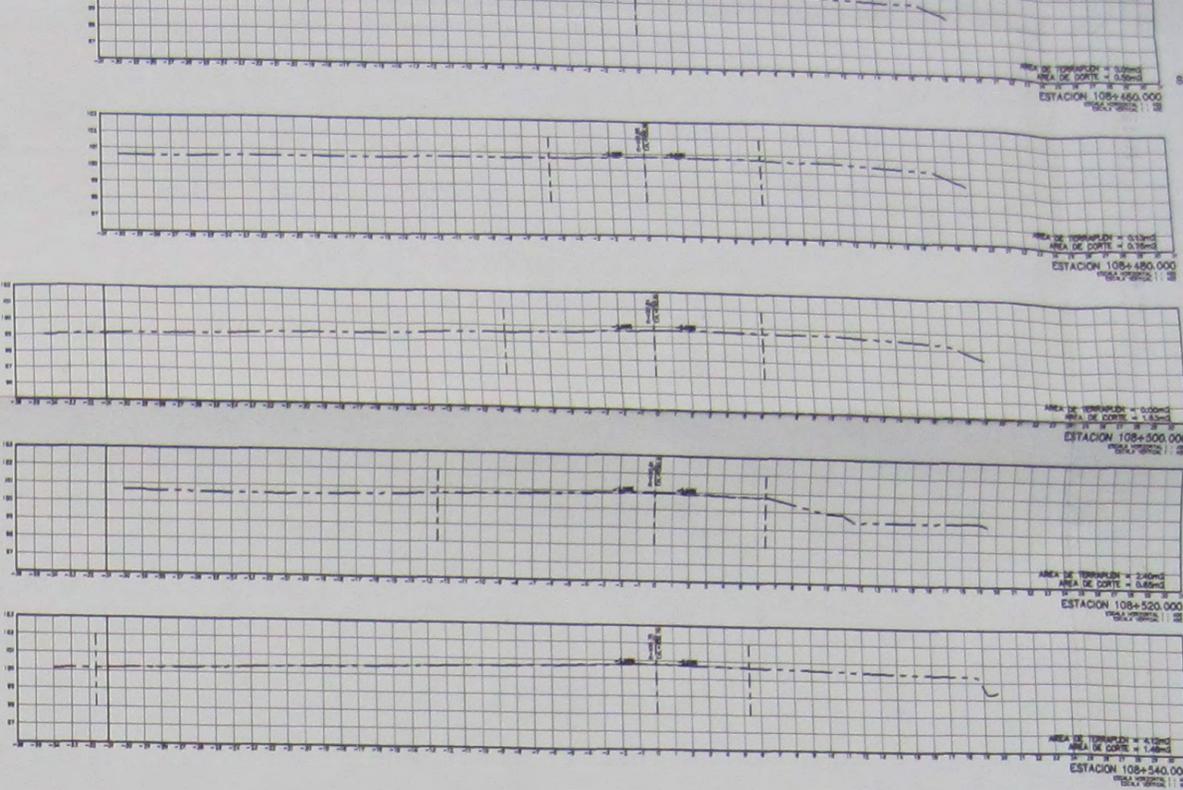
Se acepta bombeo



Se acepta bombeo



Se acepta bombeo



Se acepta bombeo



Observaciones:

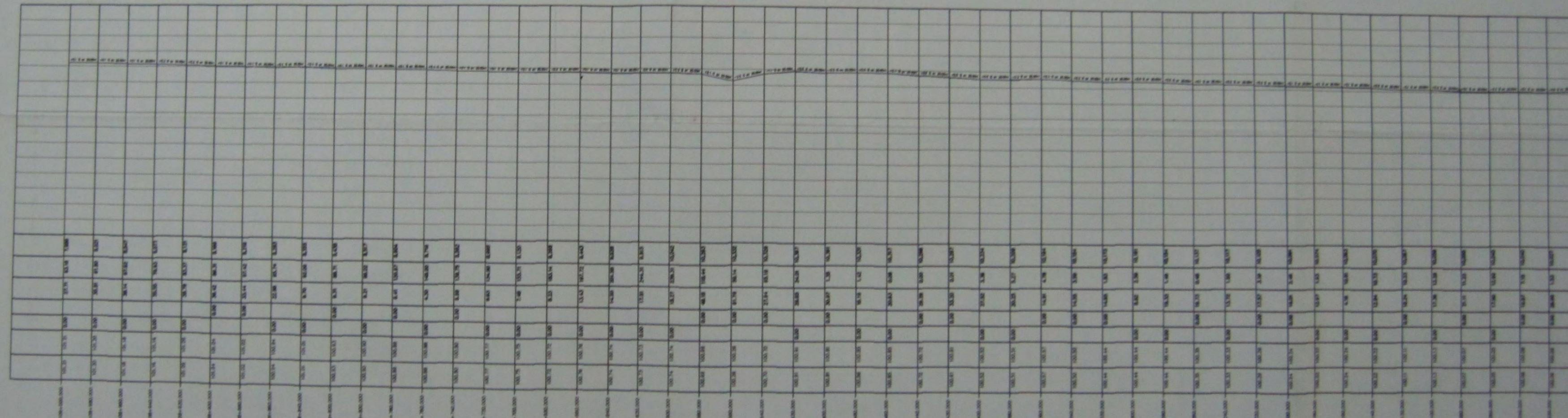
Secciones con bombeo del 2% aceptado y perfil longitudinal del camino,

108+000.000	101.21	101.21	0.00	27.71	83.16	7.985
108+020.000	101.20	101.20	0.00	35.81	81.80	8.027
108+040.000	101.18	101.18	0.00	36.14	87.82	8.047
108+060.000	101.16	101.16	0.00	35.35	78.93	8.071
108+080.000	101.08	101.09	0.00	38.79	83.37	8.171
108+100.000	101.04	101.04	0.00	38.42	88.31	8.188
108+120.000	101.02	101.02	0.00	33.44	97.42	8.278
108+140.000	100.94	100.94	0.00	22.80	95.74	8.383
108+160.000	101.01	101.01	0.00	9.70	82.09	8.393
108+180.000	100.93	100.93	0.00	9.31	88.71	8.438
108+200.000	100.80	100.80	0.00	6.41	130.87	8.604
108+220.000	100.88	100.88	0.00	4.30	148.00	8.778
108+240.000	100.80	100.80	0.00	8.89	138.75	8.882
108+260.000	100.77	100.77	0.00	8.65	134.50	8.887
108+280.000	100.75	100.75	0.00	7.48	133.71	8.120
108+300.000	100.72	100.72	0.00	8.35	103.14	8.368
108+320.000	100.76	100.76	0.00	13.43	197.72	9.443
108+340.000	100.74	100.74	0.00	14.80	201.20	9.838
108+360.000	100.73	100.73	0.00	17.81	244.31	8.815
108+380.000	100.74	100.74	0.00	18.27	238.31	10.042
108+400.000	100.69	100.69	0.00	48.18	118.44	10.383
108+420.000	100.36	100.36	0.00	61.79	58.14	10.332
108+440.000	100.70	100.70	0.00	27.64	83.19	10.329
108+460.000	100.81	100.81	0.00	28.80	34.01	10.387
108+480.000	100.81	100.81	0.00	30.97	1.38	10.381
108+500.000	100.86	100.86	0.00	18.19	1.42	10.331
108+520.000	100.85	100.85	0.00	26.63	0.68	10.377
108+540.000	100.72	100.72	0.00	29.39	0.00	10.288
108+560.000	100.81	100.81	0.00	33.30	0.61	10.287
108+580.000	100.52	100.52	0.00	27.52	3.38	10.324
108+600.000	100.51	100.51	0.00	29.25	5.27	10.289
108+620.000	100.57	100.57	0.00	14.91	4.78	10.314
108+640.000	100.50	100.50	0.00	14.35	3.98	10.314
108+660.000	100.44	100.44	0.00	14.80	1.83	10.373
108+680.000	100.44	100.44	0.00	6.62	2.58	10.181

DEL KM 108+000 AL 109+000  
 ESCALA HORIZONTAL 1 : 2500  
 ESCALA VERTICAL 1 : 250

Revizó:  
 Ing. Sandra Natalia Parra Macías





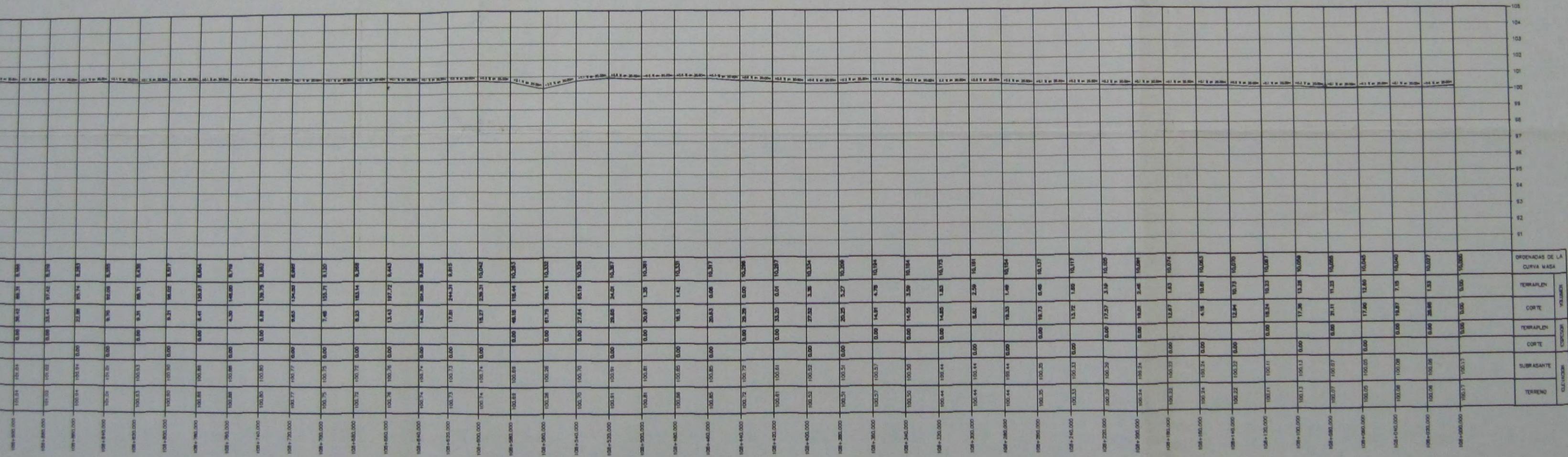
DEL KM 108+000 AL 109+000  
 ESCALA HORIZONTAL: 1 : 2000  
 ESCALA VERTICAL: 1 : 200

Revizó:  
 \_\_\_\_\_  
 Ing. sandra Natalia Parra Macías



Christian Cesar Gonzalez

Contenido: Secciones de bombeo en el camino.



Revizó:  
 Ing. sandra Natalia Parra Macías



Christian Cesar Gonzalez Mejia	Acot. m
Contenido: Secciones de bombeo en el camino.	Escala 1:400
	Anexo 4

ELEVACION	SUBRASANTE	CORTE	TERRAPLEN	VOLUMEN		ORDENADAS DE LA CURVA MASA
				CORTE	TERRAPLEN	
105.00	105.00	0.00	0.00	0.00	0.00	105.00
104.90	104.90	0.00	0.00	0.00	0.00	104.90
104.80	104.80	0.00	0.00	0.00	0.00	104.80
104.70	104.70	0.00	0.00	0.00	0.00	104.70
104.60	104.60	0.00	0.00	0.00	0.00	104.60
104.50	104.50	0.00	0.00	0.00	0.00	104.50
104.40	104.40	0.00	0.00	0.00	0.00	104.40
104.30	104.30	0.00	0.00	0.00	0.00	104.30
104.20	104.20	0.00	0.00	0.00	0.00	104.20
104.10	104.10	0.00	0.00	0.00	0.00	104.10
104.00	104.00	0.00	0.00	0.00	0.00	104.00
103.90	103.90	0.00	0.00	0.00	0.00	103.90
103.80	103.80	0.00	0.00	0.00	0.00	103.80
103.70	103.70	0.00	0.00	0.00	0.00	103.70
103.60	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00	103.60
103.50	103.50	0.00	0.00	0.00	0.00	103.50
103.40	103.40	0.00	0.00	0.00	0.00	103.40
103.30	103.30	0.00	0.00	0.00	0.00	103.30
103.20	103.20	0.00	0.00	0.00	0.00	103.20
103.10	103.10	0.00	0.00	0.00	0.00	103.10
103.00	103.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.00
102.90	102.90	0.00	0.00	0.00	0.00	102.90
102.80	102.80	0.00	0.00	0.00	0.00	102.80
102.70	102.70	0.00	0.00	0.00	0.00	102.70
102.60	102.60	0.00	0.00	0.00	0.00	102.60
102.50	102.50	0.00	0.00	0.00	0.00	102.50
102.40	102.40	0.00	0.00	0.00	0.00	102.40
102.30	102.30	0.00	0.00	0.00	0.00	102.30
102.20	102.20	0.00	0.00	0.00	0.00	102.20
102.10	102.10	0.00	0.00	0.00	0.00	102.10
102.00	102.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.00
101.90	101.90	0.00	0.00	0.00	0.00	101.90
101.80	101.80	0.00	0.00	0.00	0.00	101.80
101.70	101.70	0.00	0.00	0.00	0.00	101.70
101.60	101.60	0.00	0.00	0.00	0.00	101.60
101.50	101.50	0.00	0.00	0.00	0.00	101.50
101.40	101.40	0.00	0.00	0.00	0.00	101.40
101.30	101.30	0.00	0.00	0.00	0.00	101.30
101.20	101.20	0.00	0.00	0.00	0.00	101.20
101.10	101.10	0.00	0.00	0.00	0.00	101.10
101.00	101.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.00
100.90	100.90	0.00	0.00	0.00	0.00	100.90
100.80	100.80	0.00	0.00	0.00	0.00	100.80
100.70	100.70	0.00	0.00	0.00	0.00	100.70
100.60	100.60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.60
100.50	100.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.50
100.40	100.40	0.00	0.00	0.00	0.00	100.40
100.30	100.30	0.00	0.00	0.00	0.00	100.30
100.20	100.20	0.00	0.00	0.00	0.00	100.20
100.10	100.10	0.00	0.00	0.00	0.00	100.10
100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00