



*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*

*FACULTAD DE INGENIERÍA*

*TESIS DE LICENCIATURA*

*DISEÑO DE PAVIMENTOS EN OBRAS DE URBANIZACIÓN*

*DIRECTOR DE TESIS*

*M.I. HÉCTOR SANGINÉS GARCÍA*

*AUTOR*

*DELFINO RIVERA CARMONA*

MÉXICO D.F. 2009



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.



*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO*

*FACULTAD DE INGENTERÍA*

*TESIS DE LICENCIATURA*

*DISEÑO DE PAVIMENTOS EN OBRAS DE URBANIZACIÓN*

*DIRECTOR DE TESIS.*

*M.I. HÉCTOR SANGINÉS GARCÍA*

*SINODALES DE TESIS.*

*M.I AGUSTÍN DEMENEGHÍ COLINA*

*M.I MARGARITA PUEBLA*

*M.I LUIS CANDELLAS RAMÍREZ*

*Ing. JESÚS GALLEGOS SILVA*

*MÉXICO D.F. 2009*

*A los que estamos en una continua búsqueda...*

*Si ya no es que esto sea burla pensada, no me puedo persuadir que hombres de tan buen entendimiento como son, o parecen, todos los que aquí están, se atrevan a decir y afirmar que ésta no es bacía, ni aquella albarda; más como veo que lo afirman y lo dicen, me doy a entender que no carece de misterio el porfiar una cosa tan contraria de lo que nos muestra la misma verdad y la misma experiencia; porque voto a tal, que no me den a entender que ésta no sea bacía de barbero, y ésta albarda de asno.*

*Don Quixote de la Mancha. Capítulo XLV.*

*No tengo talentos especiales, pero sí soy profundamente curioso, lo importante es no dejar de hacerse preguntas. (Einstein)*

*Dicen que soy un héroe, yo débil, tímido, casi insignificante, si siendo como soy hice lo que hice, imagínense lo que pueden llegar a lograr ustedes, solo tienen que ver hacia su interior y atreverse. (Gandhi)*

## **AGRADECIMIENTOS.**

*Quiero expresar mi gratitud, a todas las personas que influyeron positivamente en este largo camino, que culmina con la presentación de mi Tesis de Licenciatura, el citar a un@s y olvidar a otr@s, me volvería un descortés y mal agradecido con todos aquell@s que me han ayudado a conseguir un objetivo muy importante en la vida, pero no el fundamental porque siempre hay nuevos logros que cumplir y metas que alcanzar, sin embargo mi deseo es regresar a cada uno de ell@s todos los buenos momentos compartidos, las adversidades superadas, nuestros malos genios tolerados, las largas horas trabajando conjuntamente en un proyecto, los tiempos de juegos, las sobremesas de platica interminable, las charlas encrespadas y ríspidas pero siempre con respeto, las horas de clase bajo la tutela del maestro, y como no lo puedo hacer físicamente, se los envío con toda la buena vibra del alma, para que les vaya bien a tod@s los que compartieron conmigo un minuto de sus vidas, en éste camino que fue inolvidable, y de este modo materializar el inmenso agradecimiento que les tengo a tod@s. Aunque las palabras no hagan justicia con el simple hecho de mencionarlas deben estar seguros que siempre vivirán y formarán parte importante de mi crecimiento como ingeniero, ser humano e hijo de familia. Las palabras retoman su verdadera fuerza y significado cuando se dicen con convicción, verdad y con el corazón en la mano.*

**GRACIAS MUCHAS GRACIAS.**

**CONTENIDO.**

ÍNDICE.	1
<i>INTRODUCCIÓN.</i>	4
<b>I) URBANISMO.</b>	9
I.1.- URBANISMO CONCEPTOS E HISTORIA.	9
I.2.- INFLUENCIA DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL AL URBANISMO.	12
I.3.- NACIMIENTO Y EVOLUCIÓN DEL URBANISMO.	16
I.4.- TRANSICIÓN AL GRUPO DE LOS 10.	23
I.5.- SITUACIÓN EN MÉXICO.	33
BIBLIOGRAFÍA.	38
<b>II) ESTUDIOS DE TOPOGRAFÍA.</b>	39
II.1.- INTRODUCCIÓN.	39
<i>APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.</i>	41
II.2.-MÉTODO DE RADIACIÓN.	31
GLOSARIO	53
BIBLIOGRAFÍA.	53
<b>III) IMPACTO AMBIENTAL.</b>	54
III.1.- EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.	54
III.2.- SITUACIÓN EN MÉXICO.	56
<i>APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.</i>	59
III.3.- ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CONJUNTO HABITACIONAL SAN BERNARDINO.	59
III.4.- DATOS GENERALES DEL PROYECTO, PROMOVENTE Y RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.	59
III.5.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	59
III.6.- GENERACIÓN, MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y EMISIONES A LA ATMÓSFERA.	61
III.7.- VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL, Y EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN DE USO DE SUELO.	62
III.8.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, DETECTADA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.	63

III.9.- IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.	68
III.10.- MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN.	69
III.11.- METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES.	70
III.12.- MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS. BIBLIOGRAFÍA.	73 82
<b>IV) ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS.</b>	83
CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.	83
IV.1.- SUELOS Y ROCAS: ORIGEN DEL SUELO.	83
IV.2.- PROPIEDADES FÍSICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.	84
IV.3.- RECONOCIMIENTO DEL TERRENO.	92
IV.4.- ENSAYOS DE LABORATORIO.	96
<i>APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.</i>	99
IV.5.- PRUEBAS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.	99
IV.6.- CARÁCTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOGRÁFICAS DEL SITIO.	99
IV.7.- SONDEO EXTRACCIÓN Y MUESTRAS. TRABAJO DE LABORATORIO.	100 103
IV.8.- PESO VOLUMÉTRICO.	103
IV.9.- DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL.	104
IV.10.- PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS O DENSIDAD DE SÓLIDOS ( $S_s$ ).	104
IV.11.- RELACIÓN DE VACÍOS.	105
IV.12.- CLASIFICACIÓN.	106
IV.13.- GRANULOMETRÍA.	106
IV.14.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO.	111
IV.15.- PLASTICIDAD.	112
IV.16.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLÁSTICO.	113
IV.17.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN.	113
IV.18.- CLASIFICACIÓN DE LOS ESTRATOS.	117
IV.19.- EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE, Y CAPACIDAD DE CARGA.	119 121
IV.20.- RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.	121
IV.21.- ENSAYO DE CORTE DIRECTO.	123
IV.22.- CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA. BIBLIOGRAFÍA	125 127

V) <i>DISEÑO DE PAVIMENTOS.</i>	128
V.1.- INTRODUCCIÓN.	128
V.2.- TIPOS DE PAVIMENTOS.	133
V.3.- ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN PAVIMENTO RÍGIDO.	137
V.4.- TIPOS DE PAVIMENTO RÍGIDO.	139
V.5.- FACTORES DE DISEÑO.	139
V.6.- ELEMENTOS GEÓMETRICOS.	144
<i>APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.</i>	153
V.7.- DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO RÍGIDO.	153
BIBLIOGRAFÍA.	174
VI) <i>CONCLUSIONES.</i>	175
ANEXO A	179
ANEXO B	182



## INTRODUCCIÓN

Siempre el hombre ha debido enfrentarse al medio ambiente, al terreno, habilitarlo para abrirse paso, estableciendo un medio a su gusto y necesidad, creando caminos, dándoles curso, sentido y orientación. A lo largo de la historia, diferentes formas de caminos han sido usadas por los seres humanos, no solamente como puntos de unión y de encuentro sino, en un sentido más profundo, como un acto cultural mediante el cual hacen suyo el territorio integrándolo como una parte concreta de sus vidas, de sus sueños, de su espíritu y pertenencia.

El desarrollo vial es uno de los elementos fundamentales en las estructuras urbanas y para unir las entre sí. Caminos óptimos y carreteras permanentes, cuyos beneficios quedan reflejados en una mayor facilidad de tránsito y hasta en el incremento de la vida útil de los vehículos. En el mundo actual el traslado de personas, bienes y servicios se ha transformado en un elemento básico para el desarrollo ordenado de las ciudades, donde los sistemas viales y de transporte urbano son los elementos fundamentales para lograr una estructuración eficiente.

A través del tiempo, el hombre en su andar ha tenido que abrirse paso y construir innumerables caminos para facilitar su desplazamiento, el cual, hoy en día, se da con base en diversos medios, entre los más importantes, los vehículos automotores, que requieren de caminos específicos y propicios para facilitar su desempeño, en el mundo de hoy en el cual no se concibe ninguna actividad de la vida sin el uso del vehículo.

Cuando el automóvil obtuvo el favor del público, éste reclamó caminos adecuados para mayor seguridad y comodidad. El transporte carretero comercial creó la dependencia “camión-camino” y exigía amplias carreteras para más y mejores vehículos. El petróleo produjo importantes volúmenes de asfaltos aptos para uso vial, como los cementos asfálticos y asfaltos diluidos, aunque con limitaciones respecto a su durabilidad y resistencia. Urgía la innovación.

Poco a poco, el concreto se fue instalando al frente de los materiales constructivos. A fines del siglo XIX, la Asociación de Cemento Portland (Portland Cement Association, PCA) en los Estados Unidos, promovía fuertemente el uso del concreto en caminos, avenidas y carreteras.

En México las primeras carreteras de concreto se proyectaron, diseñaron y construyeron, en su mayoría, entre los años de 1925 y 1970, lo cual explica su bajo nivel de servicio actual, pues la red estuvo proyectada para soportar cargas vehiculares que varían entre las seis y ocho toneladas; sin embargo, hoy en día llegan a ser transitadas por camiones cargados que alcanzan hasta 60 toneladas de peso. En este sentido, las condiciones de servicio de aproximadamente 95,000 kilómetros de caminos en México no son las óptimas, de hecho la mayoría de ellos está catalogado por las propias autoridades como pavimentos en regulares y malas condiciones.

En el año de 1993 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), con el apoyo de Cementos Mexicanos, construyó la primera carretera de concreto hidráulico, haciendo uso de las nuevas tecnologías de pavimentación y cumpliendo con las especificaciones internacionales. Así, en 1993 el libramiento Ticumán, en Morelos, México, ya era una realidad con una longitud de 8.5 kilómetros.

La clasificación tradicional de los pavimentos distingue dos tipos principales: los flexibles o asfálticos, y los rígidos o de concreto hidráulico. En el caso particular de estos últimos, el pavimento propiamente dicho está constituido por losa, apoyada sobre una sub base, o en ocasiones, puesta directamente sobre la capa subrasante.

El tipo de suelo determina en gran medida la estructura del pavimento a construir. Así, en muchos de los casos, por condiciones de trazo geométrico, topografía y calidad de los suelos de apoyo por donde pasará un camino, es necesario colocar una capa de transición sobre la cual se construyan las losas de concreto. Esta capa deberá contar con mejores características de resistencia que las de los suelos existentes en la zona.

La capa de apoyo del pavimento de concreto puede ser el suelo o terreno natural, siempre y cuando sea de buena calidad. Cuando no es el caso, se debe construir una capa de transición o de sub base, a fin de que constituya un depósito que cumpla una función estructural, y de esta manera los espesores de losa requeridos se reduzcan. La capa, que debe ser de tipo granular, servirá también para drenar el agua que tiende a acumularse en la parte inferior de la losa de concreto, ya sea por lluvia o por elevación estacional de los niveles freáticos del terreno.

Una de las principales ventajas de los pavimentos de concreto hidráulico es su durabilidad. Para conseguirla, es importante considerar, además de la resistencia adecuada ante las exigencias mecánicas, todos los agentes externos a los que estará expuesto el pavimento.

Aunque la respuesta de los materiales y el comportamiento de los suelos de apoyo no pueden pronosticarse con precisión, las cargas de tráfico real, las condiciones climáticas locales, la temperatura y la interacción de los diversos factores de deterioro son variantes que si se pueden valorar y deben considerarse al proyectar la construcción de un camino.

Los pavimentos de concreto hidráulico se caracterizan por requerir de un mínimo mantenimiento a lo largo de su vida útil, lo cual es, sin duda, una de sus mayores ventajas. Hasta hace algunos años, se consideraba que el costo de construcción de un pavimento rígido con respecto a uno flexible era dos o tres veces mayor, pero esto ha ido disminuyendo y es preciso también tomar en cuenta los costos de mantenimiento y de operación.

La resistencia del concreto es un factor de suma importancia que debe ser considerado en el diseño de los pavimentos rígidos. Esto se debe a que las losas de concreto se flexionan bajo el peso de las cargas producidas por el tránsito, que imprime en ellas esfuerzos de tensión y compresión, donde los primeros son más importantes porque la resistencia del concreto a la flexión es apenas del orden de 10 por ciento de su resistencia a la compresión.

El concreto hidráulico permite conseguir superficies de rodamiento con alto grado de uniformidad, las cuales, dada su rigidez, permanecen planas durante toda su vida útil, evitando la formación de roderas que disminuyen el área de contacto entre llanta y pavimento, y producen el efecto de acua-planeo en los días de lluvia.

Para obtener los resultados óptimos de acuerdo a los estándares solicitados por las diferentes instituciones gubernamentales, nuestro proyecto de tesis empieza con un estudio somero sobre urbanismo, su historia, nacimiento, evolución, transición y situación en México, para aplicar sus principios al proyecto Conjunto Habitacional San Bernardino Tlaxcalancingo, éste estudio provee un panorama más amplio de las necesidades a cubrir para un nivel de vida digno y sobre todo enfocado a una buena planeación vial para la integración social de los habitantes con su entorno físico, cultural y económico (Capítulo I).

¿De qué manera podría un Ingeniero Civil llevar a cabo un proyecto si éste no conoce la extensión, las construcciones existentes, los hitos naturales presentes, ni la forma o el relieve del terreno donde se realizaría? Ante ésta interrogante se hace evidente la necesidad de contar con una ciencia que se ocupe de la medición del terreno, tanto en la planimetría como en la altimetría. He ahí la topografía, ciencia que responde a estas

interrogantes llevando las dimensiones del terreno, en una forma sorprendentemente precisa, a representaciones gráficas que son de gran utilidad e importancia para el desarrollo del Conjunto Habitacional. Utilizando el método de radiación, primero con teodolito óptico y después con Sistema de Posicionamiento Global (GPS), se muestra en planos el levantamiento topográfico de la poligonal del predio en San Bernardino, y utilizando la fotogrametría se consigue obtener coordenadas exactas que nos dan la ubicación del predio en un sistema de referencia global (Capítulo II).

La problemática del deterioro ambiental se presenta como una de las principales preocupaciones del fin de siglo para el planeta, la interacción del hombre con el ambiente, en sus múltiples formas, justifica en la actualidad la existencia de numerosas disciplinas científicas que la abordan como objeto de análisis. La relación “hombre-tierra” u “hombre-ambiente” es para conocer las principales fuentes emisoras de contaminantes y la participación relativa de cada rubro de la actividad local, municipal y estatal. Disponiendo de herramientas de planificación, gestión, seguimiento, mitigación, control y sanción; la interacción con la autoridad que establece una serie de permisos, estándares y controles con la intención de regular el funcionamiento adecuado del proyecto con el medio, para que su impacto sea el menor e incluso nulo, a la vez que en caso de incumplimiento, se impondrían las sanciones o medidas de tipo administrativo a quienes no respeten o se ajusten a las reglas. El análisis o evaluación de impacto ambiental es el estudio que concluye con el Manifiesto de Impacto Ambiental (MIA), misma que se aprueba o rechaza por parte del organismo estatal (Capítulo III).

El estudio de Mecánica de Suelos, proporciona datos más confiables de las condiciones del subsuelo, como la capacidad de carga para no sobrepasar los límites de resistencia, los asentamientos probables, el perfil estratigráfico y sugerencias acerca del sistema de cimentación. Las muestras que se obtienen durante la exploración, tanto alteradas como inalteradas son trasladadas al laboratorio, donde son identificadas mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y obtenemos las propiedades mecánicas de los diferentes estratos de interés (Capítulo IV).

El pavimento es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de varias capas de distintos materiales destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén. Antes de 1990 la construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México fue muy escasa sobre todo en la red carretera, se debe a que nuestro país es un importante productor de petróleo y en consecuencia de asfalto. Otro factor importante es que cuando se diseñaron los caminos de México para el tránsito que se pensaba tendrían que soportar, los pavimentos de asfalto eran lo suficientemente resistentes. Actualmente en algunos caminos en México se presentan altos volúmenes de tránsito (TDPA) y un gran porcentaje de vehículos con carga pesada, que los pavimentos de concreto asfáltico no pueden soportar, por ello en la actualidad se opta por el diseño de pavimentos con concreto hidráulico, o pavimento rígido como se le conoce más comúnmente.

La sección transversal típica de un pavimento rígido cuenta con los siguientes elementos estructurales: una losa de concreto como superficie de rodamiento y acotamientos laterales, los cuales podrán ser también de concreto o de algún otro material no erosionable. La sub base, que puede ser de concreto pobre, base hidráulica estabilizada con cemento o asfalto o simplemente de agregados pétreos. Por último, el terreno de cimentación y/o subrasante estarán contruidos por materiales predominantes en la región y con tratamiento acorde al proyecto y las especificaciones particulares. De las funciones que desempeñan cada uno de los elementos estructurales, la losa es el elemento principal debido a que absorbe la mayor parte de los esfuerzos del pavimento,

transmitiéndolos a las capas inferiores de manera disminuida. Al diseño del espesor de losa es donde enfocamos nuestro estudio en el capítulo V.

El pavimento de concreto estampado es una excelente e innovadora alternativa para sustituir los pavimentos tradicionales construidos a base de piedra, adoquines y asfalto, entre otros.

Este tipo de pavimento se elabora con concreto hidráulico, el cual es modelado para ofrecer diversas texturas y colores, con una apariencia diferente, más moderna y segura, que además optimiza los costos de material y reduce el tiempo y uso de mano de obra.

El procedimiento de construcción de un pavimento estampado es igual al de uno de concreto convencional, con la diferencia de que después del acabado del mismo, se le integra el colorante superficial que sirve además como endurecedor, posteriormente se aplica el desmoldante para evitar la adherencia entre el molde y el concreto, que además sirve como membrana de curado y finalmente se estampa mediante moldes con patrones y texturas diversas.

Actualmente, el diseño de pavimentos se ejecuta de acuerdo con los métodos de diseño de pavimentos más usados a escala mundial: el de la Asociación Americana de Oficiales del Estado en Carreteras y Transportes (American Association of State Highways and Transportation Officials, AASHTO) y el de la Asociación del Cemento Portland (Portland Cement Association, PCA). Asimismo tiene amplia aplicación el de la Administración Federal de Aviación (Federal Aviation Administration, FAA) para el caso de aeropuertos.

Se han desarrollado nuevas tecnologías de construcción de pavimentos rígidos como la Pavimentación con cimbra deslizante y la Pavimentación con cimbra fija, con la finalidad de mejorar sustancialmente el comportamiento y la comodidad de los caminos. Ambas formas de pavimentación se pueden utilizar indistintamente, sin embargo, la cimbra deslizante se utiliza comúnmente en autopistas, carreteras y avenidas urbanas importantes, y la cimbra fija en pavimentos urbanos.

La primer etapa de construcción de pavimentos rígidos es la producción del concreto, que en el caso del proyecto, Conjunto Habitacional San Bernardino, será con cimbra fija y el concreto se produce en plantas de mezclado central, es decir en plantas en donde el concreto es mezclado totalmente en planta y se transporta al sitio de pavimentación mediante camiones de volteo. Es importante mencionar que el concreto en las plantas de mezclado central es un concreto de revenimiento bajo (4-6 cm. aproximadamente) por lo que en el transporte de camiones de volteo no se corre el riesgo de segregación. En proyectos urbanos con cimbra fija, normalmente el concreto se produce en plantas dosificadoras y es mezclado en camiones revolventes durante el trayecto al sitio de pavimentación, en estos casos el concreto tiene revenimientos más altos (del orden de 10 - 12 cm.).

Después sigue el tendido del concreto para darle el espesor y el nivel requerido por el proyecto. En nuestro proyecto esto lo hace la máquina de cimbra fija, con la regla o rodillo vibratorio que se apoya sobre la cimbra fija. Lo importante del tendido es que deberá dar el nivel de superficie terminada, así como el vibrado y compactación del concreto en estado fresco.

El acabado micro y macro texturizado se da al concreto a medida que éste va perdiendo plasticidad, es decir a medida que se va endureciendo, mediante el arrastre de una tela de yute húmeda en el sentido longitudinal del colado, así como con el paso de un cepillo que deja huellas de 3 a 5 mm de profundidad en el sentido transversal del colado, con el objetivo de dar las propiedades antiderrapantes del pavimento de concreto hidráulico, así como de proveer unos canales de salida del agua superficial en la carpeta terminada,

eliminando así la presencia de una película de agua entre las llantas y la superficie de rodamiento que produce los derrapamientos.

Otra etapa importante en la construcción de pavimentos rígidos es el corte de los mismos. Todo pavimento rígido requiere la creación de cortes en tiempo, forma y geometría adecuadas en el sentido transversal y longitudinal para crear la configuración de diseño, que controlen el fenómeno de contracción por secado del concreto.

# CAPÍTULO I

## *URBANISMO*

### **I.1 URBANISMO CONCEPTOS E HISTORIA.**

Toda forma de la materia tiene una historia. Esta proposición no resuelve el problema del conocimiento de una determinada realidad. Por el contrario, lo plantea. Ya que para leer esta historia, para descubrir sus leyes de estructuración y de transformación, hay que descomponer, mediante el análisis teórico, lo que está ya dado en una síntesis práctica. Sin embargo es útil fijar los contornos históricos de un fenómeno antes de abordar su investigación o, en otros términos, parece más prudente abordar esta investigación partiendo de una falsa inocencia teórica, "yendo a ver", con el fin de descubrir el problema conceptual que se plantea siempre que intentamos aprehender. En este sentido, el estudio de la historia del proceso de urbanización parece la forma más adecuada de abordar la cuestión urbana.

En efecto, parece claro que el proceso de formación de las ciudades está en la base de las redes urbanas y condiciona la organización social del espacio. Sin embargo, la mera presentación global y sin especificación de una tasa de crecimiento demográfico, tan sólo conduce a fundir en un mismo discurso ideológico la evolución de las formas espaciales de una sociedad y la difusión de un modelo cultural a través de una dominación política. Los análisis del proceso de urbanización se sitúan generalmente en una perspectiva teórica evolucionista, según la cual cada formación social se va produciendo, sin ruptura, por desdoblamiento de los elementos de la formación social anterior.

Explicar el proceso social que fundamenta la organización del espacio no se reduce a situar el fenómeno urbano en su contexto. Una problemática sociológica de la urbanización debe considerarse como proceso de organización, desarrollo y en consecuencia, partir de la relación entre fuerzas productivas, clases sociales y formas culturales (el espacio, entre ellas). Tal investigación no puede tan sólo actuar en abstracto. Tiene que; con ayuda de útiles conceptuales, explicar situaciones históricas particulares, suficientemente ricas como para hacer aparecer las líneas de fuerza del fenómeno estudiado, la organización del espacio.

En la maraña de sutilezas definitorias con que nos han enriquecido los sociólogos, pueden distinguirse dos conjuntos bien distintos de acepciones del término urbanización.

1. La concentración espacial de la población a partir de unos determinados límites de dimensión y densidad.
2. La difusión del sistema de valores, actitudes y comportamientos que se resume bajo la denominación de "cultura urbana".

Si nos atenemos a esta distinción, sin perjuicio de establecer después relaciones teóricas y empíricas entre las dos formas espacial y cultural podemos apoyarnos, por el momento, en la definición de H. T. Eldridge. Este caracteriza la urbanización como un proceso de concentración de la población, en dos niveles:

- 1) La multiplicación de los puntos de concentración.
- 2) El aumento en la dimensión de cada una de esas concentraciones.

En esa perspectiva, el término urbano designará una forma particular de ocupación del espacio por una población, o sea, la aglomeración resultante de una fuerte concentración y de una densidad relativamente elevada, que tendría, como correlato previsible, una diferenciación funcional y social cada vez mayor. Pero una vez dicho esto, cuando se

quiere utilizar directamente esta definición teórica en un análisis concreto, empiezan las dificultades: a qué nivel de densidad y de dimensión puede considerarse urbana una unidad espacial de población ¿Cuáles son, en la práctica, los fundamentos teóricos y empíricos de cada uno de los criterios?

De lo anterior se desprende que no es buscando definiciones de escuela o criterios de práctica administrativa como llegaremos a una delimitación válida de nuestros conceptos. Por el contrario, será precisamente el análisis rápido de algunas relaciones históricamente establecidas entre espacio y sociedad lo que nos permitirá fundar objetivamente nuestro estudio.

Las investigaciones arqueológicas han demostrado que los primeros asentamientos sedentarios y relativamente densos de la población humana (Mesopotamia, hacia el 3500 a.C., Egipto, 3000 a.C., China e India, 3000-2500 a.C.), se sitúan al final del período neolítico, allí donde el estado de la técnica y las condiciones sociales y naturales del trabajo permitieron a los agricultores producir más de lo que ellos mismos necesitaban para subsistir. A partir de este momento, se desarrolla un sistema de repartición y distribución del producto, expresión y muestra de una determinada *capacidad técnica* y de un determinado nivel de *organización social*. Las ciudades son la forma de residencia adoptada por aquellos miembros de la sociedad cuya permanencia directa sobre el lugar del cultivo no era necesaria. Es decir, que estas ciudades no podían existir más que sobre la base del excedente producido por el trabajo de la tierra. Son los centros a la vez religiosos, administrativos y políticos, y representan la expresión espacial de una complejidad social determinada por el proceso de apropiación y reinversión del excedente de trabajo. Manifiestan, por tanto, también un nuevo tipo de sistema social, pero que no es diferente o sucesivo del tipo rural, sino que está estrechamente ligado al mismo en el proceso social, es el reverso de la misma moneda en términos del proceso de producción de las formas sociales, aunque desde el punto de vista de las formas de relación social, sean dos tipos diferentes.

Leyendo estos datos en un orden teórico queda bastante claro que la ciudad es el lugar geográfico donde se instala la superestructura político-administrativa de una sociedad que ha llegado a un tal grado de desarrollo técnico y social (natural y cultural) que ha hecho posible la diferenciación del producto entre reproducción simple y ampliada de la fuerza de trabajo, y por tanto, originado un sistema de repartición que supone la existencia de:

- 1) Un sistema de clases sociales.
- 2) Un sistema político que asegure a la vez el funcionamiento del conjunto social y la dominación de una clase.
- 3) Un sistema institucional de inversión, en particular en lo referente a la cultura y a la técnica.
- 4) Un sistema de intercambio con el exterior.

Este rápido análisis nos presenta el fenómeno urbano articulado a la estructura de una sociedad.

Así, las ciudades imperiales de los primeros tiempos históricos, y en particular Roma, acumulan las características descritas con las funciones comerciales y administrativas, derivadas de la concentración en una misma aglomeración de un poder ejercido mediante la conquista en un vasto territorio. Del mismo modo la penetración romana en otras civilizaciones adopta la forma de una colonización urbana -asentamiento de funciones a la vez administrativas y de explotación mercantil-. La ciudad no es, por tanto, un lugar de producción, sino de gestión y dominación, ligado a la primacía social del aparato político-administrativo.

Consecuencia lógica, el fin del Imperio Romano en Occidente supuso la pérdida de la base social expresada por la forma espacial ciudad, puesto que sus funciones político-

administrativas se perdieron y que, rotos los lazos con el campo, por cesión de la dominación social a los señores feudales, no hubo otra justificación de la existencia de ciudades, salvo, eventualmente, el sostén de la autoridad eclesiástica o la colonización de regiones fronterizas.

La ciudad medieval renace a partir de una nueva dinámica social incluida todavía en la estructura social que la precedía. Es decir, concretamente, la ciudad medieval nace de la unión de una fortaleza preexistente en torno a la cual se había organizado un núcleo de habitación y de servicios, y de un mercado, sobre todo a partir de las nuevas rutas comerciales abiertas por las cruzadas. Sobre estas bases se organizan instituciones político-administrativas propias de la ciudad y que le dan una consistencia interna y una mayor autonomía con relación al exterior. Es precisamente esta especificidad política de la ciudad lo que hace de ella un mundo en sí mismo y define sus fronteras como sistema social. La ideología de pertenencia a la ciudad, prolongada incluso hasta ya avanzada la sociedad industrial, se fundamenta históricamente en este tipo de situación.

Esta autonomía político-administrativa es común a la mayoría de las ciudades que se desarrollan en la Baja Edad Media. Sin embargo, las formas concretas, sociales y espaciales, de estas ciudades, dependieron muy estrechamente de la coyuntura de las nuevas relaciones sociales que surgieron de las transformaciones producidas en el sistema de distribución del producto. En efecto, lo característico es la creación, frente al poder de los señores feudales y discutiendo su autoridad sobre el modo de distribución, de una clase mercantil que rompe el sistema vertical de distribución del producto, establece lazos horizontales entre los productores, a través de su papel de intermediario, rebasa la economía de subsistencia y acumula autonomía suficiente para invertir en la producción manufacturera.

La ciudad medieval representa las franquicias de la burguesía mercantil en su lucha por emanciparse de la nobleza feudal y del poder central. Su evolución es, pues, muy diferente según el tipo de lazos que se establecen entre burguesía y nobleza. Así, allá donde estos lazos fueron estrechos, también lo fueron los lazos entre la ciudad y el territorio circundante (campo dependiente de los señores feudales). Y viceversa: el conflicto de estas clases trajo consigo el aislamiento urbano.

Desde otro punto de vista, la contigüidad o separación geográfica entre las dos clases influyó en la cultura de las ciudades, en particular en lo que respecta al consumo y al ahorro: la integración de la nobleza con la burguesía permitió a la primera organizar el sistema de valores según su modelo aristocrático, mientras que en aquellas ciudades en que la burguesía hubo de mantenerse en un mundo propio, resistiendo a las reacciones del feudalismo, se estrechó la comunidad entre los ciudadanos, lo cual suscitó nuevos valores, expresados particularmente en el espíritu de ahorro y de inversión; a ello conducía la lógica de su situación en la estructura social, ya que, cortados de las fuentes de suministro, su capacidad financiera y de producción manufacturera constituían la única garantía de supervivencia.

Del mismo modo podría analizarse la evolución del sistema urbano de cada país según las relaciones triangulares burguesía-nobleza- poder real. Así, por ejemplo, el menor desarrollo de las ciudades comerciales españolas con respecto a las alemanas o italianas durante los siglos XVI y XVII, se explica por su papel de mera correa de transmisión entre la Casa Real y el comercio de Indias, en contraste con las ciudades italianas y alemanas, definidas autónomamente con respecto al emperador o a los príncipes de las cuales eran tan sólo aliados ocasionales.



## I.2 INFLUENCIA DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL AL URBANISMO.

Contrariamente a una visión muy extendida, el desarrollo del capitalismo industrial no provoca el fortalecimiento de la ciudad, sino su casi total desaparición como sistema institucional y social relativamente autónomo y organizado en torno a objetivos propios. Efectivamente, la constitución de la mercancía como mecanismo base del sistema económico, la división técnica y social del trabajo, la diversificación de los intereses económicos y sociales en un espacio más amplio, la homogenización del sistema institucional, ocasionan la desaparición de la fusión entre una forma espacial, la ciudad, y la esfera de la dominación de una determinada clase social, la burguesía. La difusión urbana equivale justamente a la pérdida del particularismo ecológico y cultural de la ciudad. De este modo, el proceso de urbanización y la autonomía del modelo cultural *urbano* aparecen como dos procesos paradójicamente contradictorios.

La urbanización ligada a la primera Revolución Industrial se inserta en el desarrollo del modo de producción capitalista, es un proceso de organización del espacio que encuentra su base en dos conjuntos de hechos fundamentales:

1. La descomposición previa de las estructuras sociales agrarias y la emigración de la población hacia los centros urbanos ya existentes. proporcionando la fuerza de trabajo esencial a la industrialización.
2. El paso de una economía doméstica a una economía de manufactura y después a una economía de fábrica, lo que significa al mismo tiempo la concentración de mano de obra, la creación de un mercado y la constitución de un medio industrial.

Las ciudades atraen a la industria justamente por estos factores esenciales (mano de obra y mercado), y a su vez la industria atrae nueva mano de obra y nuevos servicios.

Pero el proceso inverso también es importante: allí donde hay facilidades de funcionamiento, y en particular de materias primas y medios de transporte, la industria coloniza y suscita la urbanización.

En ambos casos, el elemento dominante es la industria, que organiza enteramente el paisaje urbano. Ahora bien, la industrialización no es un puro fenómeno tecnológico, sino que se produce en un modo de producción determinado, el capitalismo, cuya lógica refleja. El desorden urbano no es tal desorden, sino que representa la organización espacial suscitada por el mercado y derivada de la ausencia de control social de la actividad industrial. La racionalidad técnica y el predominio de la tasa de ganancia conducen, por un lado, a borrar toda diferencia esencial inter-ciudades y a fundir los tipos culturales, en el tipo generalizado de la civilización industrial capitalista; por otro lado, a desarrollar la especialización funcional y la división del trabajo en el marco geográfico, y por tanto, a crear una jerarquía funcional entre las aglomeraciones urbanas. El juego de las economías externas tiende a crear un proceso acumulativo, no controlado socialmente, en las grandes aglomeraciones.

Finalmente, la problemática actual de la urbanización gira en torno a tres datos fundamentales y a una cuestión candente:

1. La aceleración del ritmo de *urbanización* en el conjunto del mundo.
2. La concentración de este crecimiento urbano en las regiones llamadas subdesarrolladas, sin correspondencia con el crecimiento económico que acompañó la primera urbanización en los países capitalistas industriales.
3. La aparición de nuevas formas urbanas, y, en particular, de grandes metrópolis.
4. La relación del fenómeno urbano con nuevas formas de articulación social nacidas del modo de producción capitalista pero que tienden a superarlo.

Hasta la Revolución Industrial, la problemática giraba en torno al diseño formal y esta tendía a la gran construcción. Entrado el siglo XIX, los procesos analíticos propios de la Revolución Industrial y de las ciencias biológicas, físicas y sociales, cuestionaron la necesidad de un punto de vistas verdadero. Al escribir Hudnut su introducción al texto

publicado por el Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) en 1942, se refiere a la arquitectura como una especial cualidad de orden, con base más firmes que una lógica de la forma, una recompensa más profunda que una experiencia estética y de una arquitectura que asume el verdadero carácter y dirección de nuestra cultura cívica en evolución.

Considerar a la ciudad como un objeto formal era un enfoque clásico. En el comienzo de su Discurso del Método. Descartes describía a la ciudad perfecta: «...tan geométrica y regular como un plano de arquitecto...» Desde este enunciado cartesiano se prefiguró la concepción racionalista y abstracta de la ciudad del Barroco y la transición ecléctica que la continuó hasta su agotamiento como modelo al aparecer la Revolución Industrial. Las bases del cuestionamiento que se inicia en nuestro siglo con el CIAM sobre la ciudad formal de los siglos anteriores, se presentan elocuentemente en el texto introductorio de J Hudnut.

El orden y la serenidad que habían descubierto en el Partenón y en las columnatas de los foros de Augusto y Trajano, expandidos en la más vasta trama de las ciudades, deberían dar forma plástica a esta lógica cartesiana que se había expandido por Europa con la fuerza lenta e irresistible de un glaciar. La estructura de las ciudades podría ser analizada tan fríamente como las abstracciones de la geometría y resulta tan exactamente en sus partes componentes. Estas, habiendo sido purificadas en todo lo que podría ser iluminado por la razón, podría ser rearmadas en los cielos matemáticos, tan claras como un cristal. Después de esto, la vida del hombre, habiendo sido sometida a una purificación, conmensurable –habiendo sido liberada del error llamado pasión y de ese accidente llamado crecimiento- podría ser invitada por los arquitectos a asumir en sus frescos teatros el medido, bien proporcionado y grácil compás que es lógicamente su destino.

«...No fue a menudo, ni siquiera en el siglo XVIII, que la idea pudiera escapar de la tinta y papel, a la piedra y espacio. Sin duda alguna, modeló un fragmento de París, y ayudada por accidente, soldó el pabellonado Louvre a la Plaza de la Concordia y a la Plaza de L'Etoile y sabemos cómo en Nancy le dio unidad espacial a las gráciles plazas de Hervé de Cerny. Pero la calidad del orden aquí establecido no penetró las vastas zonas sin orden que envolvían a estos oasis de paz geométrica...»

¿Cómo puede suceder que este ideal de forma cívica tan persistente a través del siglo XIX, esta perfecta ciudad planificada y dibujada en innumerables documentos, haya dejado una huella tan débil y tan equívoca en el mundo actual? Las demandas que hizo sobre nuestra imaginación son suficientemente evidentes; las satisfacciones estéticas que permitió, no pueden haber sido totalmente ilusorias; y la lógica de la cual provenía, era por lo menos hasta el momento, sin fallas.

Nunca llegaría el día en que los hombres no deseen sobrepasar su mundo desordenado y fragmentario con un esquema coherente y finito de las cosas, o edifiquen su Versalles privado, protegido contra el mundo y la incertidumbre. Tampoco podemos descubrir el origen de nuestra falla en la idea y principio de la arquitectura, cuyas antiguas promesas permanecen, incluso en este torturado momento, tan válidas como siempre. Para persuadirnos de esto, tenemos sólo que entrar a los portales de la Catedral de Chartres.

El problema esta, creo, no en la arquitectura sino en una arquitectura que no tiene una base más firme que una lógica de la forma, y una recompensa no más profunda que una experiencia estética. Lo infructuoso del ideal que se cristalizó en París, en el Plan de Washington, en toda la suntuosa tradición del Renacimiento, no surge de una falla de expresar lo que se intentaba expresar, sino más bien de los que se ha excluido de la expresión. Estaba emborricado por su propio principio de las más profundas fuentes de la vitalidad en las artes. Su autoridad y su estilo, su invención y color, su ocasional

fantasía, no se construyeron desde la experiencia sino desde el pensamiento, y aparecen planas y escasas al ser comparadas con las demandas que el alma hace a la arquitectura. Arte, Técnica y Sociedad hasta la Revolución Industrial se habían dado como vertientes unidas del proceso cultural. A partir de esta época, aparecen en conflicto, sujetas a las ideologías y los contenidos estéticos y científicos que caracterizarán la historia moderna. La arquitectura en este contexto, entra al centro de una batalla ideológica -que dura hasta ahora- sobre su propio sentido e identidad.

Sin embargo la nueva realidad social y económica de Europa en rápida urbanización y desarrollo industrial, irrumpe en el hecho como el fundamento de nuevos conceptos y perspectivas sociales y estéticas. La historia avanzaba rápidamente, en todas las esferas: la Comuna de París en 1848, la unificación alemana e italiana desde 1870, y la guerra franco-prusiana, el desarrollo de los imperios coloniales de las grandes potencias europeas en África y en Asia, la Primera Guerra Mundial y, finalmente, la Revolución de 1917 en Rusia, trasladan toda cuestión estética y filosófica a percibir un final de un período y a ser parte del nuevo espíritu de la época, que surgía de todas estas convulsiones.

Las ideas que surgen de este período son muy importantes para el desarrollo del urbanismo. El conflicto entre Artes Decorativas y Arquitectura, por un lado, y la Técnica por el otro, aparece abierto y franco. El modo de hacer, es lo primero que se ve afectado por la cambiada realidad de la producción industrial. El contenido cultural del objeto hecho, en escultura, arquitectura o diseño urbano, en la etapa previa a la Revolución Industrial era tradicionalmente unitario. Se hacía de un modo artesanal similar, y la escala de producción variaba desde el mueble a la casa, o de la estructura singular de una escultura a la sumatoria total de la catedral gótica. Sólo era posible en el tamaño y la relativa mayor complejidad de materiales y procesos, establecer algunas diferencias en el arte, que se resumían sobre todo, en diferencias de estilos.

En la etapa pre-industrial, desde siglos existieron como protagonistas de la factura de objetos útiles o estéticos el artesano y el artista, pero eran difícilmente separables. Se resalta en el caso de Miguel Ángel y de Leonardo. El taller de producción no se diferenciaba del taller del artista. La libertad de trabajo y la supresión de las corporaciones medievales se inician en Francia por la Revolución de 1789, y ésta, apenas se anticipa a la Revolución Industrial que se gesta en Inglaterra y Francia, especialmente en el siglo XIX. En Inglaterra, los primeros opositores a las máquinas, los luditas, no fueron artistas; fueron obreros corporativistas. De allí que el cambio que implicó la industria fue asimilado difícilmente por la sociedad del siglo XIX.

Sin embargo, de aquí en adelante la máquina llegó a ser inevitable en todas las esferas. Afectaría al modo de organización de la sociedad, permitiría la producción masiva, la acumulación de capital, la explotación de nuevas materias primas y territorios. Surgiría el proletariado industrial, y en la ciudad industrial, encontraría su marco deprimente y exploratorio, se llegó a organizar una ciudad paternalista y utópica con base en la industria, como sería en las Company Towns de Pullman o las utopías socialistas de Owen, o los Falansterios de Cabet y Fourier en Francia.

Después del Arts and Crafts, hacia 1920, el Jugendstijl (estilo joven) o el Art Nouveau (arte nuevo), intentaron encontrar un camino en que el arte, la producción y la arquitectura, incorporen nuevas formas y materiales. Pero se remitió a una formulación estilística y refinada en formas orgánicas, motivos decorativos y materiales eclécticos.

La dificultad y el enmarcamento teórico y metodológico en arquitectura se perfilaron desde el siglo XIX, con la separación gradual entre arquitectura e ingeniería, que se acentuó con la Revolución Industrial. Se centro en problemas referidos a la arquitectura de las ciudades, que superaron los códigos estéticos formales y el valor representativo

que alcanzó la gran arquitectura urbana del Barroco y Neoclásico de los siglos XVII hasta fines del XVIII. Especialmente el *urbanismo* de las capitales europeas que, desde la reconstrucción de Londres después del incendio de 1666, a los grandes esquemas urbanos realizados por las monarquías absolutas de Europa, como son Roma, Versalles, Nancy, Karlsruhe, Postdam y San Petersburgo, se mantienen inmovilizados como modelos de la ciudad Clásica hasta la era industrial. Esto sucede especialmente en Occidente. En otras culturas, los procesos históricos fueron diferentes, y si bien el modelo occidental se extenderá por toda la época moderna, su lógica formal y técnica no será mantenida.

El caso americano merece una referencia aparte. Salvo algunos casos excepcionales, en Iberoamérica se generalizó la práctica de un modelo único que es el damero, desde el inicio de la Colonia. En Norteamérica con algunas excepciones de modelos espontáneos o con referencias medievales, como es el caso de Boston y Québec, encontramos variantes del mismo patrón reticular en Philadelphia, Nueva Orleans y Nueva York.

El siglo de la máquina. A partir del siglo XIX el crecimiento de las grandes ciudades industriales dentro de un proceso general de urbanización, es el fenómeno más destacado dentro de las situaciones del urbanismo. La ciudad de la época industrial fue una ciudad en crisis. Fue el momento en que ciudad, sociedad, tecnología y cultura se enfrentan a una transformación radical. Desde este momento el cambio urbano es total y violento. La funcionalidad y racionalidad requeridas para abordar la arquitectura urbana se truncan en una estratificación social y un formalismo urbano acentuado.

El desorden urbanístico en la estructura física de ciudades inglesas, como Birmingham y Manchester, se produjo desde que se localizó en ellas la producción fabril y las fundiciones de hierro, la vivienda obrera y el mercado consumidor. Los centros urbanos se convierten en ciudades-usinas, donde la población vive, comercia y se educa, pero bajo condiciones de *higiene, vivienda y equipamiento* supeditados todas al darwinismo industrial: la supervivencia de los más aptos.

Como consecuencias, quizá nunca una época anterior incluyó tantos movimientos sociales, políticos y culturales y de consecuencias tan inmediatas y globales. Sobre todo, la gran crisis social que surge en el siglo XIX; las masas urbanizadas se convierten en un proletariado industrial naciente, que se desata y convulsiona con las nuevas ideologías de la revolución socialista que encabezó el nuevo siglo. Algunos piensan que están en el principio de una gran reforma, comenta Gideon, «...otros, al contemplar la situación desastrosa que los rodea, creen que se hallan en el límite final de una época...». Quizá es que ambos aspectos se reúnen. Es verdaderamente la final de la era paleotécnica. La tecnología del acero, la energía del vapor y el proceso de socialización comienzan a enmarcar al mundo, que se irá urbanizando impulsado por el dinamismo de la ciudad industrial.

Técnica versus estética urbana. En las ciudades industriales los problemas se tornaron más complejos y masivos. La situación del urbanismo y de la arquitectura se hizo más incierta de abordarlos. Entre la arquitectura urbana y la técnica, se agudizó el quiebre: la urbanística era formal y de tipo puramente representativo. En las nuevas capitales. La arquitectura suple la falta de fundamento social, con soluciones decorativas y la monumentalidad. En las ciudades industriales, el criterio es abiertamente utilitario y la arquitectura queda sometida a las necesidades de la industria: grandes concentraciones de usinas rodeadas de colmenas, de barrios para obreros.

Al arquitecto de la época no le interesaron los problemas de la ciudad, pues como describe Gideon, él todavía se considera un artista. Ante las necesidades de tipo técnico y económico que se tornan en fundamentales, se encontraba impotente. El prefecto de París, Hussman, refiriéndose al Plan de París, que es posiblemente la realización en

urbanismo más importante de la época, escribe que los arquitectos como artistas no demostraban interés alguno por los gastos. Y además, podría añadirse que, generalmente no sabrían hacer un presupuesto aproximado ni poseían las condiciones requeridas para comparar y comprobar una factura.

Se separaron, por un lado, la obra funcional expresada directamente por una solución técnica, y por el otro, la obra como objeto decorativo; una especie de arquitectura de pastelería que culminaría en arqueología de estilos. Sin embargo, la potencialidad de la técnica y de la industria fue aplicada a ciertos elementos, y por esto, las grandes e importantes construcciones de este siglo son fábricas, puentes, algunos grandes edificios, bibliotecas, museos, las estaciones de ferrocarriles, la Torre Eiffel en París, etc.

### **I.3 NACIMIENTO Y EVOLUCIÓN DEL URBANISMO.**

El arte y el fenómeno estético europeo, aparentemente habían sido catalogados y definitivamente codificados por las Academias. El Neoclásico y los revivals utilizaban los mismos elementos, con variaciones de forma, desde hacía 300 años. Después de Palladio, lo que concernía a las ciudades y a la arquitectura, meros problemas temáticos y de composición formal. La sociedad europea del siglo XIX logra mantener una especie de inmovilismo estético hasta fines del siglo. Desde ese momento, la Primera Guerra barrió con esta situación, congelada en esquemas formales y composicionales.

Esta época industrial, que descubre la técnica, necesitó expresar el sentimiento de poder de la máquina y de la industria. De aquí, nacen las grandes Exposiciones Internacionales, el proyecto de Bogardus, para la Feria de Nueva York, con una torre de 90 metros; las Exposiciones de París de 1855, la de Londres de 1862, las de París de 1867 y 1878. De aquí surgen algunos esquemas urbanísticos, especialmente después de la Feria Mundial de Chicago, de 1893, en que Burnham actúa de arquitecto, y que resume los postulados formales composicionales de la etapa.

La palabra urbanismo aparece a comienzo de este siglo. El *urbanismo* tuvo su antecedente en el grupo de arquitectos de la escuela de Viena, de fines del siglo XIX y especialmente se origina en el grupo de pioneros de varias disciplinas que se congregaron en el Congreso de Londres de 1910. Asistieron a él, Geddes, Struben, Bonnier, Howard y Burnham, entre otros. Fue en este congreso donde la palabra urbanismo apareció por primera vez. Sus primeros miembros, provenientes de diversos países especialmente de Europa.

En esta primera reunión internacional de urbanistas, en el Congreso de Londres, Daniel Burnham, el más importante arquitecto norteamericano del período, describió así su impactante proyecto para la Feria Exposición Mundial: la inserción de la gran planificación de edificios públicos y paisajes en los Estados Unidos, comenzó en la Feria Mundial de Chicago. La belleza de su distribución y de su construcción hizo una profunda impresión, no sólo en el sector más educado de la comunidad, pero quizá más aún sobre las masas, y esta impresión ha sido perdurable.

Desde el Plan de la Feria al Plano de Chicago de 1909, a los planes de Manila, Cleveland y San Francisco, Burnham se constituyó en uno de los más notables realizadores del naciente urbanismo. El Plan de la Exposición de Chicago, con sus brillantes edificios, dispuestos simétricamente en torno a un patio de honor, con sus cúpulas y sus columnas clásicas, dejó una imagen y un modelo perdurable. El esquema clásico se mantendría en la estética urbana como el patrón del orden. Y la organización estaría orientada todavía por factores preceptuales y de composición estilística.

El virus de la feria Mundial, después de un período de incubación, comenzó a mostrar signos inequívocos del contagio. Apareció violentamente con el estilo Clásico y del Renacimiento en el Este, y se extendió lentamente al Oeste, contaminándolo todo. De este modo murió la arquitectura en la tierra de los libres –en una tierra que declaraba su ferviente democracia, su inventiva, su ingeniosidad, su osadía única, su espíritu de empresa y progreso. De este modo, el virus de una cultura, pedante y extranjera a esta tierra, realizó su trabajo de desintegración.

Las exposiciones de urbanismo. A partir de 1910 se organizan en Europa grandes exposiciones Internacionales de planeamiento de ciudades. Berlín, Londres y Dusseldorf, son las primeras ciudades que las acogen. Permitieron confrontar diversos métodos y realizaciones que se llevan a cabo.

El urbanismo inicial se desplazó en varias líneas metodológicas. Incluyendo implementaciones económicas y administrativas sólo en algunos países europeos, especialmente en Inglaterra y Holanda, que a partir de 1900, presentan un periodo de gran desarrollo y actividades de construcción y renovación de ciudades. También se produjo una tradición metodológica importante en Suecia, en que desde 1874 se exigía planos reguladores.

Sin embargo, en las Escuelas de Arquitectura de Francia, determinadas por los estilos estilísticos del Meaux Arts, se mantuvo una concepción formalista del diseño arquitectónico de ciudades, dándose el caso en este país, en los primeros años de este siglo, de una total separación entre las disciplinas de ingeniería, con sus aspectos administrativos, físicos, técnicos y financieros, y la arquitectura de Bellas Artes, que siguió una corriente monumentalista oficial o se orientó sólo a problemáticas estilísticas y estéticas, incluso después de los intentos de la reforma del CIAM, desde 1930.

Estos movimientos en arquitectura, son destacados en menor grado en urbanismo: el Futurismo, el Jugendstijl, Esprit Nouveau, el Constructivismo, Expresionismo y Bauhaus, son algunos de ellos. Este hecho no ocurría de un modo tan total en Europa, posiblemente desde el Renacimiento. La preocupación central de los nuevos movimientos que surgen, además de orientarse al diseño de ciudades y el planteamiento de nuevos métodos, se dirigió a una crítica radical de la situación imperante y al planteamiento de nuevos principios sociales.

Estos principios son de carácter global, y utopista: se rechaza totalmente una situación histórica anterior y se propone una nueva alternativa que impulsará a la humanidad desde la técnica a la organización social y política.

El arte entra a ser expresión directa de una acción colectiva, la cual es expresión de las nuevas ideologías y un Nuevo Espíritu o Nuevo estilo que se extiende por toda Europa, desde Rusia, Holanda, Checoslovaquia, Italia, Francia, Cataluña y Alemania. Aparecen como expresión de estas inquietudes el Jugendstijl en Alemania, el Esprit Nouveau en Francia, el Futurismo en Italia, el Constructivismo en Rusia.

La situación europea de la post-guerra, especialmente en Europa Central, Francia y Alemania, y la Revolución Rusa, a partir de 1917, lleva a la gestión de diversos movimientos sociales y políticos, concurrentes con el surgimiento de los nuevos métodos de producción industrial, y las nuevas concepciones estéticas. La globalidad del fenómeno es acentuada por los ajustes políticos que acompañan al período, especialmente en Francia, Alemania y Rusia. Globalidad que se radicalizó y llevó a la utopía. El utopismo llevó a las declaraciones más ingenuas, a las actitudes más idealizadas, y a cambios radicales en todas las esferas: a la revolución socialista y comunista.

El utopismo llegó a su extremo en el período inicial de los Soviets, en que se bordeó la anarquía social en los años inmediatos a la revolución de Octubre. Pero el arte se abrió

límpicamente a la nueva realidad; a la revolución, a la industria, a la técnica, a los puentes, a las torres de acero. Majakovsky, el gran poeta ruso, después de su visita a los Estados Unidos en 1919, describe a Chicago entusiasmado: vi a la ciudad toda electro, dinámica-mecánica.

El radicalismo implica la presencia de un cambio total y definitivo con la tradición. Una nueva estética, un nuevo principio social y una nueva humanidad es la que surgiría en la perspectiva de cultura industrial. Así al Constructivismo que surge en 1917, se le define en términos casi absolutos como El Hijo Armonioso de la Cultura Industrial.

Históricamente el Constructivismo nació en la Unión Soviética. Posterior a la revolución de Octubre, en panfletos como el Arte de la Comuna, se proclamó la dictadura futurista del arte, paralelamente a la dictadura política del proletariado. Con el futurismo de Malevic, Tatlin, Kandinsky y Majakovsky, se inició un proceso que orientará toda la arquitectura y urbanismo futuros de Europa.

El lema de los constructivistas rusos se convirtió en un programa: abajo el arte, viva la técnica. El contenido ideológico es explícito. Sobre todo la tectónica, la construcción y el producto, justifican ideológicamente, teóricamente y por experiencia, el cambio de los elementos materiales de la cultura industrial, en volumen, plano, color, espacio y luz. El contenido social y el utopismo revolucionario, también se relacionarían a la arquitectura. Dice un texto de la época: La nueva arquitectura debe basarse sobre los más recientes descubrimientos técnicos y científicos; expresar su contenido socialista, cooperando el ordenamiento de la estructura económico-social y modelar en tal sentido revolucionario la ideología de las masas.

La perspectiva constructivista del urbanismo y del desarrollo en la Unión Soviética, fue hacia un país nuevo; mecanizado, industrial, dedicado al trabajo masivo, lleno de rascacielos, radioestaciones, sobrevolado por aeroplanos. La arquitectura es austera, de gran riqueza formal, con expresión de los esfuerzos mecánicos y el trabajo de los elementos y materiales, o fantasías tectónicas, como las de Lavitsky, ciudades casi enteras todas de vidrio, con edificios colgantes y giratorios espectaculares.

Se produce una fecunda labor en Urbanismo en la Unión Soviética: se crean nuevas ciudades, centros descentralizadores agrícolas y zonas industriales. Los contactos con los urbanistas alemanes se establecen desde 1920; Ernest May (Ciudad Lineal de Magnitogorsk) y Hans Meyer, trabajan en la U.R.S.S. Se estudian varias ciudades satélites y ciudades lineales, como Stalingrado, Electrovoz, Lenikahan. La zonificación estricta, la vivienda en bloques de hasta 2000 habitantes, la integración de funciones agrícolas e industriales, de esparcimiento y áreas verdes, son corrientes de las ciudades del período. La Unión Soviética se mecaniza y electrifica. El progreso se convierte en mística.

Sin embargo, vino la crisis en 1920, cuando en el VII Congreso de los Soviets, fue considerado degeneración burguesa y se atacó a fondo esta depravación y degeneración y se anuncia que el gobierno anula la ayuda prestada a toda la Escuela cubista y futurista. El futurismo y constructivismo devienen en fantasía y fetichismo técnico por la situación de primitivismo en el desarrollo industrial y técnico en Rusia, a diferencia, por ejemplo, de Alemania o la naciente potencia industrial, los Estados Unidos. Antecede a una constante en el tercer Mundo contemporáneo; el desfase entre los movimientos ideológicos, científicos o culturales, y la racionalidad y la autenticidad de objetivos y medios en las sociedades en modernización.

El constructivismo fue acogido entusiastamente en Europa como el arte de la era industrial, los resultados y grados de desarrollo de estas ideas, en tres países claves Unión Soviética, Alemania y Holanda fueron diferentes pero interrelacionados.

Si bien el constructivismo fue especialmente importante en Holanda, la nueva arquitectura y el urbanismo se desarrollaron en plenitud. Los postulados constructivistas se precisaron a través de las obras de Mondrian, Rietveld, Oud y van Doesburg.

De Stijl en 1920, dedicó dos números de la revista a El Lissitsky, el más importante arquitecto constructivista ruso, y luego se encuentran Lissitsky, Mies van der Rohe y van Doesburg en 1922. Ese mismo año, van Doesburg, Karen Maes, Lissitsky, Hans Richter y Max Burchardt, fundan la Internacional Constructivista, en Dusseldorf. En sus declaraciones sostienen: el arte es tanto ciencia como técnica, un método de organización en la vida en su conjunto. La Internacional Constructivista, desde Dusseldorf, se extiende por Alemania, luego Checoslovaquia (M. Pevsner; N. Gabo), Hungría (Molí-Nagy), Bélgica (Karel Maes), y Francia (Le Corbusier). La «estética de la máquina» había sido planteada por Le Corbusier en su «Lechón de la Machina», Francia en 1924.

Los contactos internacionales de la Internacional Constructivista se estrecharon, en 1925, en la exposición de Arte Decorativo en París, la muestra soviética recibe el Gran Prix y causó impacto en toda Europa. En 1929, para el Concurso del Centro Soyuz, el gobierno soviético llamó invitados a los mejores arquitectos de Europa: de Austria, Francia, Inglaterra y Alemania. Este fue ganado por Le Corbusier. Se pide en las bases una demostración de arquitectura contemporánea, basada en las adquisiciones de la ciencia moderna; un año después del concurso para el edificio de la Liga de las Naciones, en Ginebra, que origina la exclusión del notable proyecto del mismo Le Corbusier por razones estilísticas.

Paralelamente a la Internacional Constructivista, que agrupó inicialmente a muchos de sus artistas plásticos y arquitectos, las nuevas ideas pudieron ser llevadas a la práctica en el Bauhaus por su fundador, Walter Gropius y los maestros y estudiantes que constituyeron la asociación en 1919.

Entre 1919 en que aparece el Bauhaus, hasta 1928, en que Gropius deja su dirección, se resalta por la búsqueda de una nueva plástica dentro de las formas de producción artesanal y/o industrial. Una generación que se confirmó después en la fundación del CIAM: Mies, Oud, Le Corbusier, Gropius y Behrens y que consolidan la total renovación de los postulados y métodos de producción en la arquitectura y plástica.

En el Bauhaus, junto a la idea de un arte social o representativo de una sociedad de masas, aparece la idea de función como parte sustancial de una obra arquitectónica y fundamento de la forma. La condición de trabajo cooperativo y la relación del trabajo y estudio de alumnos y profesores en el Bauhaus, surge de la apertura constructivista en una nueva y brillante generación que se desarrolló entre las dos guerras, y que hizo del Arte de la Construcción un instrumento al servicio del cambio social, con una ética social más allá del problema estético puro. Relacionan el arte, la docencia y el trabajo como modo de vida y pensamiento.

La ideología constructivista y funcionalista en esta Escuela, se tornó en programa concreto de acción. Se desarrolló, además, como una base para la formación del artista-artesano, incorporándose a los problemas concretos de la producción industrial y, sobre todo, expresó en el plano del arte y la arquitectura el verdadero renacimiento intelectual y estético que ocurrió en Alemania entre 1920 y 1930. En las ciudades de Alemania, los movimientos de izquierda y la clase obrera políticamente más avanzada de Europa se conjugaron con el desarrollo de la literatura y de las artes. Es notable el hecho de que esto tuviera origen en un país en crisis, como lo era Alemania en aquella época, por la derrota de la Primera Guerra, pero aún así, con una de las más poderosas industrias de Europa.



El Bauhaus rechazó al romanticismo por subjetivo y confuso y se buscó una belleza funcional y ascética, en vez de una auto-indulgencia emocional. Se buscó el trabajo colectivo y de grupo contra el individualismo elitista del artista y del arquitecto tradicional.

En 1928, Gropius debió dejar la dirección del Bauhaus por motivos políticos, en el Bauhaus se trasladó a Dessau y luego a Berlín. En 1933, el nazismo terminó definitivamente con la Escuela y comenzó el éxodo de los maestros a Suiza, Francia, Inglaterra y especialmente a los Estados Unidos. Todos ellos generaron en diferentes países nuevos grupos de trabajo y traspasaron los métodos y principios del Bauhaus. Gropius viajó a Inglaterra, entre 1934 y 1937, fecha en que fue contratado como profesor en la Universidad de Harvard, Estados Unidos. Escuela que reorganizó y dirigió desde 1939 a 1945.

Las huellas y ramificaciones del Bauhaus se multiplicaron: Mies van der Rohe al dejar también Alemania, organizó el Armour Institute en Chicago, entre 1933 y 1937; Moholy-Nagy el Instituto de Diseño de Chicago, en 1943, y ambos, junto a Serge Chermayeff, crearon el IIT., Illinois Instituto of Tecnología, en 1950. Max Bill en 1945, organizó la Escuela Superior de Diseño de Ulm, Alemania, Josef Albers reorganizó el Departamento de Artes Visuales de la Universidad de Yale, Estados Unidos, y en 1955 organizó los cursos de plástica y los Talleres de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Católica de Chile, siendo una de las más importantes conexiones directas con estas raíces que tuvo la arquitectura moderna en Chile.

El Urbanismo en el Bauhaus no alcanzó las proyecciones anteriores. Sin embargo, la influencia se extendió con el desarrollo de proyectos de *vivienda* en Alemania, construidos por arquitectos como el mismo Gropius, o Hans Scharoun, Bruno Taut, Hans Meyer y Ernst May. Plantearon un nuevo enfoque socialmente sensitivo de *vivienda popular*, y en cierto grado contrapuesto a las preocupaciones más estilistas de otras expresiones en la nueva arquitectura, quizás más aristocratizantes e individualistas, como Robie House y Falling Water de F. Lloyd Wright, o una Ville Savoye de Le Corbusier (1929). Ejemplo explícito de esta preocupación, fue el *conjunto habitacional* Weissenhof, en Stuttgart (1927). Fue arquitecto coordinador Mies van der Rohe, y en él participaron Ip. Oud, P. Behrens, Le Corbusier y Gropius, como equipo y desarrollando cada uno un tipo distinto de casas colectivas. Otros ejemplos, especialmente en lo urbanístico, fueron las proposiciones y planes de Le Corbusier, tales como el Plan Voisin, presentado en 1922, la Ciudad Jardín, en Frankfurt, de Ernst May, o las proposiciones de Hilberseimer.

El urbanismo apareció unido con la reforma o el espíritu nuevo de la Arquitectura Europea, que se organizó en torno al grupo del Primer Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) en 1928 y que no vino a disolverse hasta su decimo primer (11°) Congreso en Oterloo, en 1959.

La preocupación por lo urbano se acentuó singularmente después del Segundo Congreso CIAM de 1929, en Frankfurt, sobre la vivienda para el “Mínimo de Existencia” y en el Tercer CIAM de Bruselas, en 1930, sobre la división racional de lotes. La preocupación por la integración entre problemas de vivienda y urbanismo abrió necesariamente las fronteras estilistas de la arquitectura a su contenido social, económico y tecnológico.

Los CIAM, a través de sucesivos Congresos, plantearon un método de análisis global para los problemas *urbanos y de la vivienda*, en tomo a las disciplinas denominadas arquitectura y urbanismo. Esta escuela, humanista e internacionalista, desde su inicio promovió una integración de la arquitectura con todas las bases socioculturales del momento; postula su acción a partir del hombre y de la satisfacción de las exigencias

materiales, espirituales y sentimentales y, sobre todo, el reconocimiento del fenómeno de transformación social y económica de la época.

Esta Arquitectura Moderna, como se le llamó hasta 1960, se definió en nuevas orientaciones funcionalistas que intentan expresar el espíritu de una época. De aquí surgió el Estilo Internacional, expresión del espíritu moderno y de la estética maquinista de la técnica, del funcionalismo y la expresión de la estructura y de los materiales. El diseño y la construcción de edificios fueron reformulados con base en las nuevas ideas y se intentó integrar a la arquitectura todo el naciente proceso de industrialización. La nueva actitud de internacionalismo y modernidad que caracterizó a los CIAM, se refiere a entender que la arquitectura es una; el espíritu moderno es más que un estilo, un modo de construir; y la funcionalidad, la expresión del material y la producción industrial, una base ética y estética de la nueva arquitectura.

Más que como nueva metodología, también en el plano de los principios se destacó un abierto compromiso con la realidad contemporánea.

La realidad política anterior a la Segunda Guerra Mundial se originó en la nueva relación entre las fuerzas de producción y en la organización de las economías industriales, con una nueva sociedad urbana de masas. Pese a los esfuerzos de la generación fundadora del CIAM, el panorama que presentaba a los arquitectos el mundo anterior a la Segunda Guerra era difícil, por las crecientes presiones en problemas económicos, de salud, habitación popular y regeneración de ciudades. El mero cuestionamiento de las bases del arte y la aplicación de la técnica y la producción industrial como objeto ideológico no era suficiente. Sin embargo, el rol del arquitecto y el papel de la arquitectura, en lo espiritual y en lo material, permaneció sólo como un programa, una utopía o un conflicto aún no solucionado, destacándose dos temas: la *Vivienda Social* y el *Urbanismo*, como nuevos campos profesionales.

Después del Segundo Congreso CIAM de Frankfurt en 1929, sobre la vivienda, para el “Mínimo de Existencia”, los arquitectos modernos europeos habían reconocido que el estudio de los problemas contemporáneos de la arquitectura estaba completamente ligado a los de la vivienda y de la urbanística, siendo muy difícil intentar marcar una línea de separación entre arquitectura y urbanismo. Los estudios sobre la vivienda necesariamente llevaron al análisis de la ciudad en su conjunto, incluyendo aspectos relacionados: la densidad demográfica, el uso del suelo, los servicios comunes y la circulación. Sin embargo, las inquietudes estilísticas y expresivas se dan al mismo tiempo, buscándose una arquitectura que sea símbolo y mensaje para la humanidad. Es decir, se sigue con la idea del valor cultural y global de la arquitectura como expresión de una sociedad o una época y su validez internacional como método y planteamiento.

Sin embargo, la Segunda Guerra Mundial condujo al aislamiento y división de los miembros del CIAM, que por ser internacional desde su inicio, se vio abocado a todos los problemas de la división de Europa y expuesto a las consecuencias de la Segunda Guerra, que tomó al continente en un campo de batalla. Por esta causa, alcanzaron a efectuarse sólo tres reuniones antes de la guerra. Los Congresos de Bruselas en 1930, de Atenas en 1933-35 y el Congreso de París en 1937.

De los nuevos postulados surge un método racional para las ciudades; se propuso una ciudad funcional, donde existiera una clara zonificación y el emplazamiento consecuentemente racionalizado en ella de las cuatro funciones colectivas: vivienda, trabajo, esparcimiento y circulación. Se destaca el Plan, la importancia de la vista, el asoleamiento y las áreas verdes; las autopistas clasificadas y los bloques regulares de edificios. Además, se propuso un nuevo método de análisis comparado de ciudades, a través de normas de presentación y elementos similares para todos los países.

En América Latina, aún en una etapa de transición del eclecticismo europeo, encontramos en el período esquemas absolutamente heterogéneos. Entre éstos, el esquema de trama formal con diagonales, de Bello Horizonte, capital del Estado de Minas Gerais en Brasil, en 1925 (figura 2.17); el Plan de Santiago de Chile, de Karl Brunner (1929-1932), hecho con base en los postulados del urbanismo del Stadtebau vienés. Sin embargo, a partir de 1938, la influencia del CIAM aparece en la extraordinaria proposición de Le Corbusier, hecha con Jeanneret y Hardoy, para un nuevo Centro de Negocios y la remodelación del área central de Buenos Aires (1938-1950), Y continuaría en varias capitales.

Después de 1945, terminada la guerra en Europa, los maestros de la arquitectura internacional se encontraban esparcidos después de 1940, y la división política y el control total de las actividades en urbanismo y construcción que trajo la guerra, debilitaron los nexos profesionales y económicos entre los arquitectos.

En 1945, este grupo francés del CIAM había publicado en el libro de Le Corbusier “Cómo Concebir el Urbanismo”, un esquema de ordenamiento y proposiciones sobre modos de razonar en problemas de construcción de viviendas e infraestructura; con objetivos de proceder al examen del espacio edificado y sus prolongaciones y la ocupación del suelo y las circulaciones. Intentó establecer una doctrina coherente del espacio edificado, respondiendo a las cuatro funciones ya clásicas: de habitación, trabajo, recreación del cuerpo y del espíritu, y circulación, para difundir esta doctrina en la opinión pública, hacerla adoptar por los poderes públicos y velar por su aplicación. Se esperaba que, con base en esta asociación interdisciplinaria de profesionales, se proporcionase a Francia un orden capaz de orientar los planes, las empresas y la legislación de la reconstrucción del país después de la Segunda Guerra Mundial.

En esta obra, Le Corbusier postuló sus ideas fundamentales. Lo que planteaba era su cosmovisión del hombre en el espacio edificado, en la cual el hombre mediante sus obras se debe poner en armonía con el Universo y en la que las técnicas deben constituir un instrumental adecuado para la nueva etapa de la humanidad, la era maquinista. Estas ideas de Le Corbusier resumen parte de la orientación filosófica de su urbanismo utopista y visionario, que mezcló la artesanía, la analogía biológica, sus preocupaciones sobre la tecnología, el modular y el folklore, en el concepto del saber habitar.

En la obra de Stert se planteó el enlace entre los nuevos medios usables en la investigación urbana, por sus posibilidades de dar una visión panorámica y definiendo lo que llamaría la tercera fachada urbana. Otras preocupaciones fueron la ecología urbana, considerando a la ciudad como un organismo vivo, y las posibilidades de la aplicación de las técnicas, tanto en la planificación como en la producción industrial y construcción. Se planteó el concepto de Plan Regional, determinándose sus componentes geográficos (terreno, clima, etc.) y el uso de investigaciones empíricas basadas en estadísticas. Se enunció el método de la planificación y su aplicación: las fuentes de producción y de materias primas, aspectos de población -distribución, estratificación y ocupación- la densidad y número de centros urbanos, comunicaciones, etc.

De este listado de materias ya era evidente un enfoque evolucionado y mucho más complejo, en que el campo de acción del urbanismo se extiende a varias disciplinas.

Posteriormente, el año 1945, la necesaria integración de disciplinas que plantearon los programas de reconstrucción europea después de la guerra en ciudades como Varsovia, Rotterdam, Berlín, o las nuevas ciudades inglesas, así como las necesidades del crecimiento industrial y económico del continente, enmarcaron el inicio de una crisis en el CIAM. Se tenía un método, una ideología y un ideal de arquitectura perfectamente delimitado, pero no satisfacía a las nuevas generaciones, la realidad cotidiana avanzaba

sin planificación, quizás sin racionalidad, o con otros objetivos en un mundo aún mucho más dinámico todavía.

En el sexto Congreso del CIAM de Bridgewater Inglaterra, en 1947, con el tema Diez Años de Arquitectura Contemporánea, el grupo inglés MARS, y en especial uno de sus más importantes arquitectos, Arthur Korn, presentó como tema fundamental la preparación de los planes de reconstrucción de Inglaterra y una legislación correspondiente, con lo que logró influir en los planes de centros industriales y especialmente un plan para la Región Metropolitana de Londres. El CIAM gradualmente se iba convirtiendo en una visión, un método, y sus miembros lograban realizar obras importantes. Así después del Sexto Congreso, se realizaron los planes de remodelación de varias ciudades de Holanda y Alemania, el centro de Varsovia y grandes conjuntos habitacionales en toda Europa.

Después de la guerra, en América Latina resalta la acción en Diseño Urbano de la oficina organizada por Lester Wiener y J. Luis Sert, que realizaron la ciudad industrial de Chimbote, Perú, en 1947; el Plan Regulador de Bogotá, asociados con Le Corbusier, entre 1950-1953; y en 1955, un Plan Piloto de la Habana. Aquí se aplicaron los esquemas y los métodos CIAM; se establecieron súper-cuadras o unidades de habitantes, una vialidad clasificada, la zonificación de áreas verdes, áreas centrales peatonales de comercio y equipamiento, y zonas industriales exclusivas, volúmenes de habitación en alta densidad contrastados en el paisaje. América Latina se convirtió en un importante laboratorio urbanístico que se había iniciado con los Planes de Buenos Aires, y culminaría en la proposición de Brasilia, de L. da Costa (1957-1960).

El séptimo Congreso del CIAM se reunió en 1949, en Bérgamo, Italia; se discutió sobre las Relaciones entre Arte y Arquitectura en las Escuelas de Arquitectura. Se aprobó una simbología uniforme para la exposición comparativa de proyectos y se formularon los enunciados de una declaración, la Carta del Hábitat. Pero ya se preparaba la división del CIAM. Desde 1947, los CIAM eran grupos con crecientes polarizaciones hacia puntos de vista totalmente divergentes sobre urbanismo, planificación y arquitectura.

#### **I.4 TRANSICIÓN AL GRUPO DE LOS 10.**

Así, el CIAM culminaría con sus propias utopías. O quizás, en la contradicción de posiciones rígidas y divergentes que se iban precisando y tomando orientaciones diferentes al abocarse a las urgentes tareas del desarrollo urbano de la década de 1950. También surgía una nueva generación de arquitectos. Este período se convirtió en una etapa de duda y de rechazo a las fórmulas de composición zonificada y purista de ciudades, a los métodos y planteamientos teóricos del funcionalismo, y a los grandes esquemas y utopismos urbanos de un Le Corbusier.

Aparecieron, en consecuencia, grupos como el nuevo empiricismo, o la arquitectura orgánica, que dan especial importancia a valores concretos de la arquitectura relacionados con materiales, el lugar y las tradiciones locales, Así, en 1951, en la publicación del Octavo Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (8ºCIAM), “El Corazón de la Ciudad”, se postuló que “la mayoría de los arquitectos modernos comprende que acabó la época de la arquitectura racional, cuyo objetivo era expresar la función práctica en arquitectura.” Hoy se tiende a una libertad plástica y a un vocabulario arquitectónico más completo.

En una visión panorámica de la evolución de los CIAM, aparece que la especulación teórica de la arquitectura y el urbanismo en estos años había sido sobrepasada por una realidad urbana cada vez más compleja y conflictiva; por las necesidades urgentes de la

reconstrucción de post-guerra por las nuevas regiones rurales que se incorporan al creciente proceso de urbanización y por los problemas propios del método CIAM. Como lo interpretan algunos autores, en esos años se estaba explicitando un esfuerzo por descubrir una ruta alternativa, hacia la creación de un nuevo estilo, aunque éste ignorara más que resolviera algunas de las urgentes demandas de la situación contemporánea. Especialmente aquellas relacionadas con la industria, la organización social de la ciudad y los nuevos conceptos de forma y espacio.

En el Noveno Congreso CIAM, de Aix-en-Provence, Francia, en 1953, sobre el tema del Hábitat, se originaron nuevas y más serias divergencias con las nuevas generaciones de arquitectos y urbanistas. Los problemas de arquitectura entendidos por el CIAM en el sentido tradicional de forma y función, material y expresión no parecen compatibles con las nuevas preocupaciones relacionadas con organizaciones urbanas totales con los problemas de transporte, la prefabricación, la ecología y administración urbana, la teoría de sistemas y modelos económicos. La planificación y el urbanismo, aceptados como ciencias aplicadas al asentamiento de colectividades urbanas, habían desbordado las ideologías, los esquemas y las grillas CIAM. Por otra parte, las propuestas utópicas, en su mayoría, tampoco fueron realizadas. Surgió conciencia de la necesidad de enfoques de carácter operativo e interdisciplinario y no ideológico para el problema del crecimiento y cambio urbano: la renovación de áreas centrales y las regiones metropolitanas.

En 1954, después del Noveno CIAM, un grupo de jóvenes arquitectos se reunieron en Holanda para la preparación de lo que se llamó el Manifiesto de Doorn. Se reunieron nuevamente en 1956, constituidos ya como un grupo, el Grupo de los 10, en el Décimo CIAM de Dubronik en Yugoslavia, en el que tuvieron que preparar como encargado, y en el cual hicieron un desafío conceptual al CIAM. Fueron arquitectos provenientes de varios países: J.B. Barena y Aldo van Eyck de Holanda; G. Candilis y Sh. Woods, griego e inglés, que trabajaban en Francia; A. y P. Smithson y John Voelcker de Inglaterra; Jerczy Soltan de Polonia; E. Grung de Noruega; Ralph Erskine, inglés, residente en Suecia y Antonio Coderch de España.

El Grupo de los 10 se constituyó por la toma de conciencia mutua de la inadecuación de los procesos del pensamiento arquitectónico que habían heredado del Movimiento Moderno como un concepto total, pero más importante, porque cada uno intuía que el otro había ya encontrado algún camino para un nuevo comenzar.

Este comienzo y la etapa que continuó, se orientaron, a inducir hacia lo más central de la problemática arquitectónica; una acertada comprensión y sensibilidad para los modos de vida y las aspiraciones, el uso de los artefactos y las herramientas, los tipos de transporte y la comunicación de la sociedad presente, de modo que como una cosa natural, se pueda construir hacia la realización de la sociedad por sí misma. En este sentido, se sostiene que el Grupo de los 10 es utópico acerca del presente. Concluye el texto del Grupo de los 10, “de este modo, su propósito no es teorizar sino construir.” Los arquitectos y hermanos Smithson ampliaron sus objetivos al sostener que cada generación siente una insatisfacción nueva y concibe un nuevo orden. Una vez más se requería de un cambio.

El verdadero vencedor del CIAM, no fue el Grupo de los 10, sino el tiempo. Dice John Drew, los dirigentes de la primera generación eran ya viejos. Le Corbusier tenía 69 años y Gropius 73. Como explicó Mies, la arquitectura debía evolucionar con el tiempo: cada época hace lo que está a su alcance.

Esta nueva generación reaccionó contra la tiranía del funcionalismo. Pero sobre todo, abrió con una nueva madurez una perspectiva innovadora de la arquitectura, y notablemente, del diseño urbano. Intentó expresar claramente la apertura científica, una

tolerancia y visión más amplia hacia las complejas contradicciones de la vida cultural que alimentan a la arquitectura y a la ciudad. Estos arquitectos, la tercera generación, como los llama Drew, representan una especie de parlamento de intereses. Coexisten dentro de un pluralismo de enfoques, estilos y países. Los modelos que utilizan han constituido una especie de híbrido, que ha combinado la concepción orgánica de los sistemas espontáneos de organización con la geometría y con las matemáticas.

Las hipótesis mecanicistas y sobre todo idealistas del racionalismo anterior, evolucionaron a partir de esta Tercera Generación; van unidos a un clasicismo, a un misticismo y aun sentido de ordenar la arquitectura y la ciudad con la naturaleza toda, descubriendo las leyes orgánicas de constitución de los sistemas, desde el orden de expresar en sus proposiciones de ciudades (Archigram, Metabolistas), a los sutiles detalles de un Van Eyck o Erskine, que se adaptan a la tradición vernácula de las arquitecturas regionales de Europa.

Esta generación es aparentemente contradictoria en sus inventos y formas. Sin embargo. Lo que caracterizó a esta etapa, es la búsqueda de nuevas fronteras de contacto entre la realidad científicamente cognoscible y manejable y la acción práctica de la arquitectura. Esto, los de Safdie, Alexander y Utzon; una arquitectura antropológicamente sana y respetuosa como la que sostienen Habraken, Coderch, Erskine o Van Eyck; o las mega estructuras de Tange, Maki, Kikutake e Isozaki, con sus motivos técnicos y toda la parafernalia de aparatos, instalaciones y artificios mecánicos y electrónicos futuristas.

Ya no parecen básicas ni las Ideologías ni Escuelas determinadas. Sin embargo, surgió de esta época una arquitectura de una calidad técnica y formal extraordinaria. Al observarse la obra de Louis Kahn y de James Stirling, ambos arquitectos de lo más representativos e influyentes de esta etapa, se descubre una vuelta al ejercicio de la arquitectura como arte mayor en todo su esplendor y rigor.

Por otra parte, en 1960, en teoría y docencia, se había establecido en Estados Unidos el primer programa de postgrado en Diseño Urbano en la Universidad de Harvard, de la cual Sert era Decano y sucesor de Gropius. El Diseño Urbano fue denominado explícitamente como una disciplina puente entre planificación y arquitectura. Se intenta un nuevo enfoque integrador, que no sería sólo arquitectura, ni town planning, urban planning, city planning o amenagement urbain. De Harvard pasa a Pennsylvania State, como civic design y en breves años se establece el diseño urbano como disciplina en su propio campo, en la mayoría de las universidades de los Estados Unidos y abriéndose el campo en América Latina, desde fines de esta década.

En la década del 60 aparecieron numerosas obras, estudios y proyectos que fueron precisando este nuevo campo, o este antiguo tema revisado bajo otros puntos de vista:

- La Imagen de la Ciudad de Kevin Lynch, profesor del Instituto Tecnológico de Massachuset (MIT), apareció en 1960, en que aplicó un método empírico a la percepción y notación visual de la *imagen urbana*:
- Kenzo Tange, presentó su extraordinario Estudio y Proposición para Tokio.
- En 1961, se elaboró el interesante proyecto de Candilis, Josic y Woods, para Toulouse Le Mirail, en Francia.
- Se publicó otro proyecto con una metodología y claridad notables, el Estudio de Hook New Town, del London Country Council, que junto a los estudios para Tokio, ofrecen un método desarrollado de análisis, de factibilidad y proyecto físico integral y tridimensional de una Ciudad Nueva.

Entre el 60 y el 70, pudieron irrumpir con mucha fuerza, nuevas y orientadoras ideas y proyectos, que se van precisando por los métodos con que se realizan y por problemas técnicos, sociales y plásticos que requerían. El liderazgo, en teoría y metodología, lo asumen las Escuelas de Post-Grado de los Estados Unidos y organismos estatales de Inglaterra, Francia, Suecia y países nórdicos.

El desarrollo del *diseño urbano* desde la década del 60, podría aparecer como la evolución secuencial y lógica de una serie de ideas, Escuelas y Movimientos, que en forma lineal fueron gestando o acentuando una preocupación coherente y sistemática por temas previamente acotados y después abordados, se describió el quiebre por una serie de contradicciones que, desde la organización de la sociedad, se extendieron al Arte y la Técnica y de allí a la *urbanística*.

Cabalmente, la interacción entre técnica o ciencia y sociedad restablecida de otro modo, fue quizás la más radical en sus efectos, ya que reorganizó intelectualmente a esta sociedad industrial; la transformó en un arquetipo para todo el mundo y configuró el mundo moderno basado en la tecnología y la ciencia. Sin embargo, las ciudades que se construían no revelaban una nueva síntesis y alternativas efectivas. La ciudad, consecuentemente, no pudo enmarcarse ni como un mero hecho espontáneo, ni como un problema de arte, un objeto cultural. Tampoco, a pesar del desarrollo de la tecnología, apareció entonces como más eficiente ni más económica que los prototipos anteriores, ni apareció clara su relación con factores sociales y políticos de gestión urbana.

Hacia 1960, ni la estética de la máquina, ni los prismas simples, ni las cuatro funciones de la vida colectiva que constituyeron la base de la reforma del CIAM y de la nueva ciencia y arte del urbanismo habían conseguido llevar la arquitectura de las ciudades a un grado aceptable, o a un estado tranquilizador de que se estaba en el camino correcto, o que los principios de la arquitectura tradicional los abordaba suficientemente. En Asia y África se perfilaban nuevos y graves problemas. La crítica entre los arquitectos y hacia los arquitectos se multiplicó. Se hizo común, especialmente en América Latina y en algunos países de escasa gestión política y técnica de sus procesos urbanos.

Otra vertiente empírica, a la vez que teórica, se gestó a partir del problema de la ciudad, pero entendida ésta como un ente social, geográfico y económico, que podía ser abordado por la ciencia social e implementada tecnológicamente. Los antecedentes a esta segunda vertiente del diseño urbano, se remontan a la génesis de las ciencias sociales y urbanas, especialmente en los Estados Unidos y Reino Unido, a fines del siglo XIX. Con un enfoque diferente y anterior a la tradición CIAM, de fuerte contenido empírico, y orientada sobre todo desde la geografía y las ciencias sociales, presentó otra alternativa, especialmente en los países anglosajones, que sólo vino a complementarse con el CIAM de la post-guerra, después de 1950. Se originó y definió desde las disciplinas nuevas que allí se habían organizado: el «landscape architecture», (arquitectura paisajista) el «town-planning» o el «city-planning» (planificación urbana), hasta llegar al marco mayor del «regional planning» (planificación regional). Estas orientaciones conllevaban la inclusión de una serie de disciplinas y teorías, que habían surgido a fines del siglo XIX o inicios del siglo XX, como la geografía, la sociología y la localización económica al campo urbano, y que en 1968 fue denominada urbanología. Lo que intentaba surgir es una verdadera ciencia de las ciudades, más allá de su mera fabricación arquitectónica.

De allí que es necesario referirse a otras tradiciones, que no nacen de la tradición empírica de la arquitectura, ni de las propias orientaciones teóricas de la arquitectura, porque explican y completan esta evolución y esta crisis en un contexto mayor. Para ello sirven de referencia algunos textos y estudios, como de Max Weber, *La Ciudad*, de Adna Weber, *The Growth of Cities in the XIX Century*, las obras iniciales de R. Park y R. Mackenzie en la Escuela de Chicago de 1920, los estudios de Ernest Burgess, Homer Hoyt y Louis Wirth, destacados científicos sociales de esta misma Escuela.

También se desarrollaron en Estados Unidos métodos nuevos de carácter empírico, relacionados con el notable proceso de urbanización, y construcción de ciudades que allí se realizó a fines del siglo pasado, debido a la expansión territorial e inmigración.

Algunos trabajos, como los de D. Burnham y Ch. Elliot, los de Frederick Olmsted, y otros arquitectos paisajistas, diseñadores de vías-parque (parkways) o como Clarence Perry, orientados a la planificación y construcción de ciudades a inicios del presente siglo, fueron más allá de la pura construcción arquitectónica. Llevaron a la definición de una actividad más vasta, relacionada a gestión y financiamiento, zonificación y diseño de vialidad y parques en las nuevas urbanizaciones, y que generó el City-Planning norteamericano similar al Town-Planning inglés.

Lo que impulsó el cambio, fueron los problemas de incorporación de nuevos territorios, el saneamiento y recuperación de terrenos urbanos y la importancia que empezó a adquirir el transporte en la organización de ciudades y regiones.

Quien estudie el desarrollo de nuevos métodos y ciencias, notará que en Estados Unidos es común que los mismos problemas hayan originado las especialidades, las que se han desarrollado con un enfoque acentuadamente empírico y científico, especialmente desde las universidades. Tales especialidades, aunque diversas en su origen, más tarde se llamaron Arquitectura Paisajista, Planificación Regional, Geografía, Arquitectura, Ingeniería, Planificación Urbana o Diseño Urbano, Sociología, Economía, Administración y finalmente, Ciencia Política. Hasta la fecha, estas disciplinas han constituido campos interdisciplinarios abiertos que se organizaron bajo la acción de grupos estatales, profesionales y sobre todo universitarios desde 1960, en diversos modos y programas que implicaban conexiones interdisciplinarias, bajo el tema común del Diseño Ambiental (Environmental Design).

La tradición europea de la escuela CIAM, en cambio, mantuvo un carácter Integralista, y al plantear métodos y equipos multidisciplinarios, especialmente a través de proposiciones, como el Plan Mars de Londres, o el Grupo ASCORAL francés, definió al arquitecto urbanista como el Jefe de Equipo, el hombre síntesis, imagen que se mantuvo como orientación profesional hasta hace muy pocos años (1960), especialmente en Francia y América Latina.

En Estados Unidos en cambio, la enseñanza moderna de la arquitectura que se originó con la reforma de los programas de Beaux-Arts y con la introducción de Gropius en Harvard de las ideas del Bauhaus y del CIAM, en 1939, dentro de un medio académico y profesional en el que además del diseño de la arquitectura, otras especialidades también están abocadas al estudio del fenómeno urbano en forma empírica y científica. Esto implicó que cada vez más, en la gran mayoría de las más importantes Escuelas de Arquitectura y/o Diseño, se incluyeran cursos, o por lo menos, se organizaran como Departamentos asociados, Arquitectura, Arquitectura Paisajista y Planificación, y a veces, el Diseño Urbano.

La década del 60 al 70, en América, Japón y Europa, fue un período de transición y definición entre las disciplinas del diseño y planificación, a partir del último CIAM en 1959 y coincidió con el establecimiento del primer curso de graduados en Diseño Urbano en 1960 de Harvard, dirigido por Sert. Las formulaciones teóricas y los proyectos y realizaciones fueron explicitando un modo nuevo de actuar y un campo cada vez más específico. Comenzaron diez años intensos de revisión y avance en Europa y Estados Unidos del diseño urbano, que hacia 1973, culminarían con la Trienal de Milán y la fundación de la Revista *Oppositions* y del Instituto de Estudios Urbanos de Nueva York. El Diseño Urbano aparecía como la respuesta a una necesaria arquitectura total de la ciudad.

El Diseño Urbano que surgía, apareció acotado sobre todo en los Estados Unidos, en cursos, escritos y en grandes proyectos. Ambiguamente, en los grandes **conjuntos habitacionales** de Alemania, Francia y la Unión Soviética. En las magníficas realizaciones de las ciudades universitarias inglesas y en los innumerables proyectos de



Ciudades Nuevas y capitales en países de todo el planeta, entre los cuales se destaca Japón, por la variedad y precisión técnica de sus formulaciones.

Desde 1960 esta nueva forma de planificación urbana comenzaba a ser un hecho establecido: estaban en ejecución los planes de centros y regiones metropolitanos de Moscú, Caracas, La Habana, París, Helsinki, Estocolmo, Barcelona, Copenhague, Londres, Viena, Tokio, Washington, San Francisco y Chicago. Todas estas ciudades contaban ya con equipos técnicos y métodos establecidos para el control y gestión de sus centros urbanos. En Chile, el Plan Regulador Intercomunal de Santiago y la constitución de una oficina del Plan Intercomunal, habían sido organizados entre 1959 y 1962. Los primeros graduados en planificación, formados en Estados Unidos, Inglaterra o Francia, habían llegado a diversos países de América Latina, especialmente a Venezuela, Colombia, Chile y *México*.

Esta década reveló una variedad de importantes ejemplos. Desde el plan de Tokio de Kenzo Tange, para una ciudad construida sobre pilotes en la Bahía de Tokio para 10 millones de habitantes, a la Ciudad del Océano sobre mega estructuras flotantes de Kikutake, del Domo Geodésico Urbano que Buckminster Fuller propuso ese año, contrastado con el proyecto de Metrotown para Baltimore, Estados Unidos planteado con base en un corredor de transporte público.

Desde 1961 se publicaron o construyeron varios proyectos interesantes en Europa. La Nueva Ciudad de Hook, al Sureste de Londres, para 80 000 habitantes, del London County Council; Toulouse Le Mirail, ciudad satélite de Toulouse, para 100 000 habitantes; la Ciudad Universitaria de Berlín, de los arquitectos Candilis, Josic y Woods, también propuestas con una trama o mega estructura tridimensional; o el Plan de Washington 2000, como un esquema lineal de corredor metropolitano.

En 1963 se realizó en Grecia el Simposio de Delos. Fue convocado por Doxiadis, fundador de la Sociedad Mundial Ekística y en este congreso se formuló la Declaración de Delos, especie de nueva Carta Magna de los Asentamientos Humanos. Esta conferencia congregó, bajo el auspicio del Instituto Tecnológico de Atenas, a personalidades de todo el mundo. Desde la isla, dichas personalidades formularon un llamado, que por la importancia de los que lo suscribieron y las disciplinas y países que representaban, tuvo una repercusión inmensa en los centros académicos y políticos del mundo. Parece necesario recordar algunos de sus puntos fundamentales, que todavía permanecen como el testimonio de una generación de post-guerra, cuyos miembros, en los próximos 25 años, tendrían una inmensa tarea de reactualizar la ciencia urbana en un marco totalmente planetario. La ciudad y la tierra estaban en un punto crítico de la civilización una vez más, y el llamado a la acción de la Declaración de Delos, planteaba:

1. La ciudad, a través de la historia, ha sido la cuna de la civilización y el progreso humano. Hoy, como cualquiera otra institución humana, está incluida en la más profunda y amplia revolución que jamás haya sobrellevado la humanidad.
2. Esta revolución aparece bajo el signo del cambio más dinámico. En los próximos cuarenta años, la población del mundo se incrementará a 7 mil millones. La ciencia y la tecnología determinan cada vez más los procesos de la vida humana. En la medida que éstas avanzan, la conducta social del hombre es modificada profundamente. Estos cambios se presentan en sí mismos en cada campo, como un peligro compensado por una incluso mayor oportunidad. El hombre puede usar el poder atómico para reducir cada asentamiento humano a las ruinas de Hiroshima. Les puede proveer también de suficiente energía para satisfacer todas las necesidades humanas. La población del mundo puede por mucho superar su abastecimiento de alimentos; incluso, para mantener el ritmo de crecimiento, la producción actual de alimentos debe crecer en tres veces hacia el año 2.000

3. Estas paradojas son ampliamente sentidas. Lo que no se comprende es que la falta de adaptación de los asentamientos humanos al cambio dinámico, puede en plazo breve, sobrepasar incluso a la enfermedad y a la hambruna como el más grave riesgo exceptuando la guerra que enfrenta la especie humana.

Concordamos que la implantación práctica de políticas de temas tan vitales como son el uso del suelo, la localización de inversiones o la planificación de ciudades a través del tiempo, estarán determinadas por políticas y necesidades domésticas. Y que, como ciudadanos, nos comprometemos para intentar traer estas materias al diálogo político más activo en nuestras sociedades locales y concluye el postulando:

Pero estamos divididos en aquellos que queremos afirmar de la manera más contundente: Que somos ciudadanos de una ciudad global, amenazada por su propia y torrencial expansión, y que en este nivel, nuestra acción y nuestro compromiso es con el hombre mismo.

En el plano de la acción pública y de la administración, en 1966, se crearon en los Estados Unidos y en Chile, los primeros Ministerios de Vivienda y Desarrollo Urbano o de Urbanismo de las Américas. La organización política y administrativa del proceso urbano cobraba una creciente importancia y comenzaba una nueva etapa para la acción, en que las estrategias y proyectos tendían a ser más integrales y el Estado y los organismos públicos jugarían un rol cada vez más activo en políticas de uso de suelo, y transporte, en la remodelación urbana o creación de nuevas ciudades y **conjuntos habitacionales**.

En el campo de la teoría, se pueden señalar en este período dos textos que complementan las ideas desde distintos enfoques, revisan los objetivos y métodos del urbanismo y del diseño. Uno, *Urbanismo: Utopías y Realidad*, de Françoise Choay, publicado en París, en 1965, revisa la historia y cuestiones sobre ideología y práctica en el urbanismo. El otro texto es de Christopher Alexander, publicado en 1968, en Cambridge, Estados Unidos, *Notas sobre la Síntesis de la Forma*.

En 1969 se realizó un Concurso Internacional auspiciado por las Naciones Unidas sobre Vivienda Marginal en Perú. Alexander con John Turner, arquitecto inglés, quedó seleccionado entre los finalistas, revisarían las innovaciones del diseño urbano en los países en desarrollo. En 1968, Doxiadis publicó en Londres su texto definitivo: *Ekística*, una introducción a la Ciencia de los Asentamientos Humanos. En esta obra presentó con una gráfica e interés extraordinario, uno de los textos más fundamentales para el análisis, la definición teórica y metodológica, así como la presentación de casos en diseño urbano hasta la fecha, comparando las fases de desarrollo y los elementos de estructuración básicos para los procesos urbanos. La ciencia urbana y el diseño urbano, se podía decir que ya estaban consolidados.

El Diseño Urbano y la Arquitectura de la ciudad seguían todavía requiriendo integración con los complejos problemas de gestión, administración y habilitamiento del medio ambiente, el que estaba definitivamente trastocado por la expansión de las ciudades, la tecnología, las comunicaciones y el transporte.

Son muchas las cuestiones que se pueden derivar de esta historia de los últimos cien años del urbanismo. Los sucesos y las posiciones que se han presentado escuetamente, son ricos y variados. Sin embargo, desde una perspectiva contemporánea, parece más necesario concluir lo que presenta el futuro con respecto a las ciudades y asentamientos en el proceso de urbanización y, finalmente, el método y teoría que configuran la ciencia y praxis urbanas.

¿Cómo es esta evolución, hacia dónde se dirige? Para ello, es necesario revisar los términos de estilo en relación a lo moderno como vanguardia. En la evolución de los estilos, existe también una formulación típica de ciclos: un origen (arcaico), un

desarrollo y plenitud (clásico) y luego una fase de complicación o eclosión (barroco), para concluir en decadencia y saturación (manierismo).

Entre 1920 y 1960, la arquitectura que surgió, y los planteamientos ideológicos bajo los cuales se organizó en el plano de la crítica y de la teoría, de la práctica o de la pedagogía, pudo ser clasificada o descrita en el término suficientemente ambiguo de moderna. La idea de modernismo tiene una connotación de nuevo, de distinto, de reacción al pasado, de descubrimiento, pero lleva finalmente al reconocimiento que en el hecho, este período es una continuación del modernismo y revisionismo. Culminó hacia 1970 con el postmodernismo, que puede ser descrito como un avance a lo más moderno, para volver o al pasado clásico (inclusivismo de los Grays) o al primer modernismo (exclusivismo de los Whites). En el fondo, aparece una constante dialéctica, el retro vanguardismo: el redescubrimiento del pasado de la arquitectura como solución al presente que ya se hace obsoleto. Ya apareció el Deconstructivismo como la nueva alternativa después de los años 80<sup>s</sup>. La idea de modernidad también contuvo implícitamente la idea de una globalidad de la arquitectura, como método, estilo de vida o cosmovisión. El urbanismo, la urbanística, y el diseño urbano, son términos o modos que intentan establecer puentes, fronteras o relaciones más amplias de una arquitectura que aparecería demasiado ilimitada, o restringida en sus métodos y campos tradicionales.

La concepción de la arquitectura moderna y sus ideales aún permanecen como un sustrato de un verdadero canon clásico. Las virtudes racionales de la ingeniería (lógica, función y geometría), y las características visuales del arte abstracto (planos blancos, formas simples y balance asimétrico), llegaron más allá de la ideología a ser un estilo. Este estilo Moderno se puede yuxtaponer a los estilos clásicos anteriores y así también es posible sostener que la complejidad y contradicción de Venturi sería la nueva expresión del barroco o de la vuelta al vernáculo sofisticado.

Si revisamos las pulsaciones en el plano de la teoría urbanística, se produjo, a partir de 1970, un interesante avance; un planteamiento de mayor integración disciplinaria y el cuestionamiento del funcionalismo de la ciudad moderna. Las posiciones historicistas, el sentido del lugar y la significación e identidad del paisaje urbano como memoria colectiva, son resaltados. Aparece un gradual revisionismo y la incorporación de conceptos formales y tipológicos a la urbanística, especialmente en Europa. La Trienal de Milán en 1973, en la que tienen destacada actuación Aldo Rossi, Gregotti, Aymonino y Rob Krier, sirve de marco al lanzamiento del neo-racionalismo o el post-modernismo, que se avoca a la reconstrucción de un pensamiento y praxis sobre la ciudad como hecho social y forma colectiva.

La metodología urbanística, hasta el momento, se había mantenido en posiciones demasiado diferentes. De algún modo, existía una cierta preocupación sociológica basada en el empirismo de la Escuela de Chicago, y que se expresaba en una crítica social y económica, continuada por Jane Jacobs y Albert Reiss. También estaba planteada la posibilidad de la imagen urbana, la imaginabilidad de Lynch o las experiencias del paisaje urbano inglés y el incrementalismo formal de Gordon Cullen. Finalmente, aparecía la ciencia ficción de los metabolistas japoneses, o el inclusivismo Pop de Las Vegas y el paisaje del Disney World Americano, sostenido por Venturi.

Los japoneses, por su parte, manejaron sus problemas urbanos con una mezcla igualmente inexportable de alta tecnología, ciencia-ficción metabolista y mega formas, replanteando una ciudad de termitas para el mundo post-industrial, modelo que, con algunas variaciones, apareció en los conjuntos habitacionales de *México*, Venezuela, Argentina, Francia, Alemania y Unión Soviética, como la última solución de la *Vivienda Social*. El vanguardismo era aceptar el presente con todas sus contradicciones

especulativas y técnicas (vernacularismo, Pop, FH A. y HLM.), o avanzar al futuro con mega estructuras y ciudades paralelas (Tange, Friedmann, Isozaki, Archigram). En la vanguardia sucedió lo inesperado: la búsqueda del pasado y la resurrección de la ciudad histórica; el tipo, el estilo y la Arquitectura, como arte público, como redescubrimiento, en el más alto nivel de autonomía. Una nueva posición historicista, auto evidente, inclusiva y que dejaba contentos a los altamente sofisticados planteamientos teóricos de los Estados Unidos y de la Escuela de Venecia, igualmente que a las reproducciones más banales de los franceses. Permitía volver a una arquitectura esquemática pero icónicamente fácil, como la de los Krier y permitía a todos, una vez más, redescubrir un nuevo estilo que garantizara al arquitecto la idoneidad formal del producto y evitara las enojosas contradicciones y cavilaciones que demanda cualquier proceso serio de gestión humana. Con el desarrollo de los trabajos de los hermanos Krier y el gradual trasplante de nuevas formulaciones en varias Escuelas de Arquitectura y revistas de Estados Unidos y Europa Occidental, aparecen en Venecia, Barcelona, la Architectural Association, el Institute for Urban Studies, en Chicago y en Nueva York e incluso Caracas, Buenos Aires y Santiago, una alternativa nueva para el diseño de ciudades que se engloba entera en el término neoracionalista, en el sentido que la forma deba ser expresada a sí misma con lógica claridad y simplicidad.

Desde los años 70<sup>s</sup>, varias líneas de argumentación se van contraponiendo: los ideales composicionales, la utopía social, el activismo y el formalismo funcionalista de la ciudad moderna. Por otra parte, un inclusivismo historicista mezclado con vernacularismo. De la planificación y zonificación del CIAM, se pasa al metabolismo y a los sistemas y mallas complejos, para concluir en el post-moderno, en un formalismo alusivo, en el rescate de las tipologías de la ciudad histórica. La forma sigue a la función, requería simplificar o ideologizar a las complejas funciones de la vida urbana. ¿Por qué no sustituir el argumento y volver a que la función sigue a la forma? Así, y desde la arquitectura, cualquier edificio sería relevante, si aparecía con referencia. La ciudad histórica parecía ahora mucho más humana que la ciudad moderna. Es interesante que desde la complejidad y contradicción de Venturi, cuando Mathias Ungers desarrolla sus tipos y temas de metamorfosis y metáforas, los artilugios y armados intelectuales serán ahora mucho más importantes en la imagen e ideología arquitectónica. Los grandes edificios y conjuntos del Congreso de la Unión Internacional de Arquitectos de Buenos Aires en 1969, mostraron que los grandes conjuntos colectivos en Rusia, España, Argentina, Francia, Bulgaria y *México*, eran iguales, y que los grandes Congresos de la Unión Internacional de Arquitectos (UIA) eran cada vez más una concentración de funcionarios encargados de la logística y la defensa gremial, más que de pensadores y vanguardias capaces de reformular a la nueva y eterna ciudad de la época.

Al estudiar el desarrollo de la arquitectura de las ciudades y del urbanismo a partir de siglo XX especialmente la ciudad, alcanza características absolutamente diferentes. Aparecerán otros términos y disciplinas especialmente relacionadas: la planificación urbana, la planificación regional y el paisajismo.

Como Reissman describe en su tipología, el tipo de problema abordado, y el tipo de información utilizada, condicionan los grados analíticos y de operabilidad de las diversas escuelas urbanísticas desde fines del siglo XIX.

Las raíces de las Escuelas que siguen una orientación más analítica y que se orientan más bien al conocimiento de los diferentes procesos urbanos y están orientadas también a incorporar el contexto total social, económico y geográfico del proceso urbano. No se interesan por las proposiciones concretas o abstractas para hacer ciudades, sino por una naciente ciencia urbana: saber que es una ciudad, qué fenómenos la originan y en qué

proceso y contexto está basada su estructura. Cuál es la vida misma del proceso de los asentamientos urbanos. Estas escuelas o ciencias urbanas se orientan a la observación sistemática, a la formulación teórica y a la definición de factores, variables e interdependencias causales del proceso urbano; a la selección de medios para la acción en función de su operacionalidad, que constituye la planificación urbana y regional.

Al desarrollarse específicamente como geografía urbana, ecología, planificación o economía espacial, obligaron necesariamente a una revisión sustancial del marco teórico al que se había llegado hasta la generación del CIAM. De su acción conceptual y del más ajustado y rico campo teórico y metodológico que permitió el surgimiento y la necesidad de evolución del urbanismo funcionalista para llegar al diseño urbano, en lo más específico, y al método transdisciplinario, en el marco general de la planificación urbana y regional a partir de la década de los años 60<sup>s</sup>.

La planificación urbana debe considerar los criterios de economía energética y el adecuado aprovechamiento de los recursos naturales locales para equilibrar el diseño urbano con las variables climáticas, topográficas y territoriales de cada municipio y así conseguir una optimización en todas las áreas urbanas. El fenómeno urbano y su planificación son complejas y están sometidas a diversas influencias y decisiones desde muchos puntos de vista, sociales, económicos, políticos, administrativos, jurídicos, etc. Los criterios medioambientales se suman como un vector más en la componente, de fuerzas resultantes finales.

El presente estudio nace de la preocupación actual por las complejas relaciones que se establecen entre los asentamientos poblacionales y las condiciones del medio circundante. Muchas veces, son los hechos negativos los que nos demuestran que existe una gran disfuncionalidad de los recursos y que en numerosas ocasiones se alcanzan situaciones irreversibles de alarma social. Ha sido necesaria, tras un largo proceso de industrialización y tecnificación, la crisis de las materias energéticas primarias derivadas de los compuestos petrolíferos, para caer en la cuenta real de las consecuencias que éstos procesos acarreaban.

De esta forma se podrá pensar la futura planificación urbana con criterios de economía energética, y de aprovechamiento de los recursos medioambientales de cada localidad, para que se equilibre el diseño urbano con las variables climáticas, topográficas y específicas de cada municipio y así conseguir una adecuada concepción de los espacios urbanos. Ante ésta problemática surge la presente investigación para analizar, diagnosticar y proponer los mecanismos de interacción entre el medio ambiente y los asentamientos urbanos.

Las primeras teorías se llevaron a la práctica en proyectos arquitectónicos pioneros, en la resolución de *viviendas unifamiliares* en los países desarrollados. Poco a poco se han ido comprobando los postulados teóricos, añadiendo solidez y relieve a las cuestiones de la arquitectura solar pasiva y el acondicionamiento interno de las edificaciones. La realidad compleja de las ciudades, retrasó las iniciativas teóricas y prácticas, pero en el momento actual se puede afirmar que los asentamientos adecuados al medio ambiente han perdido su experimentalidad, y que de hecho reducen el consumo de agua, de energía y de contaminación, proporcionando un mejor microclima local, una reducción en los consumos de agua y energía y un bienestar debido a la mejora de la calidad de vida.

## 1.5 SITUACIÓN EN MÉXICO.

A finales del siglo XIX la mayoría de las viviendas construidas eran individuales. Los materiales y las alternativas en métodos de construcción eran los convencionales y limitados al sitio. La excepción a esto eran las vecindades, conjuntos habitacionales de varias viviendas distribuidas a lo largo de un corredor central y que principalmente se ubicaban en el centro de la ciudad. La escala en los desarrollos de vivienda se incrementó al generalizarse los edificios de apartamentos en renta de la ciudad de México. Estos edificios surgieron en el Porfiriato y continuaron su auge durante los años veinte.

Dicha tendencia se ve reflejada a partir del conteo de vivienda de 1929, en el cual se indica que de las 284 mil 954 viviendas existentes, 101 mil 24 se encontraban en edificios, es decir, había 2.82 viviendas por edificio construido. Éstos eran de características muy distintas a los que se dieron en la década de los cincuentas: su altura promedio era de entre tres y cuatro niveles, posteriormente alcanzaron una mayor altura de hasta 14 niveles, así como una mayor densidad.

Debido a la falta de promotores inmobiliarios y a la creciente demanda en la Ciudad, a fines de la década de los cuarentas inicia la promoción de vivienda en arrendamiento por parte del gobierno. Instituciones como el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) llevaron a cabo importantes proyectos de vivienda que resultaron ejemplos innovadores a nivel urbano y constructivo.

El **Centro Urbano Presidente Alemán** (figura 1.1), también conocido como el Multifamiliar Miguel Alemán o Multi, constituyó desde el tiempo de su creación una revolución en la forma de hacer ciudad debido a sus audaces propuestas urbanísticas y a su magnífico diseño, lo que lo llevó a convertirse en uno de los hitos arquitectónicos del siglo XX y en una de las obras maestras de la arquitectura mexicana contemporánea, ubicado en la Colonia del Valle en la Ciudad de México, con 1080 unidades y 168 locales comerciales.

El Centro Urbano Presidente Alemán, rompió desde su planeación los paradigmas que la Ciudad de México tenía para su desarrollo, ya que hasta ese entonces se trataba de una urbe horizontal en donde los edificios más altos no llegaban a los diez pisos, una ciudad que apenas alcanzaba el millón de habitantes pero por el gran desarrollo económico que significaron para nuestro país aquellas décadas (los años 40<sup>s</sup> y 50<sup>s</sup>) con el llamado desarrollo estabilizador estaba dejando atrás su espíritu provinciano para convertirse rápidamente en una de las mayores metrópolis del mundo.

Lo anterior, aunado a la creciente migración de personas del campo a la ciudad en busca de empleos, con la consecuente falta de vivienda digna para los nuevos trabajadores, motivó que en 1947 al afamado arquitecto mexicano Mario Pani se le encomendara construir una unidad habitacional en el terreno que anteriormente ocupara el Rancho de Santa Rosa en la esquina de Avenida Coyoacán y Félix Cuevas. El proyecto fue desarrollado en un predio con un área de 40 mil m<sup>2</sup>. Dicha unidad en un principio iba a constar únicamente de 200 casas, pero Mario Pani logró persuadir a la entonces Dirección de Pensiones Civiles y de Retiro (actualmente ISSSTE) de construir solamente en el 25% del terreno con edificios de 13 pisos logrando albergar a más de 1000 departamentos y dejar el 75% restante destinado al área libre que se conforma de jardines, locales comerciales; como lavandería, carnicería, abarrotes, etc., y áreas de servicio a la comunidad como guardería infantil, dispensario médico, un centro escolar, alberca semi-olímpica con vestidores y baños individuales y un edificio administrativo con oficinas, correo, telégrafo y una unidad sanitaria. El conjunto proporcionaba todos los servicios básicos a la comunidad, lo que brinda a los vecinos de el Multi una de las

mayores cantidades de áreas verdes per cápita en la ciudad. Además esta unidad, (el primer multifamiliar de América Latina y modelo para otros en el mundo) en su principio fue planeada para funcionar como una ciudad dentro de la ciudad (figura 1.2). En el diseño de este multifamiliar se aplicaron las teorías del afamado arquitecto suizo Le Corbusier quien postuló que el ser humano para un correcto desarrollo en un lugar necesita de tres felicidades básicas: la luz, el espacio y lo verde, mismas que fueron interpretadas magistralmente por Mario Pani (figura 1.3), quien además aplicó acabados y texturas que, siendo totalmente funcionalista y hasta cierto punto austero, nos remite a las construcciones prehispánicas lo que constituye uno de los primeros y mejores esfuerzos en crear una arquitectura netamente mexicana contando incluso con la obra *La Primavera* del muralista mexicano José Clemente Orozco y siendo escenario de numerosas películas como el prototipo de un México progresista.

Los edificios del Centro Urbano Presidente Alemán están diseñados de una manera muy interesante, ya que para evitar constantes paradas de elevador, los departamentos se hicieron de dos niveles con una escalera y con alturas bastante generosas, de manera similar a los hoy conocidos departamentos tipo loft, lo que ha motivado que algunos arquitectos y diseñadores que residen ahí, aprovechen la calidad y flexibilidad de los espacios para crear dicho tipo de vivienda.

Para lograr un desarrollo mucho más denso, Pani toma como referencia la densidad habitacional propuesta por el arquitecto francés Le Corbusier de 1000 hab. / ha. Ajustándose al presupuesto designado para las 200 casas, logra construir 1080 habitaciones de diversas tipologías distribuidas en doce edificios. La viabilidad del proyecto fue producto del sistema constructivo de bajo costo a partir de las bondades del tipo de suelo en el que se construirían.

Resulta sobresaliente el esquema que Mario Pani utiliza para resolver la distribución de las viviendas, buscando que todas fueran dotadas con luz natural y vistas adecuadas, haciendo un todo generoso y equitativo para el usuario.

El proyecto se compone de doce edificios: seis de doce niveles y seis de tres, orientados al oriente o poniente. Destinó la planta baja a comercios y pórticos de circulación mientras el resto era ocupado por vivienda. Los prototipos utilizados para los departamentos fueron variados para ofrecer diversas alternativas a las familias. Entre ellos había una distribución en dos niveles, donde en el primero se ubican las áreas públicas y en el segundo el área privada modulada con muros divisorios que permiten una flexibilidad espacial para acomodar el número de recamaras que se requiera. En total hay 672 departamentos de 48 m<sup>2</sup> de superficie, 192 departamentos en las cabeceras y 72 en los elementos que ligan los edificios. Cada uno cuenta con los servicios básicos de comedor, estancia, dos recámaras y baño (figura 1.4).

En los edificios bajos hay un total de 144 departamentos con una superficie de 57 m<sup>2</sup> cada uno, distribuidos en un nivel y constan de estancia, cocina-comedor, una recámara y baño.

Con esta tipología de vivienda, la Ciudad de México podría ser cinco veces más pequeña además de mejorar el espacio urbano dedicando el 80 por ciento de sus superficies para espacios abiertos, jardines y parques, potenciando cuantitativamente las áreas verdes sobre el área construida, logrando una importante ventaja económica en costos de servicios urbanos, tiempos de desplazamiento y transporte. El proyecto además fue precursor en el uso de materiales como el ladrillo y concreto martelinado aparente que lo ha mantenido con bajos índices de deterioro.

Para la década de los noventas, se contabilizó en el censo que el 13.82 por ciento de las viviendas en la Ciudad de México eran departamentos. El porcentaje crece hasta 45.8 por ciento para el Distrito Federal y el 18.06 por ciento para el Estado de México. Para

1989 existían en el Distrito Federal 251 grandes conjuntos multifamiliares. Aunque los datos duros marquen cifras importantes, el desarrollo de conjuntos de vivienda unifamiliar por parte de los promotores a partir de la década de los noventa ha contribuido a la expansión horizontal. El modelo vertical como el multifamiliar no es una opción viable; los desarrolladores que han generado decenas de conjuntos habitacionales en los límites de la Ciudad debido a las condiciones favorables que se presentan en tales zonas, principalmente en el Estado de México donde, a partir de la década de los setentas, el crecimiento ha sido exponencial incrementando la demanda. Como consecuencia se ha consolidado la gran metrópoli con los municipios de los estados adyacentes.

Este modelo que es concebido en la década de los cuarentas es, en la época actual, la premisa para los nuevos desarrollos inmobiliarios de alto nivel en nuestra ciudad central y en las metrópolis del mundo donde el valor del suelo en las áreas urbanizadas es muy valioso. El resultado son ejemplos puntuales que no son significativos por la baja demanda del sector que atienden. El desarrollo de este tipo de proyectos en los sectores más necesitados no es viable debido a la poca rentabilidad de la vivienda social que, paradójicamente, es muy superior en demanda.

Es notable la aportación del Arquitecto Mario Pani quien, a través de su visión, desarrolló un esquema apto para una ciudad con tendencias urbanas crecientes. En la actualidad, la vigencia de su contribución demuestra la certeza que tuvo al proponer un modelo de estas características.

El tiempo y las condiciones en las que se generaron estos conjuntos multifamiliares eran distintos, sin embargo, el fundamento del proyecto, la densificación y la dotación de servicios para un gran número de usuarios es hoy una condición deseable y una de las alternativas más favorables para el desarrollo urbano, debido a que las ciudades se han convertido en espacios insostenibles por las distancias y su condición horizontal encarece la vida de los habitantes.

Aunado a lo anterior, no podemos dejar de lado el valor del suelo, elemento fundamental para el desarrollo y concepción de los proyectos. A partir de su creciente demanda, ha propiciado su plusvalía haciendo que su valor sea inmensurable lo que, tarde o temprano, deberá fomentar el uso del espacio en vertical como actualmente sucede frenando la especulación y el esparcimiento territorial. Una visión apoyada en la historia, la técnica y en una profunda sensibilidad por el lugar, pero sobre todo por atender esas demandas sociales que dieron luz a estos proyectos imposibles, terminaron por darle a Pani y sus multifamiliares, a fuerza de tiempo y memoria, toda la razón.

El arquitecto y urbanista Mario Pani, es reconocido por su importante trayectoria con la realización de aproximadamente 136 proyectos, 66 arquitectónicos y 70 de planificación y urbanismo, abarcando todas las clases sociales con proyectos de vivienda de interés social.





**Figura 1.1.- Centro Urbano Presidente Alemán.**

Fuente.- [www.coloniadelvalle.com.mx](http://www.coloniadelvalle.com.mx)



**Figura 1.2.-Primer multifamiliar de América Latina.**

Fuente.- [www.coloniadelvalle.com.mx](http://www.coloniadelvalle.com.mx)



**Figura 1.3.- Distribución de luz, espacios y áreas verdes del Multi.**

Fuente.- [www.coloniadelvalle.com.mx](http://www.coloniadelvalle.com.mx)



**Figura 1.4.- Distribución prototipo de los departamentos.**

Fuente.- [www.coloniadelvalle.com.mx](http://www.coloniadelvalle.com.mx)

**BIBLIOGRAFÍA.**

- 1) Sonia Pérez Toledo, Elizalde Salazar, Luis Pérez Cruz. 1987. *Las Ciudades y Sus Estructuras*. Primera Edición. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Facultad de Arquitectura.
- 2) Graciela Garay. *Rumores y Retratos de un Lugar de la Modernidad: Historia del Multifamiliar Miguel Alemán*. 2002. Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.
- 3) Fidel Herrera Beltrán. *La Vivienda Popular en México*. 1991. Primera Edición Ediciones Garnika.
- 4) Martha Schteigart, Graizbord Boris. *Vivienda y Vida Urbana en la Ciudad de México*. 1998. Primera Edición. El Colegio de México.
- 5) Manuel Sánchez de Carmona. *Traza y Plaza de la Ciudad de México en el Siglo XVI*. 1989. Primera Edición. Tilde Editores.
- 6) Gustavo Munizaga Vigil. *Diseño Urbano: Teoría y Método*. 2000. Segunda Edición. Alfaomega. 345 pág.
- 7) Programa Universitario Justo Sierra (Coloquio). *El Desarrollo Urbano en México*. 1984. Primera Edición. UNAM.

## CAPÍTULO II

### *ESTUDIOS DE TOPOGRAFÍA.*

#### II.1 INTRODUCCIÓN.

La topografía es una disciplina cuya aplicación está presente en la mayoría de las actividades humanas que requieren tener conocimiento de la superficie del terreno donde tendrá lugar el desenvolvimiento de esta actividad.

Podemos suponer que la topografía tuvo su inicio desde el momento en que la especie humana dejó de ser nómada para convertirse en sedentaria. La necesidad de establecer límites precisos e invariables en el tiempo entre las propiedades seguramente hizo surgir los primeros métodos e instrumentos topográficos elementales. Las primeras referencias por escrito sobre el uso de la topografía se remontan a la época del imperio egipcio, hacia el 1 400 a.C., donde fue utilizada para determinar linderos entre propiedades en los valles fértiles del Nilo. Los instrumentos y métodos que los egipcios utilizaban en la topografía fueron adoptados por los romanos, tras su ocupación de Egipto, y completados con la trigonometría, desarrollada por los griegos. Los romanos usaron en forma extensa esta disciplina en sus obras civiles, tales como acueductos y caminos. Un ingeniero y topógrafo romano, Sextas Julias Frontinas, escribió entre otras obras el primer tratado de topografía, del cual se han conservado algunas copias de sus partes, ya que el original se perdió. La modernización de la topografía se inicia a principios del siglo XVII, con el desarrollo del antejo astronómico, ideado por el astrónomo alemán Johannes Meller y con la cadena desarrollada por el matemático inglés Edmundo Gunter, la cual introdujo el primer estándar en la medición de distancias. A partir de este siglo los aportes en métodos topográficos, cálculos numéricos e instrumentos fueron constantes, hasta alcanzar su madurez a principios del siglo XIX. En el siglo XX, la topografía se enriqueció con el aporte de la Fotogrametría, para realizar el levantamiento de zonas extensas, así como con instrumentos tales como la computadora, el distanciómetro electrónico y los niveles láser, así como con el Sistema de Posicionamiento Global.

¿De qué manera podría un Ingeniero Civil llevar a cabo un proyecto de camino si éste no conoce la extensión, las construcciones existentes, los hitos naturales presentes, ni la forma o el relieve del terreno donde se realizaría? Del mismo modo, ¿le sería factible a un arquitecto diseñar un edificio sin conocer las dimensiones del terreno donde llevarlo a cabo, o sin saber si el terreno es completamente plano y horizontal o se trata de la ladera de un cerro con fuerte pendiente? Ante éstas y otras innumerables interrogantes se hace evidente la necesidad de contar con una ciencia que se ocupe de la medición del terreno, tanto en la planimetría, es decir, las dimensiones horizontales de éste, como en la altimetría o diferencias de altura o cotas. He ahí la topografía, ciencia que responde a estas interrogantes llevando las dimensiones del terreno, en una forma sorprendentemente precisa, a representaciones gráficas que son de gran utilidad, y más aún, de vital importancia, para el desarrollo de la ingeniería, ya que de los resultados de las medidas topográficas depende directamente la ubicación, tanto en el plano como en la cota, de cualquier obra civil que se haya edificado correctamente.

En la realización de obras civiles, tales como acueductos, canales, vías de comunicación, embalses etc., en la elaboración de **urbanismos**, en el catastro, en el campo militar, así como en la arqueología, y en muchos otros campos, la topografía constituye un elemento indispensable.

Queda claro, por tanto, que el conocimiento de las técnicas y métodos disponibles para configurar el terreno es necesario e imprescindible para todos los futuros ingenieros, sea cual sea la especialidad en la que estos vayan a desarrollar su futura labor profesional.

Tradicionalmente se ha venido definiendo la **topografía** como “el conjunto de métodos e instrumentos necesarios para representar el terreno con todos sus detalles naturales o artificiales”. Esta definición, sin embargo, resulta hoy en día un tanto parcial, debido principalmente al desarrollo experimentado por otras disciplinas anexas, como es el caso de la Fotogrametría<sup>1</sup>. Este desarrollo ha venido marcado básicamente por la rapidez y precisión que ha supuesto la generación de planos topográficos y mapas a partir de fotografías aéreas mediante los aparatos denominados restituidores. Asimismo, es de gran interés la información complementaria que aportan estas fotografías, muy difícil de obtener mediante la utilización de otras técnicas.

Uno de los mayores avances en este sentido ha sido la revolución de la informática y de la electrónica en los últimos años. La combinación de equipos informáticos e instrumentos topográficos, el desarrollo de avanzados programas de cálculos topográficos y modelado digital de terrenos, la utilización ya generalizada de estaciones totales<sup>2</sup> que permiten combinar una toma de datos automática con programas de cálculo topográfico y del Diseño Asistido por Computadora (CAD, Computer Aided Design), así como la gran revolución que ha supuesto el sistema de posicionamiento global (GPS, Global Positioning System), han aumentado mucho el campo abarcado por la topografía, permitiendo unas precisiones antes sólo alcanzables por métodos geodésicos, pero que son imprescindibles para las nuevas exigencias que plantea la ingeniería en general (figura 2.1).

No debemos perder de vista que la topografía va a centrar su estudio en superficies de extensión limitada, de manera que sea posible prescindir de la esfericidad terrestre sin cometer errores apreciables. Para trabajar con grandes superficies será necesario recurrir a la geodesia y a la cartografía. Podríamos decir que la topografía acaba donde comienza la geodesia, aunque hoy día, con el empleo de aparatos cada vez más sofisticados, también es difícil precisar estos límites de una forma clara. En todo caso, en la mayor parte de trabajos, la topografía tendrá que apoyarse en la geodesia y en la cartografía para obtener resultados correctos.

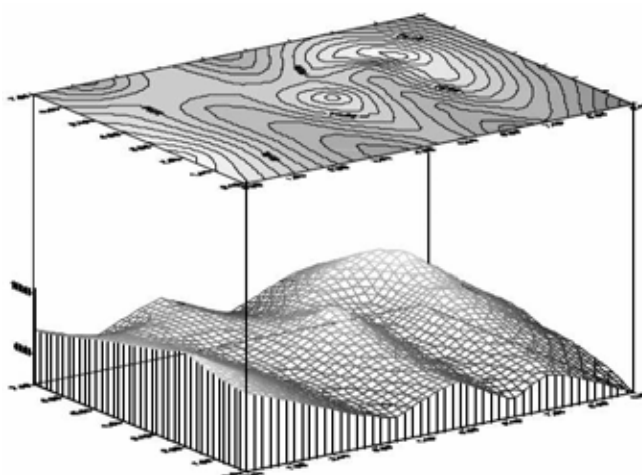


Figura 2.1.- Superficie agraria (superior) y superficie natural (inferior).

**APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.****II.2 MÉTODO DE RADIACIÓN.**

El levantamiento topográfico se realiza con el fin de determinar la configuración del terreno y la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre.

La radiación es un método topográfico que permite determinar coordenadas (X, Y, H) desde un punto fijo llamado polo de radiación. Para situar una serie de puntos A, B, C,... se estaciona el instrumento en un punto O y desde el se visan direcciones OA, OB, OC, OD..., tomando nota de las lecturas acimutales y cenitales, así como de las distancias a los puntos y de la altura de instrumento y de la señal utilizada para materializar el punto visado.

Este método es comúnmente empleado en levantamientos de superficies de mediana y gran extensión, en zonas de topografía accidentada o plana, la sencillez y flexibilidad del método nos permite utilizarlo en cualquier tipo de terreno. Los equipos utilizados para levantamiento por radiación son el teodolito y mira vertical o estación total y prisma.

En caso de utilizar teodolito y mira vertical, se deben anotar los ángulos verticales y horizontales y las lecturas a la mira con los hilos superior, inferior y central, así como la distancia entre los puntos o vértices.

Cuando se usa estación total con prisma, generalmente los puntos quedan grabados automáticamente por sus coordenadas, en un archivo con formato ASCII en la libreta de campo electrónica. Hasta la década de los 90, los procedimientos topográficos se realizaban con teodolitos y miras verticales. Con la introducción en el mercado de las estaciones totales electrónicas, de tamaño reducido, costos accesibles, funciones pre programadas y programas de aplicación incluidos, la aplicación de la taquimetría tradicional con teodolito y mira ha venido siendo desplazada por el uso de estas estaciones.

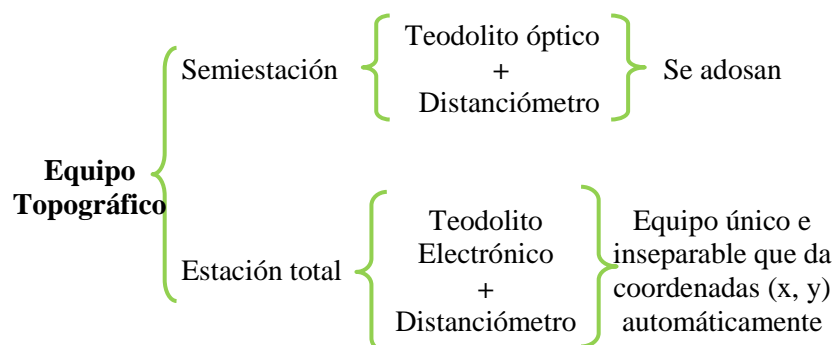
**Radiación:**

Ventajas:

- Muy rápido de ejecutar.
- Se puede utilizar en cualquier tipo de terreno.

Instrumentos:

- Taquímetro y mira.
- Teodolito y mira.
- Distanciómetro y prisma.



**Logística para el levantamiento:**

- Estacionar en un punto de coordenadas conocidas.
- Visar a un punto de referencia.
  - Para orientar.
  - Para controlar el posible arrastre del limbo horizontal o error producido durante la medición.
  - Para poder corregir la desorientación.
- Toma de ángulos y distancias a todos los puntos a determinar.

Toma de datos:

Semiestación:

- ❖ LH
- ❖ LV
- ❖  $D_g$  ó  $D_r$  si el distanciometro esta calibrado con el teodolito óptico utilizado.
- ❖ Presión: Barómetro.
- ❖ Temperatura: Termómetro.
- ❖ Cte. del Prisma.

Estación Total:

- ❖ Presión: Barómetro.
- ❖ Temperatura: Termómetro.
- ❖ Cte. del Prisma.

Taquímetro + mira:

- ❖ LH
- ❖ LV
- ❖ Lectura de Hilos.
- ❖  $K=100$  (por lo general)

Teodolito + cinta métrica

- ❖ LH
- ❖  $D_r$  (en suelo horizontal)
- ❖  $D_g$  y LV (en suelo con pendiente)

El predio en estudio donde se llevará a cabo el proyecto, es prácticamente horizontal, presentando su mayor desnivel de tres metros en su diagonal principal (A-C), pero dado la extensión de los vértices el desnivel es imperceptible, por lo tanto no fue necesario elaborar las curvas de nivel. La ubicación del predio la podemos observar en la figura 2.2 y figura 2.3, proporcionada por mapas de México ([www.mapasmexico.net](http://www.mapasmexico.net)), el cual se encuentra el poniente de la ciudad de San Andrés Cholula, al oriente del periférico ecológico, al norte se encuentra la carretera Puebla-Cholula y al sur la carretera Puebla-Atlixco.

En la figura 2.4 y en la figura 2.5, mostramos la posición que guarda el predio con respecto a las ciudades más próximas así como las vías de acceso tanto rápidas como locales. La fotografía satelital nos permite observar el medio ambiente existente en el lugar y la cercanía de la mancha urbana con los terrenos, cada vez menos, dedicados a la agricultura que se ha transformado en agricultura de autoconsumo, fotografías satelitales proporcionadas por Google Earth ([www.earth.google.es](http://www.earth.google.es)).

En la figura 2.6 y en la figura 2.7, observamos los linderos que tiene el predio; las dos calles de acceso con que cuenta; por la calidad y proximidad de las fotografías satelitales comprobamos que la agricultura local es de autoconsumo; los usos tan diversos del suelo, industrial, habitacional, comercio, residencial y agropecuario. Fotografías satelitales proporcionadas por Google Earth ([www.earth.google.es](http://www.earth.google.es)).



Figura 2.2.- Localización del predio San Bernardino.



Figura 2.3.- Localización del predio San Bernardino.





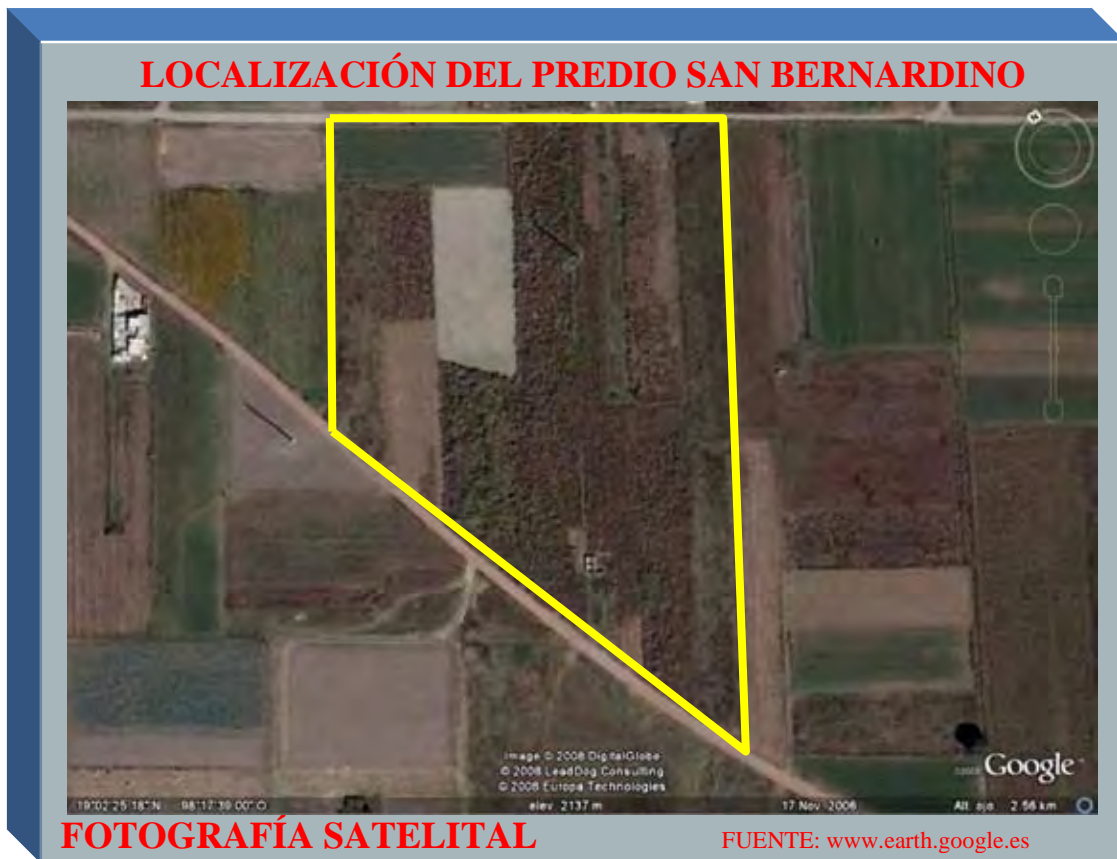
Figura 2.4.- Localización del predio San Bernardino.



Figura 2.5.- Localización predio San Bernardino.

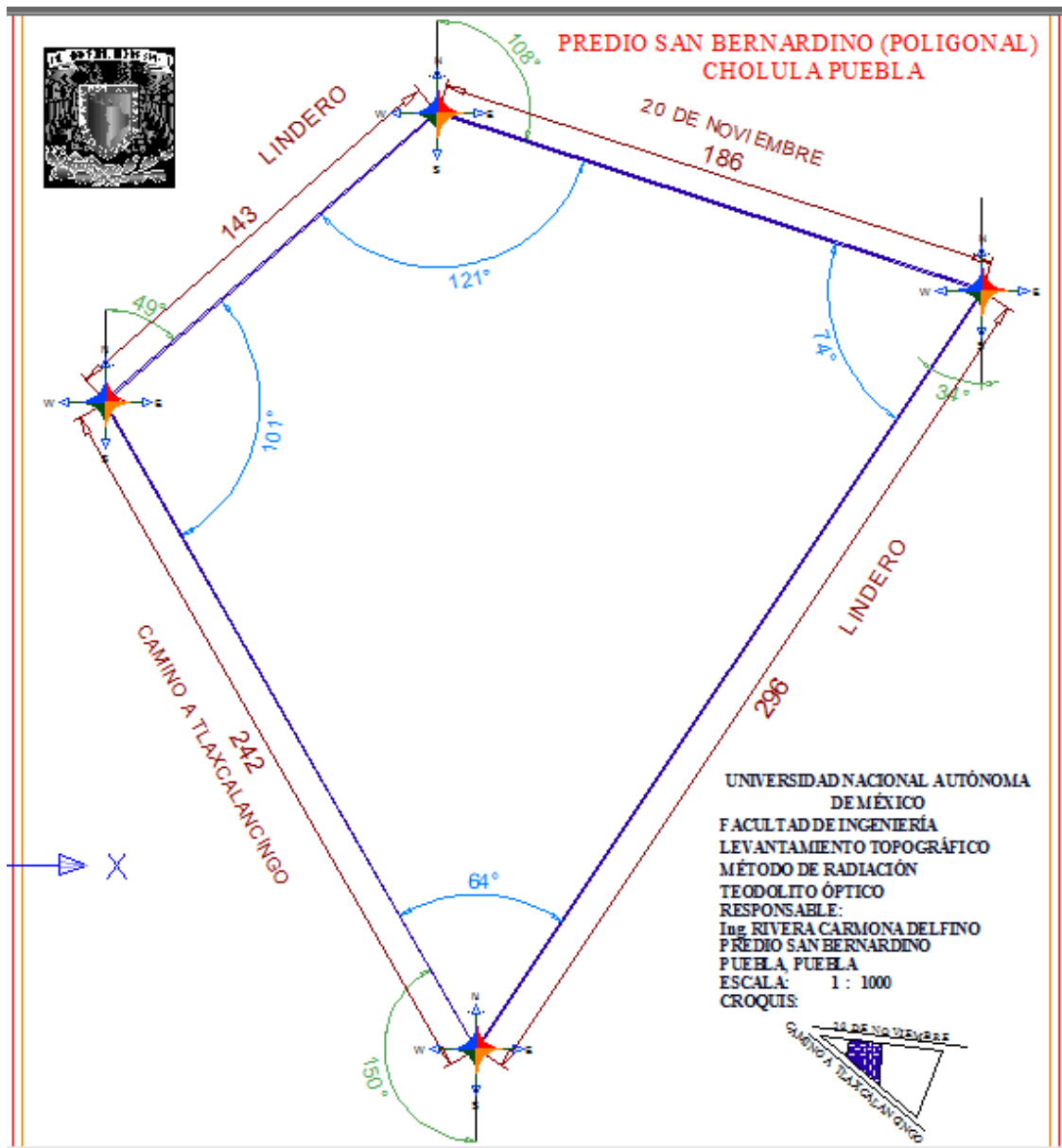


**Figura 2.6.- Localización predio San Bernardino.**



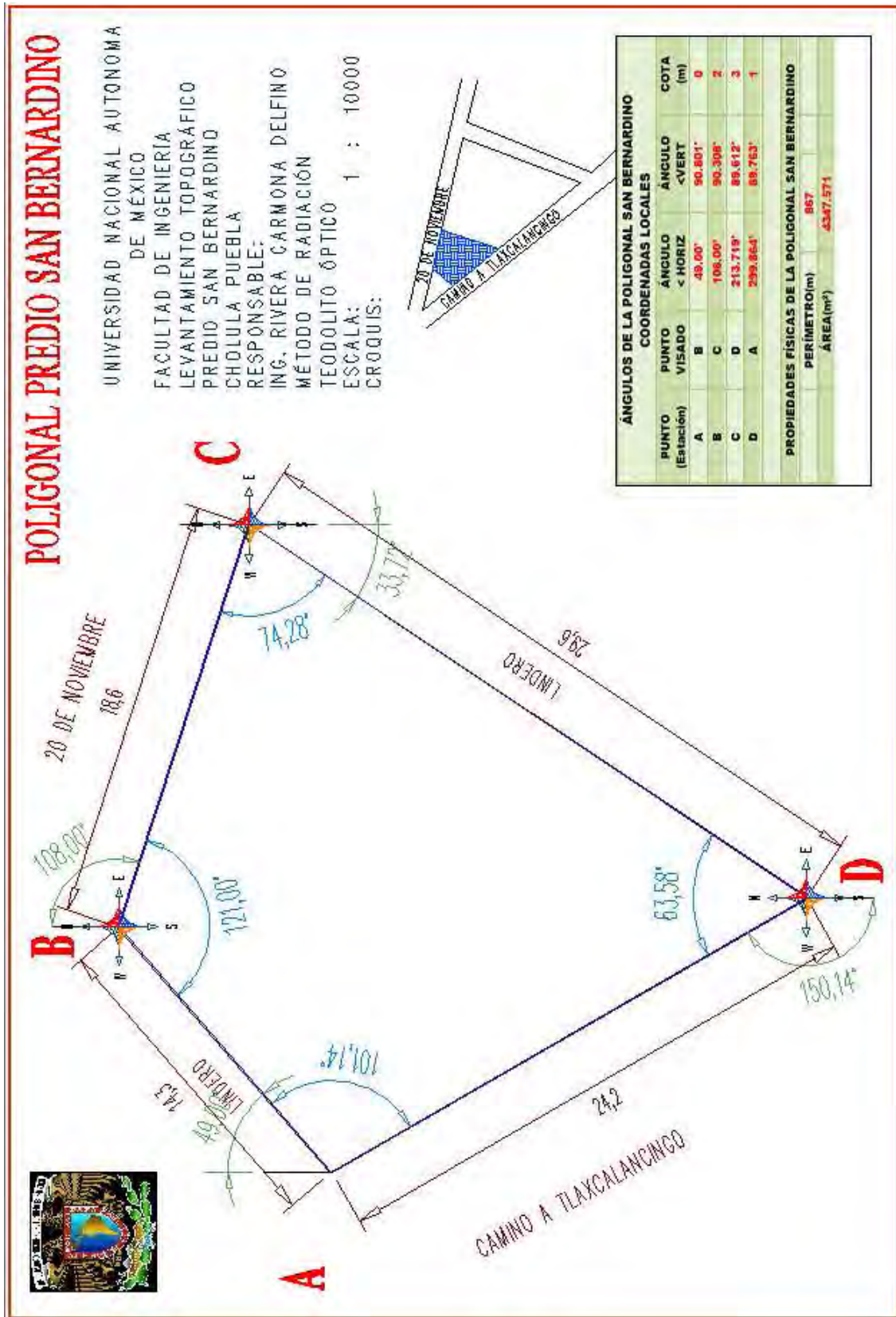
**Figura 2.7.- Localización predio San Bernardino.**

Figura 2.8, 2.9 y 2.10, levantamiento topográfico del predio San Bernardino, utilizando el teodolito óptico y el método de radiación (fuente elaboración propia).



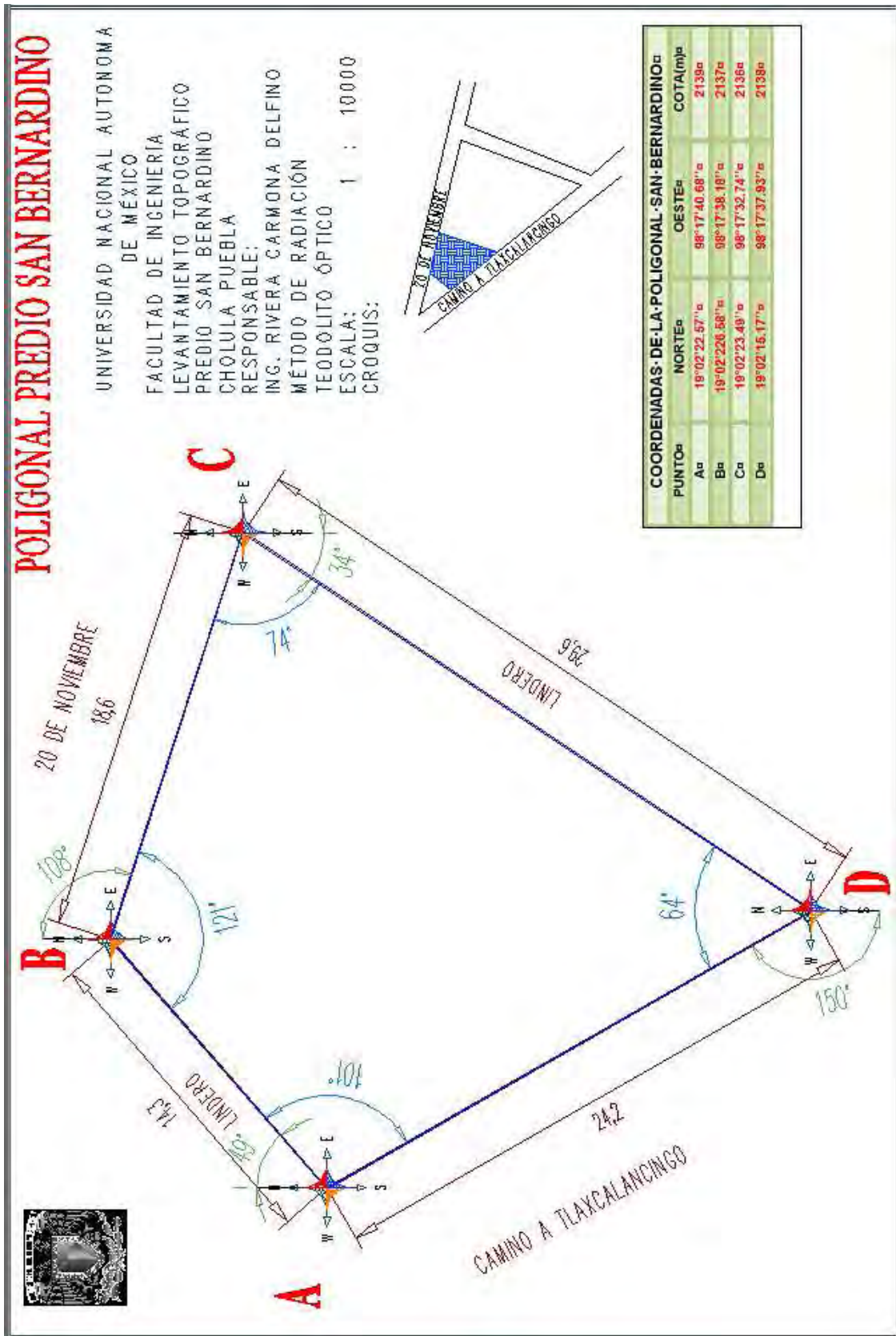
Fuente.- Elaboración propia.

Figura 2.8.- Poligonal predio San Bernardino.



Fuente.- Elaboración propia.

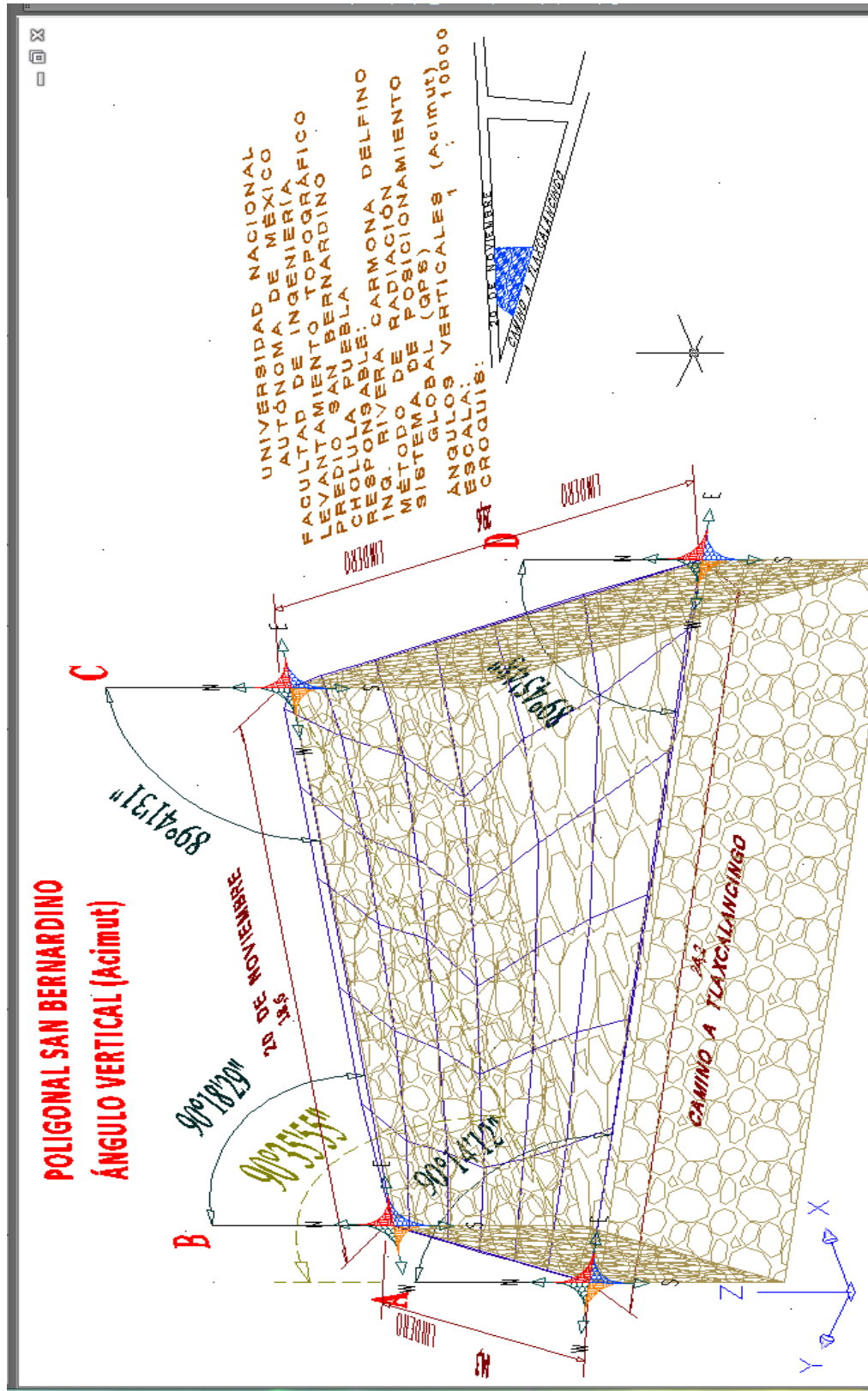
Figura 2.9.- Levantamiento topográfico y ángulos de la poligonal.



Fuente.- Elaboración propia.

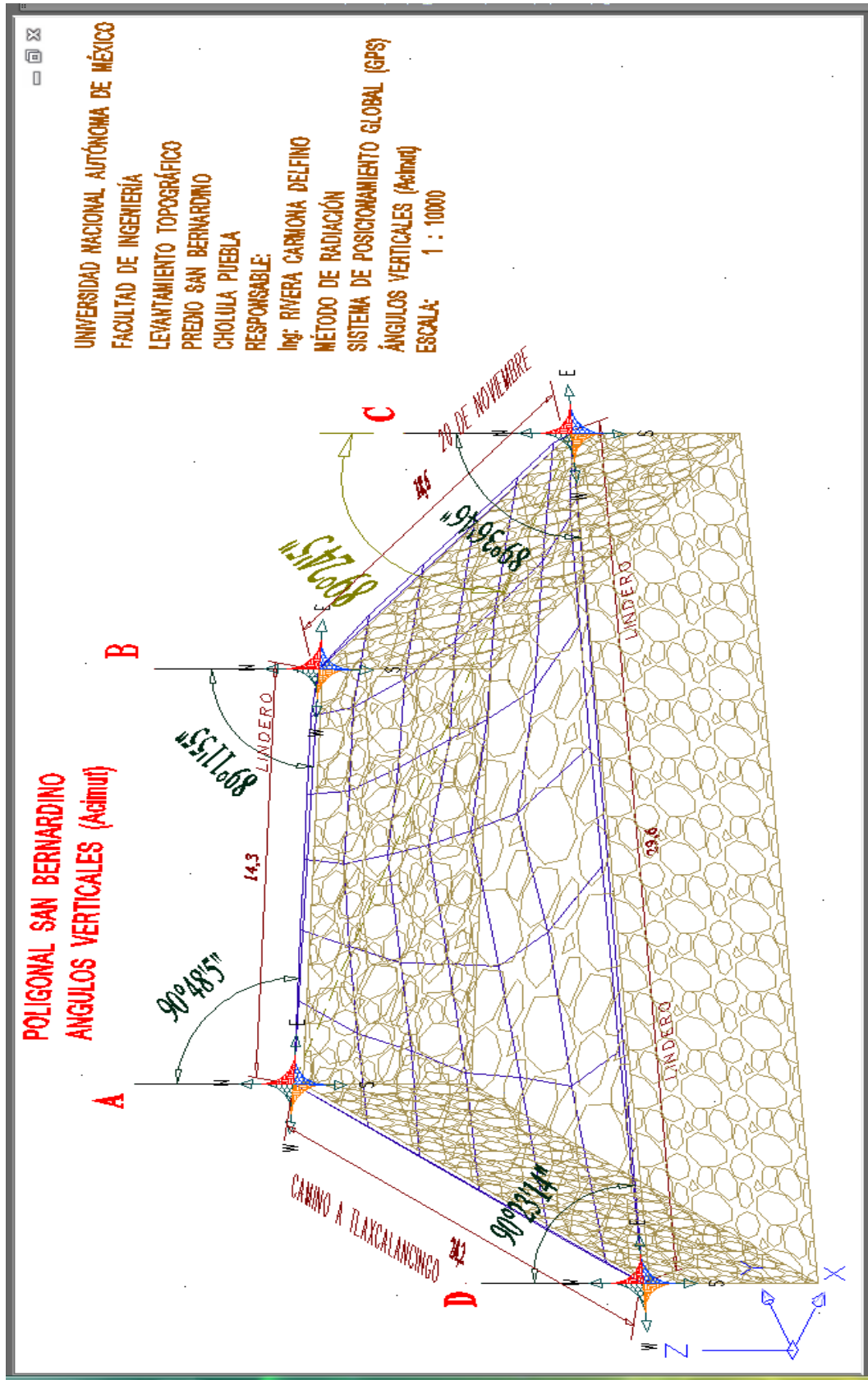
Figura 2.10.- Levantamiento topográfico y ángulos de la poligonal.

Figura 2.11, 2.12 y 2.13, levantamiento topográfico del predio San Bernardino, utilizando el sistema de posicionamiento global (GPS), fuente elaboración propia.



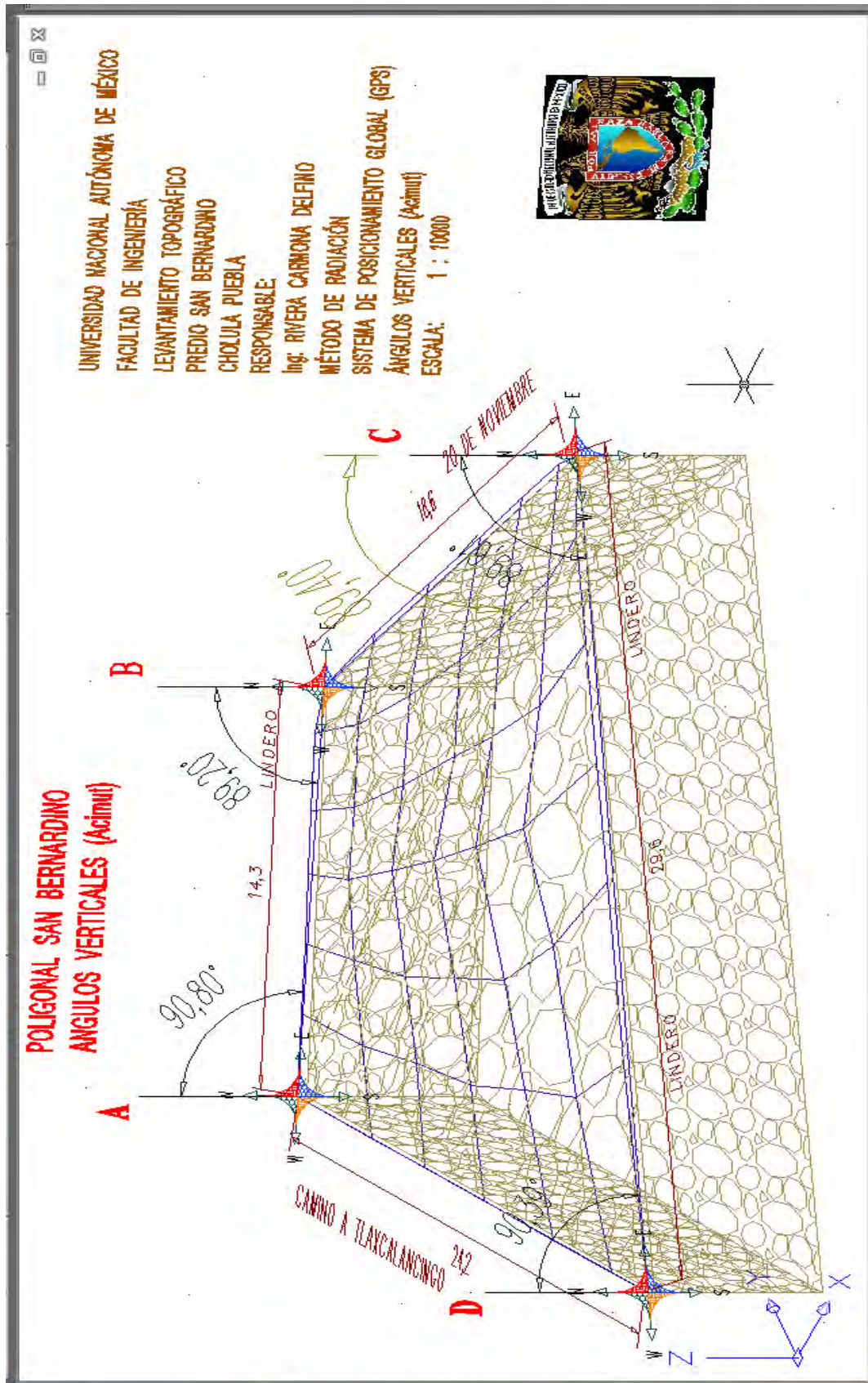
Fuente.- Elaboración propia.

Figura 2.11.- Levantamiento topográfico con GPS, para ángulos verticales.



Fuente.- Elaboración propia.

Figura 2.12.- Levantamiento topográfico con GPS, para ángulos verticales.



Fuente.- Elaboración propia.

Figura 2.13.- Levantamiento topográfico con GPS, para ángulos verticales.



Tabla 2.1. Resumen del levantamiento topográfico, utilizando tanto el teodolito óptico como el sistema de posicionamiento global (GPS), obteniendo cotas, coordenadas de posición, ángulo horizontal, ángulo vertical y propiedades físicas.

<b>ÁNGULOS DE LA POLIGONAL SAN BERNARDINO COORDENADAS GLOBALES (GPS)</b>					
PUNTO (Estación)	PUNTO VISADO	ÁNGULO ≤ HORIZ	ÁNGULO ≤ VERT	COTA (m)	LONG. (m)
A	B	49°0'0''	90°48'5''	2137	143
H= 2139 (m)	D	150°8'8''	90°14'12''	2138	242
B	A	229°0'0''	89°11'55''	2139	143
H= 2137 (m)	C	108°0'0''	90°18'29''	2136	186
C	B	288°0'0''	89°41'31''	2137	186
H= 2136 (m)	D	213°43'9''	89°36'46''	2138	296
D	C	33°43'9''	90°23'14''	2136	296
H= 2138 (m)	A	330°8'8''	89°45'48''	2137	143
<b>COORDENADAS GLOBALES (GPS) DE LA POLIGONAL SAN BERNARDINO</b>					
PUNTO	NORTE	OESTE	COTA(m)		
A	19°02'22.57''	98°17'40.68''	2139		
B	19°02'26.58''	98°17'38.18''	2137		
C	19°02'23.49''	98°17'32.74''	2136		
D	19°02'15.17''	98°17'37.93''	2138		
<b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LA POLIGONAL SAN BERNARDINO</b>					
	PERÍMETRO (m)	867			
	ÁREA (m <sup>2</sup> )	4347.571			

Fuente.- Elaboración propia.

Tabla 2.1. Resumen de la poligonal San Bernardino.

## GLOSARIO.

- 1) **Fotogrametría:** Conjunto de técnicas y métodos que, mediante un proceso denominado restitución fotogramétrica, que se lleva a cabo con aparatos restituidores; se utilizan para obtener medidas reales del terreno y para elaborar mapas y planos a partir de fotografías aéreas.
- 2) **Estación total:** equipo topográfico electrónico que realiza todas las operaciones de medición y replanteo, sustituyendo las libretas de toma de datos por libretas electrónicas que se conectan directamente con el ordenador para el tratamiento de los datos con los programas adecuados. La complejidad de los cálculos es un factor cada vez de menor trascendencia, dado el incremento de la tecnología en esta rama de la ingeniería, cálculos impensables tan sólo hace unos pocos años, ahora se realizan en cuestión de minutos por medio de los ordenadores personales. Basta mencionar que un PC (Personal Computer) estándar, con el software adecuado, es capaz, hoy en día, de tratar cientos de operaciones simultáneas en segundos.
- 3) **Isopleta:** En un mapa, es la línea formada por los puntos de igual valor en una superficie estadística continua. Es llamada también **isolínea**. La más utilizada es la referida a la altitud del territorio, denominada curva de nivel. Fuente: Enciclopedia Planeta De Agostini.

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1) Montes de Oca, M. 1970. *Topografía* S.E.P., México.
- 2) Torres, A., Vállate E. 2001. *Topografía*. Cuarta Edición. Escuela Colombiana de Ingeniería, Pesaron Educación de Colombia Ltda. Bogotá.
- 3) Wall, B. 1964. *Topografía para geodestas*, vol. 1. LUZ, Maracaibo.
- 4) Dante Alcántara García, *Topografía*, McGraw–Hill; MEXICO 1990.
- 5) Álvaro Torres Nieto, *Topografía*, Edit. Norma, Colombia 1968.
- 6) Domínguez, F. 1963. *Topografía general y aplicada*. Editorial Rosset, S.A. Madrid.4
- 7) Valdés Doménech, Francisco. 1991. *Topografía*. Ediciones CEAC, Barcelona.

## CAPÍTULO III

### *IMPACTO AMBIENTAL*

#### **III.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.**

La interacción del hombre con el ambiente, en sus múltiples formas, justifica en la actualidad la existencia de numerosas disciplinas científicas que la abordan como objeto de análisis. No obstante, si bien esa relación “hombre-tierra” u “hombre-ambiente” (necesaria para la subsistencia de la especie y de la cual dependen el progreso y el bienestar social), se mantiene desde hace unos tres millones y medio de años gracias a la notable capacidad de regeneración del planeta, sólo se ha hecho manifiesta la necesidad de estudiarla en los últimos ciento cincuenta años, ante el indiscutible deterioro de los límites de capacidad regenerativa del planeta, y la consecuente necesidad de que la actividad humana sobre la naturaleza alcance un equilibrio o sustentabilidad.

Estos instrumentos sólo son posibles en una ciudad, estado o país con una amplia cultura por el medio ambiente y el medio social, por un compromiso ecológico que nos está esperando a vuelta de la esquina, y será la bisagra en la que decidamos aprovechar los valiosos recursos materiales y humanos más la experiencia en gestión ambiental que nuestros países posean y articulemos programas que en un plazo relativamente breve permitan disponer de mapas ambientales de la contaminación del aire, suelo y agua; conocer acabadamente las fuentes emisoras contaminantes y la participación relativa de cada rubro de las actividad local, municipal y estatal; analizar elementos para un mejor control de la emisión de contaminantes como guía en la toma de decisiones; disponer de herramientas de planificación, gestión, seguimiento, control y sanción; avanzar en el desarrollo de instrumentos que permitan valorar e introducir en la toma de decisiones a la opinión pública; contar con una estructura social de trabajo permanente en redes con el objetivo común del desarrollo sustentable; producir información válida que sirva como argumento favorable para la radicación de nuevos emprendimientos productivos en la provincia, que diversifiquen su base económica y generen equilibrios frente al asimétrico nivel de desarrollo, entre tantas ventajas que hoy muchos países -y no sólo los del primer mundo- ya poseen. No hablamos de ciencia ficción. Esto es posible en el corto plazo. Pero depende de todos

Una dinámica de interacción con la sociedad civil, permitirá intercambiar información a los distintos niveles sociales, a su vez que estos participen en la toma de decisiones, en la formación de instrumentos preventivos y correctivos, sean estas medidas de control, tutelaje, capacitación, concientización o educación, a través de redes institucionales, de manera que las visiones parciales y adaptadas a los intereses particulares de cada una de ellas constituyan, a la hora de las estrategias sobre bases mensurables científicamente y como suma de partes, la participación de toda la ciudadanía, garantizando el derecho de los individuos a ejercer esa intervención en forma responsable.

A modo de ejemplo, un tipo de presión cotidiano que ejercemos sobre el medio ambiente es la generación de aproximadamente dos kilogramo de residuos sólidos por habitante. Si contamos con un correcto sistema de recolección, barrido, traslado y disposición final ese volumen no alterará en absoluto el estado del entorno en el que vivimos. Basta con recordar la cantidad de veces que algún amigo viajero nos ha contado las maravillas de la civilización y cultura por el medio ambiente de los países del primer mundo, dando testimonio de que en determinada gran capital no hay un solo papel en la calle. Pues bien, en esas metrópolis, capaces de absorber la carga al entorno

por la excelencia de su gestión, se genera paradójicamente un volumen de residuos que cuando menos triplica a la media latinoamericana.

En el ámbito mundial, la Manifestación de Impacto Ambiental aparece como legislación interna de los países firmantes de los principios de la Declaración de Río, que precisa en su principio 17: "Deberá emprenderse una evaluación del impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) se aplica en los países más desarrollados U.S.A., 1969; Canadá, 1973; Australia, 1974; Holanda, 1981; Japón, 1984; CEE 1985. También se utiliza en países en vías de desarrollo como son Colombia, 1974 y Tailandia y Filipinas. En África, algunos países como Ruanda y Sudan tienen experiencia en la aplicación de este instrumento de gestión medioambiental.

Además recomiendan su utilización importantes organizaciones internacionales:

- a) Programa de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (P.N.U.M.A).
- b) Organización Mundial de la Salud (O.M.S).
- c) Organización para la Cooperación y Desarrollo en Europa (O.C.D.E).
- d) Comunidad Económica Europea (C.E.E).
- e) Comisión Económica para Europa (CEPE de la O.N.U).

En Estados Unidos, la Protección Nacional del Medioambiente (National Environmental Protection Act, NEPA) recoge en 1969 a nivel federal de una forma pionera las Evaluaciones de Impacto Ambiental.

Tanto la NEPA como las EIA han sido objeto de muchas críticas en Norte América. En USA donde la experiencia con los EIA es más amplia que en ninguna otra parte del mundo, se ha criticado que a pesar de ello, no se ha conseguido en muchas ocasiones asegurar una consideración a tiempo de los impactos medioambientales en los diseños de proyectos

La E.I.A. en Canadá la Evaluación del Medioambiente y Revisión de Procesos (The Environmental Assessment and Review Process, EARP) fue establecida por el Gabinete Federal en 1973 y revisada en 1977. En 1984 el proceso fue reforzado y actualizado al emitirse las Guías para el EARP. La orden que lo aprobó es actualmente la máxima autoridad para el proceso de evaluación de impacto ambiental.

“Reafirma aquellos aspectos de la política y procedimientos originales que se han introducidos con los años. Los roles y las responsabilidades están definidos precisamente y se reconfirma la participación pública como un elemento esencial del proceso desde el principio al final”.

Canadá ha adoptado, al menos a nivel federal, un enfoque de EIA casi idéntico al de USA.

La Comunidad Económica Europea aprueba el 3 de Julio de 1985 la Directiva para la Evaluación del Impacto Ambiental 85/337, que tenía que ser implementada por cada estado miembro el 3 de Julio de 1988. La situación anterior en los estados miembros en relación a las EIA es diferente según los países, aunque pocos contaban con procedimientos de evaluación global tal como se entienden en la Directiva. A pesar de que todos los países miembros deben homogeneizarse con la Directiva europea, existen una serie de provisiones a realizar por cada estado, que pueden marcar ciertas diferencias importantes. Estas diferencias se sitúan por ejemplo en aspectos como:

“En el ritmo de implementación de la Directiva. En la cobertura requerida para los proyectos del Anexo II. En la interpretación de los requerimientos de información contenida en el artículo 5. En las provisiones hechas para la consulta y participación pública como está contenida en los artículos 6-8”.

En las últimas tres décadas, las nociones de “ambiente” y “desarrollo sostenible y sustentable” se han introducido gradualmente en el inconsciente colectivo, trascendiendo a lo científico. Ello se evidencia en innumerables formatos y discursos; leyes y normas; gubernamentales y de la sociedad civil; federales y estatales.

### III.2 SITUACIÓN EN MÉXICO.

La problemática del deterioro ambiental se presenta como una de las principales preocupaciones del fin del siglo para el planeta. Ya en 1992, la Cumbre de la Tierra fue una de las reuniones internacionales que mayor número de Estados convocó, en la cual dos rubros despertaron gran interés: el cambio climático y la conservación de la biodiversidad.

Desde los años 70<sup>s</sup> se hicieron algunos esfuerzos basados en el esquema de Comando Control, lo que significa, básicamente, la interacción con la autoridad, la que establece una serie de permisos, estándares y controles con la intención de regular el funcionamiento de una instalación o un proyecto determinado, para que su impacto sea cada vez menor, a la vez que en caso de incumplimiento, se impondrían las sanciones o medidas de tipo administrativo a quienes no se ajusten a las reglas.

El término de evaluación de impacto ambiental aparece por primera vez en la Legislación Ambiental de México en 1982, como instrumento para la aplicación de la política ambiental como lo delimitaba la Ley Federal de Protección al Ambiente, que en su artículo 7 establecía lo siguiente: "Los proyectos de obras públicas o de particulares que puedan producir contaminación o deterioro ambiental que excedan los límites previsible marcados en los reglamentos y normas, deberán presentarse a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), para que ésta los revise y pueda resolver sobre su aprobación, modificación o rechazo, con base en la información relativa a una manifestación de impacto ambiental, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para minimizar los daños ambientales durante su ejecución o funcionamiento".

En el transcurso de 1984 y años subsecuentes, se hacen modificaciones, como fue el caso de la delegación de atribuciones a la Secretaría de Salud y por la de Desarrollo Urbano y ecología.

Respecto a los Programas Nacionales relativos al Medio Ambiente, es importante anotar que entre los aspectos más específicos de la política ecológica general del Programa Nacional de Ecología 1984-1988 se incluía la **Manifestación de Impacto Ambiental**, que de alguna manera dio origen a que como parte de los instrumentos de política ecológica de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en 1988 se incluyera la Evaluación del Impacto Ambiental.

En la fracción XVIII del artículo 3° de la LGEEPA se establece que la **Manifestación de Impacto Ambiental** es el "documentos mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenderlo en caso de que sea negativo".

En junio de 1988, se publica y entra en vigor el Reglamento de la LGEEPA en materia de impacto ambiental, que en su artículo 5<sup>to</sup> señala, "deberán contar con previa autorización de la Secretaría, en materia de impacto ambiental, las personas físicas o morales que pretendan realizar obras o actividades públicas o privadas, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites o condiciones señalados".

En 1992, con las modificaciones a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, se faculta a la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) para evaluar las

manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de desarrollo que le presenten los sectores públicos, social y privado de acuerdo con la normatividad aplicable, cuyas facultades fueron transmitidas a la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAT), al momento en que se modificó la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal para dar vida a la entidad encargada del medio ambiente en nuestro país.

En 1996, se modifica la LGEEPA porque la ley contenía deficiencias y ambigüedades que evitaban que el "instrumento de política ecológica" pudiera tener efectividad y lejos de ello, creaba una desmotivación al inversionista para someter sus proyectos a evaluación, sobre todo por la enorme discrecionalidad con que actuaba la autoridad; tan sólo por mencionar algunas de las grandes deficiencias que existían y que en la actualidad no se han podido eliminar en su totalidad, destacaban la centralización en el gobierno federal de una gran cantidad de decisiones, la ambivalencia en el establecimiento del tipo de obra o actividad sujeta a evaluación, la que en innumerables ocasiones los particulares debían desarrollar su manifestación para ser evaluada, por lo menos, por dos de los tres niveles de gobierno, así como la falta de procedimientos administrativos claros y mecanismos de participación social que pudieran otorgar transparencia y certidumbre tanto al promovente como a la sociedad durante el proceso de decisión.

En los principales cambios en materia de impacto ambiental se encuentra la intención de desarrollar una lista o descripción más ajustada a la realidad, o por lo menos que proporcionara mayor claridad respecto a las obras o actividades cuyo impacto ambiental corresponde evaluar por el gobierno federal. En este sentido, en la actualidad se cuenta con una LGEEPA publicada en 1988 y modificada conforme al decreto publicado el 13 de diciembre de 1996, que en su artículo 28 señala que "la evaluación del Impacto Ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría define las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidas en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas con el fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente".

En el proyecto de reglamento mencionado se ha desarrollado una lista razonablemente exhaustiva de las obras y actividades que previa su operación deben obtener autorización en materia ambiental (aun cuando se presentan algunas inconsistencias en la descripción de ciertas obras y actividades que deben ser sometidas a evaluación), incluido el "derecho" de la autoridad ambiental por la cual, al tener conocimiento de que se pretende iniciar una obra o actividad, de competencia federal, o que ya iniciada, su desarrollo pudiera causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública por problemas ambientales o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas aplicables, notificará al interesado su determinación para que someta el proyecto al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, y pueda aplicar las medidas de seguridad establecidas en el artículo 170 de la LGEEPA, cuando lejos de presentarse como tal, tan sólo es su obligación.

El Análisis o Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) ha sido definido como un estudio de los cambios probables en algunas de las características socioeconómicas y biofísicas de un medio ambiente, así como cualquier modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza. Sin embargo, sólo las modificaciones originadas por las actividades humanas son sometidas a evaluación por parte del Estado mexicano. En este sentido, la evaluación del impacto ambiental (EIA) es un instrumento de la política ambiental dirigido al análisis detallado de diversos proyectos de desarrollo y del sitio

donde se pretenden realizar, con el propósito de identificar y cuantificar los impactos que su ejecución puede ocasionar al ambiente. Con esta evaluación es posible establecer la factibilidad ambiental de un proyecto (mediante el análisis costo-beneficio ambiental) y determinar en caso de que se requieran las condiciones para su ejecución, así como las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales, a fin de evitar o reducir al mínimo los efectos negativos sobre el medio y la salud humana.

El medio ambiente claramente incluye fenómenos como los bosques, el aire y los espacios físicos inmediatos donde vivimos. Pero dentro de estos ambientes naturales e influenciados por los seres humanos, hay todavía otros ambientes que pueden llamarse psicológicos: ambientes de la mente en los cuales tiene trabajo, el placer, actividades de aprendizaje.

A lo largo de este documento se irá precisamente profundizando en aquellos aspectos del tipo de análisis de impacto que se realiza, que en definitiva son los que concretizan estas indicaciones que a nivel de definición general se han introducido aquí. Pero como conclusión, parece aquí interesante indicar las propuestas de resultados a alcanzar según contenidos por las EIA.

Una peculiaridad derivada del presente trabajo es la incorporación e integración de modelos y herramientas sistematizadas y funcionales del área de la gestión, dentro de un área propiamente técnica como lo es, el área ambiental. Estas herramientas y modelos constituyen la base de variadas normas de gestión en varios campos de aplicación, uno de ellos el de la calidad. Por ello, la metodología ha sido conformada tomando los elementos más contundentes y de aporte en la gestión, considerando además las necesidades particulares y peculiares del caso de estudio.

En cualquier caso, las diferentes fases de que consta un EIA no es un proceso lineal ni rígido. Se trata más bien de un proceso que se podría visualizar como de bucles circulares dirigiéndose a una decisión, de manera que los avances en las respectivas fases van a permitir redefinir más claramente el problema.

## **APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.**

### **III.3 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL CONJUNTO HABITACIONAL SAN BERNARDINO.**

El estudio de impacto ambiental presentado en este capítulo se ha realizado tomando como base las guías proporcionadas por SEMARNAT para la elaboración de manifestaciones ambientales. No obstante, se han consultado otras referencias recomendadas por la misma Secretaría, como es el caso de la guía metodológica propuesta por Conesa-Fernández 1995.

Adicionalmente se han consultado otros manifiestos ambientales, bases de datos de INEGI, CNA, y del mismo H. Ayuntamiento Municipal de San Andrés Cholula, todo ello con objetivo de elaborar un documento lo más preciso posible. A continuación se presentan los detalles del estudio.

### **III.4 DATOS GENERALES DEL PROYECTO, PROMOVENTE Y RESPONSABLE DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.**

#### **Proyecto.**

Construcción de un conjunto habitacional, para cubrir la demanda de la población en éste rubro. En el capítulo anterior se mostraron los planos del municipio de San Andrés Cholula en el cual se ubica el predio San Bernardino, así como, la ubicación específica del área del proyecto, los lotes colindantes, las calles de acceso y las vías de comunicación.

#### **Nombre del Proyecto.**

Unidad Habitacional San Bernardino, Municipio de Cholula, Puebla.

#### **Ubicación del Proyecto.**

**Calle y número:** Camino a Tlaxcalancingo S/N. **Código postal:** C.P. 72820 **Entidad federativa:** Puebla. **Municipio:** San Andrés Cholula. **Localidad:** San Andrés Cholula.

**Duración Total.**- El tiempo de vida útil del proyecto es indefinido (Preparación del sitio, Construcción, Operación- Mantenimiento y por último Abandono).

#### **Responsable de la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental.**

**Nombre o Razón Social:** Rivera Carmona Delfino

**Registro Federal de Contribuyentes o CURP:** RICD701105HGTVRL04

**Nombre del responsable técnico del estudio:** Rivera Carmona Delfino

**Dirección del responsable técnico del estudio.**

Calle y número: Palmera Datilera #77

Colonia: El Rosal

Código postal: 10600

Entidad federativa: Distrito Federal

Municipio o delegación: La Magdalena Contreras

Teléfono y fax: 01 (55) 56-68-30-62

Correo electrónico: [dolphinriv2007@hotmail.com](mailto:dolphinriv2007@hotmail.com)

### **III.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

#### **Información General del Proyecto.**

El municipio de san Andrés Cholula, tiene como uno de sus principales objetivos, la urbanización ordenada, razonada y con visión a futuro de una alta calidad de vida para sus habitantes. Por ello y de acuerdo con su Plan Maestro de Desarrollo para la creación de nuevos espacios habitacionales, se contempla la construcción de un inmueble



denominado Conjunto Habitacional San Bernardino. Estas nuevas instalaciones permitirán ofrecer la infraestructura, servicios, seguridad y confort necesario para desarrollar una vida digna y de calidad para todos sus habitantes.

#### **Selección del Sitio.**

Por su ubicación se considera que el sitio es el adecuado para la realización del proyecto, por encontrarse inmerso en el área de crecimiento y expansión del centro de San Andrés Cholula. De este modo no se modifica el uso actual de suelo del predio, por lo demás técnico y socio- económicamente el lugar es factible para el desarrollo del proyecto por la cercanía de la infraestructura con otros asentamientos humanos.

#### **Ubicación Física del Proyecto y Planos de Localización.**

El predio San Bernardino se localiza en el municipio de San Andrés Cholula, Puebla, específicamente en Camino a Tlaxcalancingo S/N, constituye prácticamente una zona conurbada al poniente de la Ciudad de Puebla. El predio objeto del estudio se encuentra en la dirección Poniente de la ciudad de San Andrés Cholula; localizado al Oriente con el Periférico Ecológico, al Sur con la Carretera Federal Puebla Atlixco y al Norte con La Vía Rápida a Puebla.

#### **Uso Actual de Suelo y/o Cuerpos de Agua en el Sitio del Proyecto y en sus Colindancias.**

A continuación se describen brevemente los principales usos que se le dan al suelo y a los cuerpos de agua en la zona:

- a) Usos de suelo: asentamientos humanos (habitacional y residencial), educativo, comercio y ecoturismo.
- b) Usos de los cuerpos de agua: abastecimiento público, recreación, riego de áreas verdes, agricultura.

El uso de suelo de la zona en que se localiza el predio, es habitacional, residencial, industrial y especial (educativo). Por lo tanto, el funcionamiento y construcción del Conjunto proyectado no altera el uso actual del suelo en la zona.

#### **Urbanización del Área y Descripción de Servicios Requeridos.**

En la zona en que se encuentran el predio del Conjunto Habitacional, se cuenta con los servicios básicos como son agua potable, energía eléctrica, líneas telefónicas, ductos de gas natural, drenaje y vías de acceso pavimentadas.

Para el funcionamiento del proyecto del Conjunto Habitacional no serán necesarios servicios adicionales a los que se tienen destinados para el resto de la población. La toma de los servicios mencionados, se hará según los avances de las obras y los tiempos dispuestos en los reglamentos municipales para disponer del servicio una vez solicitado ante las oficinas pertinentes del municipio, por lo que, únicamente se ampliarán las instalaciones del proyecto de las ya existentes.

Durante las labores de preparación de la obra se deberá construir una bodega provisional para el almacenamiento de materiales y equipo. Este almacén temporal se realizará a base de madera de tercera y lámina galvanizada multipanel, además de una caseta prefabricada a base del mismo material.

Para el almacenamiento de agua se instalará un tanque de polietileno para el almacenamiento mínimo de 5000 L. de agua o bien se llevarán alimentaciones hidráulicas para tomas de agua de la misma red de la comunidad.

#### **Descripción de las Obras y Actividades Provisionales del Proyecto.**

Como se mencionó anteriormente, se tiene contemplada la construcción de una bodega provisional, además de la instalación de sanitarios portátiles para uso de los trabajadores, los cuales recibirán el mantenimiento adecuado por parte del proveedor, lo que evitará la generación de malos olores en la zona de trabajo.

Se colocará también de manera provisional un cercado a base de triplay de madera en la zona perimetral de la superficie en que se realizarán las actividades de construcción.

Esto se realizará con el propósito de evitar que los trabajos de obra afecten las actividades normales de la Comunidad y para la misma seguridad y comodidad de los trabajadores del Conjunto Habitacional.

#### **Etapas de Construcción.**

Una vez realizados los despalmes y excavaciones correspondientes a la preparación del sitio, se procederá a realizar la cimentación del edificio, posteriormente se realizarán; columnas de concreto; muros; cadena y castillos; registros; cajas de descarga para muebles y bajadas de agua pluvial; cimbra en columnas, traveses y losas; traveses de concreto; pisos comunes y de cemento; aplanados y recubrimientos; plafones y azoteas; instalaciones hidráulicas y sanitarias; instalación eléctrica; cancelería; carpintería; cerrajería; vidriería, tablaroca y pintura.

#### **Etapas de Operación y Mantenimiento.**

- a) Descripción general del tipo de servicios y/o productos que se brindarán en los locales del primer nivel; El servicio será de índole comercial y prestadora de servicios. Los siguientes niveles serán netamente habitacionales.
- b) El acceso al Conjunto Habitacional San Bernardino será restringida, únicamente a los inquilinos de los diferentes edificios, por medio de una tarjeta de identificación previamente actualizada y corroborada con el oficial de seguridad.
- c) La seguridad interna será a cargo de una compañía privada prestadora del servicio.
- d) El mantenimiento de todas las instalaciones; hidráulicas, sanitarias, de gas, alcantarillado; pasillos, herrería, elevadores, jardinería, alumbrado público interior, correrá a cargo de la asamblea de administración del conjunto, conformado por los inquilinos.

#### **Etapas de Abandono de Obra.**

No se tiene un programa tentativo de abandono del Conjunto.

#### **Sustancias no Peligrosas.**

Las sustancias que serán utilizadas durante el funcionamiento y mantenimiento del Conjunto serán únicamente las necesarias para realizar la limpieza de las instalaciones como son detergentes, jabones, sosa caustica, desengrasantes y algunos desinfectantes. La cantidad máxima de utilización mensual no rebasa los 10 kilogramos de cada una de sustancias mencionadas y serán almacenadas en la bodega de mantenimiento.

#### **Residuos Peligrosos.**

Para este apartado se comenta que en las etapas de preparación del sitio y de construcción, no se emplearán sustancias que por su corrosividad, reactividad, toxicidad o inflamabilidad pudieran considerarse como peligrosas según la Norma Oficial Mexicana NOM-052- SEMARNAT-93 de los Residuos Peligrosos: Corrosivo, Reactivo, Tóxico, Inflamable y Biológico infeccioso CRETIB ( SEMARNAT, 2005 ). Sólo en la etapa de operación se tendrá 12 kg de sosa caustica para desinfección al mes, que por el tipo y cantidad no producen problema ambiental.

### **III.6 GENERACIÓN, MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, LÍQUIDOS Y EMISIONES A LA ATMÓSFERA.**

#### **Residuos Sólidos.**

Por lo que respecta a la etapa de preparación del terreno y construcción se generarán residuos provenientes de la misma obra, como: tierra, grava, arena, madera, los cuales serán retirados por la Empresa que esté construyendo. Por lo que respecta a la basura que generen los trabajadores en la obra, se considera colocar botes de basura en sitios estratégicos para su depósito y que finalmente el Departamento de Limpia del municipio se encargue de la recolección y disposición final.

Durante la etapa de operación se prevé la generación de basura en las diferentes áreas (residuos de oficinas, comercios, laboratorios y la de los propios habitantes). Esta basura tendrá como fin lo anteriormente descrito. Los residuos sólidos generados serán recolectados por la empresa concesionaria Servicios Urbanos de Puebla (SUP) a través de un contrato que tiene con el municipio.

#### **Residuos Líquidos.**

Durante la etapa de construcción se prevé una nula cantidad de descarga de aguas residuales, ya que únicamente se producirán aquellas que se generen en los sanitarios portátiles de los trabajadores. La empresa proveedora del servicio se encargará del manejo, tratamiento y disposición de las aguas residuales generadas en estos sanitarios. Por lo que respecta a las aguas generadas durante la etapa de operación del Conjunto, éstas serán de dos tipos:

- 1) Las provenientes de las precipitaciones pluviales.
- 2) Las aguas residuales provenientes de los comercios del primer nivel. Las aguas provenientes de los departamentos de los diferentes edificios, la cual descargará en el sistema de alcantarillado municipal, sin previo tratamiento pues se trata de aguas residuales domésticas.

#### **Emisiones a la Atmósfera.**

Durante las etapas de preparación del sitio y de construcción se producirá polvo, además de algunas emisiones moderadas de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y algunos hidrocarburos (HC). Las emisiones de estos gases provienen únicamente de la operación de maquinaria y equipo utilizado en las actividades constructivas.

#### **Infraestructura Para el Manejo y la Disposición Adecuada de los Residuos.**

El municipio de San Andrés Cholula cuenta con un convenio de recolección de basura con la empresa Servicios Urbanos de Puebla (SUP).

### **III.7 VINCULACIÓN CON LOS ORDENAMIENTOS JURÍDICOS APLICABLES EN MATERIA AMBIENTAL, Y EN SU CASO, CON LA REGULACIÓN DE USO DE SUELO.**

Por orden jerárquico se tiene que el marco legal principal es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; posteriormente, las leyes y los reglamentos sobre protección ambiental, y finalmente las normas oficiales mexicanas derivadas de estos.

Adicionalmente, se presentan las disposiciones del Plan Nacional de Desarrollo así como el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, el Programa para el Desarrollo Sustentable del Gobierno Federal y, finalmente, las regulaciones del estado de Puebla y del municipio de San Andrés Cholula, respectivas a uso de suelo y ordenamiento ecológico, con la finalidad de plantear la vinculación directa o indirecta del proyecto con estas disposiciones.

#### **Convenios Internacionales.**

**Convenio 161** sobre los servicios de salud en el trabajo (Adoptado en Ginebra, Suiza, el día 26 de junio de 1985). Aprobado por el Senado, según Decreto en el Diario Oficial el día 28 de noviembre de 1986. Publicado en el Diario Oficial de la Federación del día 13 de abril de 1987. La finalidad principal de este convenio es establecer los lineamientos necesarios para proporcionar la protección de los trabajadores contra las enfermedades, sean o no profesionales, y contra los accidentes de trabajo.

**Convenio 155** sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo (Adoptado en Ginebra, Suiza, el 22 de junio de 1981). Aprobado por el Senado el 28 de octubre de 1983, según Decreto publicado en el Diario Oficial del 1o. de diciembre de

1983. Entró en vigor el 11 de agosto de 1984 y para los Estados Unidos Mexicanos entra en vigor el 1o. de febrero de 1985. Estipula diversas proposiciones relativas a la seguridad, la higiene y el medio ambiente de trabajo, con objeto de prevenir los accidentes y los daños para la salud que sean consecuencia del trabajo, guarden relación con la actividad laboral o sobrevengan durante el trabajo, reduciendo al mínimo, en la medida en que sea razonable y factible, las causas de los riesgos inherentes al medio ambiente de trabajo.

#### **Leyes.**

- a) **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.**
- b) **Ley de Desarrollo Urbano Sustentable del Estado de Puebla.**
- c) Establece las normas para planear, ordenar y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento ordenado de los centros de población, así como de las zonas y conjuntos urbanos.
- d) **Ley de Planificación Integral y Mejoramiento Urbano del Estado de Puebla.**  
Establece la utilidad pública la planificación integral y el mejoramiento urbano de sus poblaciones. Entendiéndose por planificación integral, los estudios tendientes al conocimiento de las entidades, desde los puntos de vista histórico, físico-geográfico, humano y de productividad de los recursos naturales y por mejoramiento urbano, la formación de planos regulares para su aplicación en las poblaciones del Estado.
- e) **Ley de Construcciones del Estado de Puebla.**  
Regula las construcciones que se ejecuten en el territorio del Estado, dividiendo a los municipios en tres categorías.

#### **Reglamento.**

#### **Reglamentos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.**

Publicado en el DOF el 7 de junio de 1988. De observancia en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción y tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de impacto y riesgo ambiental.

### **III.8 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL Y SEÑALAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, DETECTADA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO.**

#### **Delimitación del Área de Estudio.**

La superficie del predio señalado para el Conjunto Habitacional San Bernardino, se encuentra en el Municipio de San Andrés Cholula en el estado de Puebla. El acceso principal al Conjunto es por Camino a Tlaxcalancingo se localiza a 400 m de la carretera Puebla–Atlixco en dirección sur, tal como se ilustra en la figura 2 del capítulo 2 (Estudios de Topografía).

#### **Caracterización y Análisis del Sistema Ambiental.**

Para esta sección se consultó de manera importante el Informe Preventivo elaborado por la empresa Consultoría, Ingeniería, Proyectos y Supervisión S.A de C.V.

#### **Aspectos Abióticos.**

##### **a) Clima.**

De acuerdo a la clasificación de Köppen (UNAM, 2003), el clima que registra el Municipio de San Andrés Cholula es templado sub-húmedo con lluvias en verano (C (w2) (w)).

El municipio se ubica dentro de la zona de los climas templados del valle de Puebla; se identifica un solo clima: Clima templado sub-húmedo con lluvias en verano. Su temperatura media anual fluctúa entre 18° y 20°, la media del mes más frío (Enero) entre

los 10° y 16° y la del mes más cálido (Mayo) entre 20° y 22° C. Lo cual denota un clima sin variaciones extremas, durante el ciclo anual.

La Figura 3.1 muestra el climograma correspondiente al valle de Puebla, representativa para el Municipio de San Andrés Cholula.

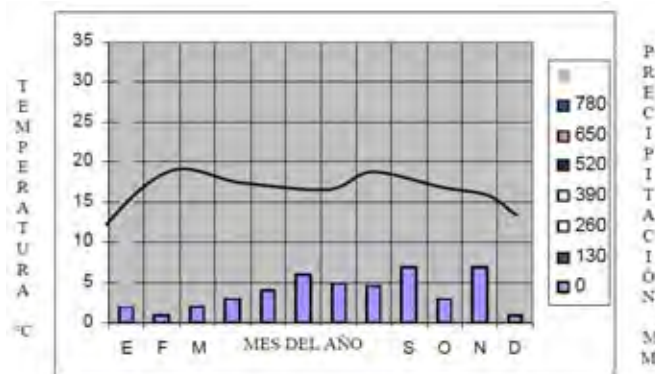


Figura 3.1.- Climograma de Puebla (Reproducido de: CNA, 2003)

Fuente.- CNA, 2003

### Fenómenos climatológicos (nortes, tormentas tropicales y huracanes, entre otros eventos extremos).

Los ciclones tropicales se clasifican de acuerdo a la intensidad de los vientos máximos sostenidos. Cuando éstos son mayores 119 Km/h se le denomina huracán, cuando son entre 61 km/h y 119 Km/h tormenta tropical y cuando los vientos son menores de 61 Km/h depresión tropical. La Ciudad de Puebla pertenece a la zona XIII de México, así como también el Municipio de San Andrés Cholula, y solo se tiene registrado 2 tormentas tropicales en los últimos 20 años. (Unidad del servicio meteorológico CNA, 2005)

### Temperatura promedio mensual.

La temperatura más baja se presentó en el año de 1999 con 4.1°C en el mes de Enero. La temperatura más alta se registró en el año de 1995 con 18.2 °C en el mes de Junio. Mientras que la promedio anual es de 11.1°C (CNA, 2003).

### Evaporación promedio mensual en 24 hrs.

La evaporación promedio se presentó en Octubre de 1996 con 4.99 mm en 24 hrs (CNA, 2003).

### Vientos dominantes (dirección y velocidad).

De acuerdo a datos obtenidos del Observatorio Meteorológico de la Ciudad de Puebla, los vientos secos y fuertes del Oeste dominan desde finales de Octubre a mediados de Mayo.

### Precipitación pluvial (anual).

La precipitación promedio se registro en el año de 1999 con 3.48 mm por 24 horas (CNA observatorio México 68, Puebla 2003).

## b) Geología y geomorfología.

### Características litológicas del área (descripción breve).

Los derrames basálticos del Cuaternario, Q (Igeb), forman parte del volcanismo básico que dio origen a la configuración típica del Eje Neovolcánico. Tiene una extensión amplia y constituyen numerosos aparatos volcánicos y derrames lávicos. Esta unidad incluye rocas basálticas, material piroclástico de tamaño "lapilli", gran cantidad de pómez y escoria así como bloques, "bombas" de diferente tamaño que se encuentran escasamente consolidados y localmente estratificados.

Ampliamente distribuidos por toda la superficie estatal, se encuentran depósitos aluviales cuaternarios, Q(al) que rellenan valles fluviales y conforman planicies, con espesores que pueden variar desde decenas de centímetros, hasta 200 m ó 300 m estos depósitos están constituidos por partículas del tamaño de arcilla, limo, arena y grava, que van de subangulosos a bien redondeados. El origen de los clastos es variado, y comprende fragmentos de cuarzo, feldespastos, micas, arcillas y fragmentos de rocas circundantes. Son abundantes los detritos de origen volcánico, especialmente hacia la parte centro y norte del estado. (Consultoría, Ingeniería, Proyectos y Supervisión S.A de C.V.)

**Características geomorfológicas más importantes del predio (tales como: cerros, depresiones, laderas).**

El Municipio de San Andrés Cholula se encuentra comprendido dentro de la Provincia Eje Neovolcánico, la cual abarca una gran porción del centro y algunas áreas del Noroeste de Puebla. El Municipio colinda al Norte con la Sierra Madre Oriental y la Llanura Costera del Golfo; al Sur colinda con la Sierra Madre del Sur.

El Eje Neovolcánico es una enorme franja de rocas volcánicas de diversos tipos y texturas, como derrames lávicos. Todas las brechas y cenizas volcánicas que fueron emitidas sucesivamente por un gran número de volcanes durante el Cenozoico, y que actualmente forman un extenso y grueso paquete superpuesto a las rocas del Mesozoico. Las mejores características del paisaje de esta provincia en territorio poblano son, por un lado, los estratos-volcanes de mayor altura en el país: El Pico de Orizaba, el Popocatepetl, el Iztacíhuatl y la Malinche. (Consultoría, Ingeniería, Proyectos y Supervisión S.A de C.V.) El predio en que se localiza el proyecto es totalmente plano.

**Presencia de fallas y fracturamientos.**

En todo el municipio de San Andrés Cholula no se tiene registro alguno de presencia de fallas y/o fracturamientos, y por lo tanto, en la superficie del predio designada para la realización del Conjunto tampoco existen fallas o fracturamientos.

**Susceptibilidad de la zona a sismicidad, deslizamiento, derrumbes, inundaciones, otros movimientos de tierra o roca y posible actividad volcánica.**

El municipio de San Andrés Cholula, de acuerdo a la carta sísmica del Estado de Puebla, pertenece a la zona 2 denominada Penisísmica, en donde los movimientos telúricos son menos frecuentes y cuya intensidad promedio en la Escala Richter es de 5.0. El Mapa de Peligros del Volcán Popocatepetl, elaborado por el Instituto de Geofísica de la UNAM, clasifica al sitio de estudio en un área sin peligros por flujo de materiales volcánicos.

Por lo que respecta a las áreas de peligro por caída de materiales volcánicos, la zona de estudio se encuentra en el área 3, la cual podría ser afectada en pequeñas proporciones por la caída moderada de arena volcánica y pómez. No habría caída durante erupciones pequeñas aunque pueden acumularse decenas de centímetros durante erupciones grandes.

**c) Suelos.**

De acuerdo con la carta edafológica (escala 1:500 000) y con el cuaderno de la Síntesis Geográfica del Estado de Puebla, en el municipio de San Andrés Cholula se localiza el suelo Feozem Háplico. Del cual su distribución es muy amplia, encontrándose en la Llanura Costera del Golfo Norte hacia Jalpan, en el Eje Neovolcánico hacia Chignahuapan, Oriental, Santa María del Monte y Cholula, y en sitios muy localizados de la Sierra Madre del Sur. Ocupan una superficie que representa 7.38% del área estatal. Estos suelos están influidos en su formación por las características climáticas, mismas que determinan la cobertura vegetal que favorece procesos de formación de humus; la

meteorización y deslúe, son también procesos importantes que otorgan la peculiaridad a éste suelo. La profundidad es variable dependiendo del clima específico así como de la posición topográfica en que se encuentran, por lo cual llegan a tener de 30 a más de 100 cm.

Específicamente en el municipio de San Andrés Cholula se encuentra el suelo Feozem Háplico que es de color pardo oscuro con buenos contenidos de materia orgánica, textura media y fragmentos de la roca sedimentaria en la cual descansa.

#### **d) Hidrología superficial y subterránea.**

##### **Hidrología superficial.**

Región hidrológica RH-18, Río Balsas Ad (Atoyac–San Martín Texmelucan, Tabla 3.1). El rasgo hidrográfico más sobresaliente de esta zona, es el río Atoyac, que es además la corriente más importante del estado. Se forma a partir de la unión de los ríos San Martín o Frío, de Puebla y Zahuapan de Tlaxcala. El primero, baja de la Sierra Nevada, el segundo, de la sierra de Tlaxco. En la ciudad de San Martín Texmelucan, las aguas de dicha corriente y sus afluentes, se aprovechan en las actividades agrícolas, domésticas e industriales. Esta porción se caracteriza por lo accidentado de su topografía y el grado de pendiente de los cauces de sus corrientes que, sin control, podrían causar pérdidas en la agricultura. A lo largo, del río Atoyac recibe las aportaciones de las corrientes permanentes de los ríos Nexapa, Mixteco y Tlapaneco. Al ingresar al estado de Guerrero, cambia su nombre al de Mezcala y posteriormente, al de Balsas. El escurrimiento medio anual de los ríos Atoyac y Nexapa, se estima en 458 mm<sup>3</sup>. (Consultoría, Ingeniería, Proyectos y Supervisión S.A de C.V).

<b>Regiones hidrológicas que comprende el Estado de Puebla</b>		
<b>Región Hidrológica</b>	<b>% Superficie Estatal</b>	<b>Precipitación Anual</b>
No. 18 "Balsas".	60.1 % (127 municipios)	746.6 mm Lluvia
No. 27 "Tuxpan-Nautla".	25.5 % (63 municipios)	2,800.2 mm
No. 28 "Papaloapan".	14.2 % (27 municipios)	689 mm
No. 26 "Panuco"	0.2 %	Por la superficie, no se considera

**Tabla 3.1.- Regiones hidrológicas del estado de Puebla.**

Fuente.- Dirección de obras hidráulicas del estado de Puebla.

##### **Análisis de la calidad del agua.**

No existen cuerpos de agua superficial involucrados ni en el desarrollo ni en la operación del proyecto, por lo tanto no se presentan análisis.

Es importante comentar que las aguas residuales generadas durante la operación del edificio se descargarán hacia el drenaje existente, y que se encuentra a 50 m de distancia

##### **Hidrología subterránea.**

El acuífero del valle de Puebla está constituido en su parte superior, por materiales aluviales no consolidados (grava, arena y arcilla), que en conjunto, presentan una permeabilidad general media–alta a alta. El espesor promedio es de 60 a 100 m; hacia sus bordes alcanza desde escasos metros hasta unos 200 m en el área de la ciudad de Puebla.

Existen también horizontes de trabertino de algunas decenas de metros de espesor. El nivel estático varía de 5 a 90 m. La parte inferior de acuífero está formada por basalto, toba y andesita fracturada, de varios cientos de metros de espesor, las cuales están limitadas en la parte inferior por rocas calcáreas, consideradas como el basamento geohidrológico de la cuenca. Ambas partes se encuentran separadas por un horizonte arcilloso muy poco permeable que tan sólo permite una mínima conexión hidráulica entre ellas y confina prácticamente a los mantos de aguas inferiores. Esta zona geohidrológica tiene una superficie aproximada a 4.32% de la superficie estatal y

alberga 1 100 aprovechamientos, de los cuales 731 son pozos y 369 norias. Para este valle, se estima una recarga global de 314 Mm<sup>3</sup> y una extracción de 287 Mm<sup>3</sup> anuales. Sin embargo, los mayores volúmenes de extracción se localizan en zonas relativamente reducidas, como en el área urbana de la ciudad de Puebla, lo que ocasiona abatimientos locales del nivel freático.

El área de estudio de encuentra localizada en la zona de aprovechamiento Atoyac – San Martín Texmelucan, que es la que tiene la mayor disposición de agua especialmente en su parte occidente ya que su condición de explotación se encuentra en subexplotada, en ésta zona el sentido de la dirección del flujo subterráneo es de poniente a oriente y cuenta con una permeabilidad en materiales no consolidados alta.

Localización del recurso; profundidad y dirección; usos principales y calidad del agua no se prevén afectaciones directas o indirectas a cuerpos de agua subterráneos o superficiales, pues las actividades que se desarrollarán en las instalaciones del Conjunto no implican nuevos aprovechamientos de cuerpos de agua.

### **Aspectos Bióticos.**

#### **Vegetación terrestre.**

La construcción del proyecto afectará la vegetación en forma mínima, ya que la superficie de ocupación actualmente corresponde a un espacio abierto con tres árboles (ahuehuete, míspero y pirul). Se reforestará con diez árboles de cada especie según la normatividad del Estado de Puebla y en el lugar donde lo disponga y reponerlos en cantidad con árboles de la especie que la constructora elija.



**Figura 3.2.- Vegetación del área a construir (Árbol Ahuehuete).**

Fuente.- Elaboración Propia



**Figura 3.3.- Vegetación del área a construir (Árbol Míspero).**

Fuente.- Elaboración Propia



**Fauna.**

La fauna que se pueden encontrar en la zona corresponde únicamente a algunas especies domésticas (tabla 3.2).

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Golondrina Negra	Progne Modesta
Lagartija	Phrynosoma Douglassi
Tortolita	Scardafella Inca
Gorrión	Passer Domesticus
Colibrí barba negra	Archilochus Alexandri

**Tabla 3.2.- Especies que se observan en el predio y en áreas colindantes.**

**Paisaje.**

El paisaje actual del predio no se verá alterado con el desarrollo del proyecto, ya que la arquitectura del nuevo edificio es acorde con los estilos usados en el Estado de Puebla, para no impactar a las arquitecturas y estilos ya existentes, sobre todo en el centro. La visibilidad en el predio tampoco se verá afectada, ya que las dimensiones y la ubicación del predio permiten “absorber” la construcción del proyecto.

### III.9 IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.

En el presente capítulo se incluye la identificación de impactos ambientales ocasionados en el entorno natural y socioeconómico que se estima pueden ser generados por el proyecto debido a las actividades que se desarrollen en sus diferentes etapas de ejecución. Se podrán establecer así las medidas y acciones a seguir con el fin de prevenir o mitigar los impactos que el proyecto provocará en cada una de sus etapas.

Para la identificación y la ponderación de cada uno de los posibles impactos ambientales se realizaron sesiones interdisciplinarias, durante las cuales se propusieron, analizaron y evaluaron las ideas de las posibles afectaciones y sus causas, obteniéndose de las discusiones conclusiones claras y concertadas, tomando en cuenta los diferentes criterios de las diferentes disciplinas participantes.

La identificación de los impactos ambientales y sociales derivados de la instrumentación del proyecto requiere de un conocimiento total de sus características en todas las etapas, de un diagnóstico de los ambientes físico-natural, biológico y socioeconómico, así como el conocimiento de los planes de desarrollo urbano y ordenamiento ecológico de la región. Un análisis de los aspectos anteriores y su relación nos permite la identificación de los diferentes impactos del proyecto.

La identificación y descripción de los posibles impactos ambientales que se generarán durante las diferentes etapas del proyecto se realizó con base en la aplicación de la que se consideró como la metodología más adecuada para el tipo de vivienda y el entorno en el cual se desarrollará el proyecto.

Para la identificación de los impactos ambientales se emplearon los métodos de listados simples los cuáles permiten identificar los factores ambientales susceptibles de ser influenciados por el proyecto y la identificación de las diferentes actividades del proyecto potencialmente generadoras de impactos en los factores ambientales considerados. Para la representación y evaluación de los impactos identificados se empleó la Matriz modificada de Leopold de Interacción Proyecto-Ambiente, (Leopold, 1971).

### III.10 MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN.

#### Listados Simples.

La técnica de listados simples permite identificar los componentes de los factores ambientales que puedan ser influenciados o alterados debido a las acciones del proyecto. Esto se realiza por medio de dos tablas, la primera corresponde a los factores ambientales que pueden ser impactados por el proyecto y la segunda se refiere a las distintas etapas del proyecto que pueden presentar alguna interacción con el entorno. Este análisis e identificación se efectúa con la experiencia y el criterio interdisciplinario de los especialistas que intervienen en este estudio (Geólogos, Biólogos, Ingenieros Ambientales, y Químicos entre otros).

Es importante señalar que las actividades del proyecto y los factores ambientales identificados por esta técnica se emplearán para elaborar posteriormente la Matriz de Leopold.

La Tabla 3.3 presenta los componentes de los factores ambientales que potencialmente pueden ser impactados tanto negativo como positivamente debido a las actividades que se desarrollarán en las diferentes etapas del proyecto.

FACTOR	COMPONENTE
AIRE	CALIDAD DEL AIRE VISIBILIDAD
RUIDO	NIVEL DEL RUIDO VIBRACIONES
GEOMORFOLOGÍA	RELIEVE RECURSOS PÉTREOS
SUELO	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS PROCESO DE SEDIMENTACIÓN-EROSIÓN USO ACTUAL
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES TEMPERATURA PÁTRON DE DRENAJE CARGA ORGÁNICA USOS
HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS USOS DEL AGUA DIRECCIÓN DEL FLUJO
VEGETACIÓN	RIQUEZA DE ESPECIES COBERTURA
FAUNA	ABUNDANCIA ESPECIES PROTEGIDAS EN LA NOM-059-ECOL-1994
PAISAJE	VISTA ESCÉNICA COMPOSICIÓN PAISAJISTA
SOCIOECONÓMICO	EMPLEO SERVICIOS ACTIVIDADES DE TRANSFORMACIÓN CALIDAD DE VIDA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA SERVICIOS PÚBLICOS EDUCACIÓN PROGRAMAS DE DESARROLLO PATRONES CULTURALES

**Tabla 3.3.- Listado de factores ambientales y componentes.**

La tabla 3.4 presenta las actividades del proyecto que podrán causar alguna alteración al entorno durante su ejecución.

ETAPA	ACTIVIDADES
PREPARACIÓN DEL SITIO	CONTRATACIÓN DEL PERSONAL DESPALME Y DESHIERBE TRANSPORTE DE EQUIPO USO DE VEHÍCULOS, MAQUINARIA Y EQUIPO MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS
CONSTRUCCIÓN	CONTRATACIÓN DE PERSONAL ADQUISICIÓN DE MATERIALES TRANSPORTE DE MATERIAL Y EQUIPO RELLENO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN EXCAVACIÓN Y CIMENTACIÓN OBRA CIVIL MONTAJE DE EQUIPOS USO DE MAQUINARIA Y VEHÍCULOS MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS ABASTECIMIENTO DE AGUA PUESTA EN SERVICIOS Y OPERACIÓN
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	CONTRATACIÓN DE PERSONAL ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE ABASTECIMIENTO DE AGUA MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS MANEJO DE RESIDUOS LÍQUIDOS SERVICIOS AUXILIARES MANTENIMIENTO

**Tabla 3.4.- Listado de actividades del proyecto que podrían causar impactos ambientales.**

En este capítulo se identificarán y describirán las metodologías, y cada uno de los impactos ambientales provocados por el desarrollo del proyecto durante las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento de las obras contempladas. El resultado de esta sección es la construcción del escenario resultante al introducir el proyecto en la zona de estudio. En el escenario ambiental actual, se insertará el proyecto, lo que permitirá identificar las acciones que pudieran generar desequilibrios ecológicos que por su magnitud e importancia provocarían daños permanentes al ambiente y/o contribuirían en la consolidación de los procesos de cambio existentes.

### III.11 METODOLOGÍA PARA EVALUAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES.

Para la evaluación de los impactos ambientales que la obra podría ocasionar al ambiente, se seleccionó la metodología conocida como Matriz de Leopold la cual fue modificada para adecuarla a las características particulares de este proyecto. Los resultados de la técnica de listado simple anteriormente descrita, fueron la base para la elaboración de esta matriz.

Para la identificación de los impactos se generó una matriz de interacciones basada en la matriz tipo Leopold (1971), la cual permitió evaluar los posibles impactos que se pudiesen presentar a consecuencia de la preparación del sitio, la construcción de las obras y la operación del proyecto. Con esta matriz, se relacionaron los impactos con las acciones, además de proporcionar información sobre los aspectos técnicos de la predicción de los impactos y sobre los medios para evaluar y comparar los impactos de las alternativas.

Para ello, se establecieron los indicadores de impacto e identifican las variables ambientales y sus respectivos componentes, no omitiendo el identificar los elementos socioeconómicos que pudieran ser afectados de manera positiva o negativa. En segundo

término se establecen los criterios de evaluación al igual que su escala de medición. Al realizar la matriz, en los renglones se establecen los componentes ambientales (componente) y en las columnas las actividades inherentes al proyecto (actividades) siendo que en el cuadro resultante se establece el valor de medición.

#### **Indicadores de Impacto.**

Los indicadores de impacto se identifican al aplicar las interrelaciones existentes entre las acciones que son causa del impacto y los factores que reciben el impacto. Por otra parte, los impactos ambientales y las medidas de mitigación se explican según las acciones que se desarrollan en el proyecto.

La técnica consiste en relacionar las etapas y actividades para la ejecución del proyecto (columnas), con los diferentes factores y componentes ambientales que pueden ser afectados en el sitio donde el proyecto estará ubicado (renglones). Posteriormente se describen cada una de las interacciones de acuerdo con los siguientes criterios:

La evaluación se efectúa considerando los atributos del proyecto (técnicos) y del ambiente (naturales y/o socioeconómicos); es decir, los impactos se establecen en función de la magnitud y/o extensión de las obras, de las acciones requeridas para llevarlas a cabo y del efecto que ambas pueden causar al ambiente, de tal manera, que los impactos pueden tener diversas significancias dependiendo de las etapas de desarrollo del proyecto y de los efectos que dichas etapas provoquen sobre el medio ambiente donde se realizan las obras. Con el propósito de realizar una evaluación uniforme de la valoración de cada impacto, se utilizaron los siguientes Criterios:

#### **Carácter del Impacto.**

Se analiza si la acción del proyecto deteriora o mejora las características del factor ambiental, las categorías pueden ser:

- a) Benéfico: Modificación que provoca mejoras o ventajas en la calidad e integridad del factor ambiental evaluado.
- b) Adverso: Modificación que provoca deterioro o daño en la calidad e integridad del factor ambiental evaluado.

#### **Duración del Impacto (Temporalidad).**

Se considera la duración del efecto de la actividad del proyecto con los criterios siguientes:

- a) Temporal: El efecto del impacto permanece el mismo período de tiempo que la actividad que lo genera.
- b) Prolongado: El efecto del impacto permanece más tiempo que la actividad que lo genera (1-5 años).
- c) Permanente: El efecto del impacto permanece en el componente ambiental afectado por un tiempo mayor de cinco años.

#### **Extensión.**

Se refiere a la cantidad de valor afectado (volumen, superficie, longitud, entre otros) en relación con el ámbito de referencia del proyecto.

- a) Puntual: El efecto se presenta directamente en el sitio donde se ejecuta la acción y hasta los límites del sitio del proyecto y sus obras auxiliares.
- b) Local: El efecto se presenta entre los límites del sitio del proyecto y sus obras auxiliares y hasta un radio de 5 km.
- c) Regional: El efecto se presenta a más de 5 km de radio, del sitio del proyecto.

#### **Reversibilidad.**

Se refiere a la posibilidad de recuperación del componente ambiental afectado, a tal grado que sus condiciones tomen el valor que le caracterizaba antes de iniciar las acciones (sin ningún tipo de intervención posterior).

- a) Reversible:
  - 1) Corto plazo (menor a 1 año)
  - 2) Mediano plazo (de 1 a 5 años)

- 3) Largo plazo (mayor de 5 años)
- b) Irreversible:
  - 1) Modificación no reversible

**Importancia del Componente Afectado.**

Está determinada por las condiciones actuales del componente del factor ambiental afectado dentro del área de estudio (calidad, abundancia, valor económico, disponibilidad, Normas Oficiales Mexicanas). De acuerdo con estas condiciones se asignan las siguientes categorías:

- a) Relevante: Cuando el componente ambiental es clave, a juicio del grupo de trabajo, repercute directamente en el funcionamiento del sistema, y tiene una fuerte interacción con las acciones del proyecto.
- b) No relevante: Cuando el componente ambiental no es clave, no repercute directamente en el funcionamiento del sistema o no tiene una fuerte interacción con las acciones del proyecto.

**Descripción del Procedimiento Para Elaborar la Matriz de Leopold de Interacción Proyecto-Ambiente.**

En los renglones de la matriz se indican los factores ambientales y sus componentes, los cuales se obtuvieron en la etapa del listado simple; en las columnas se colocaron las diferentes etapas y actividades para la ejecución del proyecto identificadas en la etapa de listado simple. Cuando se determina que existe una interacción entre el componente ambiental y la actividad se marca el cuadro de la siguiente manera:

**Carácter del impacto.**

En cada casilla marcada se colocó un signo negativo (-) al impacto adverso, y un signo positivo (+) al impacto benéfico.

**Duración (Temporalidad).**

Se utilizaron tres colores diferentes: amarillo para los impactos temporales, anaranjado para los prolongados y rojo para los permanentes.

**Extensión.**

Las casillas con:

- a) (\*) Presentan un impacto puntual.
- b) (\*\*) Indica un impacto local.
- c) (\*\*\*) Un impacto regional.

**Importancia del componente afectado.**

Al final de la fila de cada componente se indicó con una R para relevante y NR para irrelevante (Tabla 3.5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	ACTIVIDADES DEL CONJUNTO HABITACIONAL SAN BERNARDINO																					
2																						
3	MATRIZ MODIFICADA DE LEOPOLD																					
4			PREPARACIÓN DEL SITIO					CONSTRUCCIÓN					OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO									
			CONTRATACIÓN DE PERSONAL	TRANSPORTE DE EQUIPO	DESPLAZAMIENTO DE VEHÍCULOS, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	MANEJO DE RESIDUOS	CONTRATACIÓN DE PERSONAL	ADQUISICIÓN DE MATERIALES	TRANSPORTE DE EQUIPO	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES	CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES
5	FACTOR	COMPONENTE																				
6	AIRE	CALIDAD DEL AIRE																				
7		VISIBILIDAD (Partículas suspendidas)																				
8	RUIDO	NIVEL DE RUIDO																				
9		VIBRACIONES																				
10	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	RELIEVE																				
11		RECURSOS PÉTREOS																				
12	SUELO	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS																				
13		PROCESO DE SEDIMENTACIÓN Y EROSIÓN																				
14		USO ACTUAL																				
15	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES																				
16		TEMPERATURA																				
17		PATRÓN DE DRENAJE (Escorrentía)																				
18		CARGA ORGÁNICA																				
19		CAUDAL																				
20		USO ACTUAL																				
21	HIDROLOGÍA SUBTERRANEA	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS																				
22		USOS																				
23		DIRECCIÓN DEL FLUJO																				
24	VEGETACIÓN	RIBEZUEZA DE ESPECIES																				
25		COBERTURA																				
26	FAUNA	ABUNDANCIA																				
27		ESPECIES PROTEGIDAS																				
28	PAISAJE	VISTAS ESCÉNICAS																				
29		COMPOSICIÓN PAISAJISTA																				
30	SOCIOECONOMÍA	EMPLEO																				
31		SERVICIOS																				
32		ACTIVIDADES DE TRANSFORMACIÓN																				
33		CALIDAD DE VIDA																				
34		SERVICIOS PÚBLICOS																				

Tabla 3.5.- Matriz de interacción proyecto-ambiente (Matriz modificada de Leopold).

### III.12 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS.

En este capítulo se describen de manera detallada los principales impactos ambientales ocasionados por el proyecto sobre los componentes ambientales considerados tanto relevantes como no relevantes, así como las medidas de mitigación para disminuir los impactos negativos que pudiera tener el proyecto durante las diferentes etapas de ejecución, como son la preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento. Los componentes ambientales que se consideran relevantes en esta evaluación son aquellos sobre los que las actividades del proyecto tienen una relación directa y que, de acuerdo a las características del medio natural de la zona, éstas pueden verse modificadas.

Para la descripción de las medidas de mitigación de los impactos identificados y sus medidas de mitigación, se elaboraron fichas descriptivas que indican el factor ambiental y el componente del mismo que se consideran afectados, las acciones del proyecto que producen la afectación, una descripción de las características del impacto considerado, la evaluación de impacto conforme a la metodología presentada y finalmente se indican las medidas de prevención, mitigación y/o compensación de cada uno de los impactos identificados (Ficha 1 a la 14).

**Ficha 1**

<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>AIRE</b>
<b>COMPONENTE</b>	Calidad del aire y visibilidad
<b>ACCIONES DEL PROYECTO</b>	Transporte de materiales, uso de vehículos, maquinaria y equipo durante las etapas de preparación del sitio, construcción del Conjunto Habitacional.
<b>DESCRIPCIÓN</b>	El uso de vehículos, maquinaria y equipo con motores de combustión interna, que utilizan gasolina o diesel, emitirán gases contaminantes a la atmósfera, además el paso de vehículos por terracerías generará partículas suspendidas en la atmósfera.
<b>CARÁCTER</b>	Negativo
<b>TEMPORALIDAD</b>	Temporal
<b>REVERSIBILIDAD</b>	Reversible
<b>EXTENSIÓN</b>	Puntual y ocasionalmente local
<b>IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO</b>	No relevante
<b>CALIFICACIÓN DEL IMPACTO</b>	No significativo
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Los vehículos utilizados para el transporte de materiales y equipo, así como los equipos que utilicen motores de combustión interna, deberán cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) así como con las especificaciones originales del fabricante.</p> <p>NOM-041-ECOL-1996 Nivel máximo permisible de gases contaminantes de escapes de vehículos que usan gasolina.</p> <p>NOM-042-ECOL-1993 Nivel máximo permisible de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno de automotores nuevos, así como hidrocarburos evaporados.</p> <p>NOM-044-ECOL-1993 Nivel máximo permisible de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas, opacidad de humo de motores que utilizan diesel.</p> <p>NOM-045-ECOL-1996 Establece los niveles máximos permisibles de opacidad de humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diesel como combustible.</p> <p>La dispersión de partículas debido al tránsito de vehículos se minimizará estableciendo un programa de riego en las áreas de trabajo y en los caminos de acceso.</p>	

**Ficha 2**

<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>AIRE</b>
<b>COMPONENTE</b>	Calidad del aire
<b>ACCIONES DEL PROYECTO</b>	Despalme y deshierbe durante la preparación del sitio y actividades de excavación, nivelación y compactación durante la etapa de construcción del Conjunto Habitacional.
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La cubierta vegetal y las capas superficiales de tierra que serán removidas en el predio del proyecto, así como los movimientos de tierras durante la construcción ocasionarán el levantamiento de partículas y polvo.
<b>CARÁCTER</b>	Negativo
<b>TEMPORALIDAD</b>	Temporal
<b>REVERSIBILIDAD</b>	Reversible
<b>EXTENSIÓN</b>	Local
<b>IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO</b>	No relevante
<b>CALIFICACIÓN DEL IMPACTO</b>	No significativo
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Se establecerá un programa de riego en las áreas de trabajo y en los caminos de acceso, previo a la acción de la maquinaria.</p> <p>Los camiones que transporten materiales térreos deberán llevar la caja cubierta con lona para evitar la dispersión del material durante su recorrido. Todo el material producto de las excavaciones en lo posible se reutilizará en las actividades de relleno y nivelación dentro del mismo predio.</p>	

**Ficha 3**

<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>RUIDO</b>
<b>COMPONENTE</b>	NIVEL DEL RUIDO
<b>ACCIONES DEL PROYECTO</b>	Transporte de materiales, uso de vehículos, maquinaria y equipo durante las operaciones de preparación del sitio y construcción del Conjunto Habitacional.
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La circulación de vehículos, el uso e maquinaria y equipo durante las diferentes etapas de ejecución del proyecto, incrementará los niveles de ruido de fondo existentes en el sitio del proyecto.
<b>CARÁCTER</b>	Negativo
<b>TEMPORALIDAD</b>	Temporal
<b>REVERSIBILIDAD</b>	Reversible
<b>EXTENSIÓN</b>	Local
<b>IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO</b>	Relevante
<b>CALIFICACIÓN DEL IMPACTO</b>	No Significativo, aunque el sitio se encuentra dentro de un área rural los receptores potenciales que pueden verse afectados por los niveles de ruido no se encuentran aledaños al proyecto
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Los vehículos deberán circular con el escape cerrado y a baja velocidad, tanto en los caminos de acceso como dentro del predio del proyecto. Los vehículos deberán cumplir con la siguiente NOM: NOM-080-ECOL-1994 Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente de vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación, y su método de medición. Dentro del área de trabajo, se verificará que se cumpla con la norma: NOM-011-STPS-1993 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.</p>	

## Ficha 4

FACTOR AMBIENTAL	RUIDO
COMPONENTE	NIVEL DEL RUIDO
ACCIONES DEL PROYECTO	Montaje de equipo durante la etapa de construcción, y operación de maquinaria durante las diferentes etapas de la obra.
DESCRIPCIÓN	La operación de los diferentes equipos de trabajo y de los equipos auxiliares instalados periódicamente en el Conjunto habitacional necesarios para llevar a cabo la obra. El Conjunto Habitacional emitirá continuamente niveles de ruido diferidos en el tiempo, poniendo especial atención en no sobrepasar lo que marcan las normas aún trabajando con todo el equipo al mismo tiempo
CARÁCTER	Negativo
TEMPORALIDAD	Permanente
REVERSIBILIDAD	Reversible
EXTENSIÓN	Local
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	Relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	No Significativo debido a que en los alrededores no se observaron receptores potenciales que pudieran verse afectados
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Los equipos instalados contarán con los dispositivos de mitigación de ruido de acuerdo a las especificaciones de diseño del fabricante, tomando en cuenta que son equipos modernos y con tecnología de punta.</p> <p>Se verificará que dentro de las áreas de trabajo se cumpla con la norma NOM-011-STPS-1993 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido y se proporcionará e inducirá el uso de protectores auditivos para el personal expuesto al ruido en áreas críticas</p> <p>Se verificará que la planta cumpla con la NOM-081-ECOL-1994 que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido para fuentes fijas y su método de medición.</p>	

## Ficha 5

FACTOR AMBIENTAL	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA
COMPONENTE	RELIEVE
ACCIONES DEL PROYECTO	Actividades de nivelación y relleno, excavación de zanjas y compactación durante las etapas de preparación del sitio y de construcción.
DESCRIPCIÓN	Durante las etapas de preparación del sitio y de construcción, será necesario realizar trabajos de nivelación y relleno en el terreno, que modificarán el relieve natural. En ocasiones será necesario el uso de materiales de relleno provenientes de bancos de materiales fuera del sitio.
CARÁCTER	Negativo
TEMPORALIDAD	Permanente
REVERSIBILIDAD	Irreversible
EXTENSIÓN	Puntual
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	Relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	Poco significativo debido a que el relieve natural del sitio donde se ubicará el proyecto ya ha sido previamente alterado por las obras de construcción de casas habitación y de comercio, por lo que la nivelación del terreno sólo modificará levemente dicho relieve.
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Cuando sea posible el material producto de excavaciones y despalme se utilizará en actividades de relleno y nivelación dentro del sitio. El material sobrante será enviado a sitios previamente autorizados por la autoridad local y será dispuesto adecuadamente para evitar que sea arrastrado por la acción del viento o de la lluvia.</p> <p>No se permitirá el depósito de materiales producto del despalme y relleno fuera del sitio de la obra o de los lugares indicados por las autoridades correspondientes.</p> <p>Todo el material necesario que se adquiera para la nivelación, relleno y preparación del sitio, y de los caminos, será adquirido de bancos de materiales autorizados. El responsable de la obra deberá recabar copia de documentos que avalen el permiso de explotación de bancos de materiales.</p>	



## Ficha 6

FACTOR AMBIENTAL	SUELO
COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS
ACCIONES DEL PROYECTO	Manejo de residuos convencionales y especiales durante las diferentes etapas de ejecución del proyecto.
DESCRIPCIÓN	El desarrollo de la obra generará diversos residuos convencionales como: cascajo (residuos de la construcción), madera, papel, cartón, plástico, vidrio y metales, residuos domésticos, sanitarios y de oficina. Se generarán residuos especiales principalmente residuos de solventes, pinturas con sus envases, materiales impregnados con aceites y solventes, aceite gastado de maquinaria y vehículos y otros. El posible contacto de los residuos especiales con el suelo natural incorporaría elementos que pueden alterar las características físicoquímicas del suelo.
CARÁCTER	Negativo
TEMPORALIDAD	Prolongado
REVERSIBILIDAD	Reversible
EXTENSIÓN	Puntual
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	Relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	Poco Significativo debido a que las medidas de mitigación permitirán minimizar la posibilidad de contaminación del suelo en condiciones normales de operación.
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Se establecerá un programa de recolección, clasificación, envasado, etiquetado, almacenamiento temporal y disposición para todos los residuos generados en la etapa de construcción. La recolección tendrá una amplia cobertura en donde se captarán la totalidad de los residuos originados, mediante la ubicación de contenedores distribuidos en toda el área de la obra.</p> <p>Todos los residuos susceptibles de ser reciclados serán enviados a empresas autorizadas para este fin si este tipo de empresas existe en la región.</p> <p>Los residuos sólidos domésticos que se generen se almacenarán en contenedores especiales con tapa para evitar su diseminación por ratas y otros animales. Los residuos sólidos sanitarios se dispondrán por medio de una empresa autorizada por la autoridad local. La disposición de estos residuos se hará bajo los procedimientos que establezca la autoridad ambiental local.</p> <p>No se implementará el uso de agroquímicos para las actividades de despalle y/o deshierbe durante la preparación del sitio, para evitar la contaminación del suelo con tales productos.</p> <p>Todos los residuos especiales que tengan características de peligrosidad conforme a la NOM-052-ECOL-1993, serán almacenados en contenedores por separado y en un lugar que cumpla con las especificaciones indicadas en el Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos (Artículo 16 y 17 principalmente).</p> <p>El manejo de los residuos peligrosos se sujetará además a la NOM-054-ECOL-1993, que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-ECOL-1993.</p> <p>El transporte de los residuos peligrosos se ajustará a las normas:</p> <p>NOM-005-SCT2-1994 Información de emergencia en transportación para el transporte de materiales y residuos peligrosos.</p> <p>NOM-006-SCT2-1994 Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.</p> <p>NOM-007-SCT2-1994 Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.</p> <p>El retiro de los residuos peligrosos de la zona se hará con la mayor frecuencia posible de acuerdo al servicio contratado para dicho fin.</p> <p>Las áreas de almacenamiento y manejo de combustibles y de aceites lubricantes, tanto temporales durante la etapa de construcción como las permanentes que se utilizarán durante la operación, contarán con piso de material impermeable y dispositivos para control de fugas o derrames para prevenir el contacto de dichos materiales con el suelo.</p> <p>Se evitará en lo posible realizar trabajos de reparación y/o mantenimiento de vehículos, maquinaria y equipo dentro del sitio del proyecto. En caso de realizarse ahí, se deberá acondicionar un área especial dentro del sitio del proyecto para tal efecto con una losa de concreto y con los sistemas adecuados para la recolección de cualquier líquido que se derrame</p> <p>Todas las áreas que se contaminen con residuos peligrosos y no peligrosos se limpiarán antes de concluir la etapa de construcción.</p>	

## Ficha 7

FACTOR AMBIENTAL	SUELO
COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y EROSIÓN
ACCIONES DEL PROYECTO	Áreas verdes
DESCRIPCIÓN	El diseño del Conjunto Habitacional considera la reforestación con especies locales en algunos sitios estratégicos dentro y fuera del predio.
CARÁCTER	Positivo
TEMPORALIDAD	Prolongado
REVERSIBILIDAD	Reversible
EXTENSIÓN	Puntual
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	Relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	No Significativo debido a que es una actividad puntual que sólo se realizará en algunas áreas.
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>No aplican debido a que es un impacto que se considera benéfico, sin embargo se recomienda establecer programas de mantenimiento para la conservación de las áreas reforestadas.</p> <p>Durante las actividades de construcción del proyecto, los vehículos automotores deberán transitar exclusivamente por los caminos de acceso ya construidos para evitar la erosión del suelo. En ningún momento deberán invadir terreno fuera del derecho de vía de los caminos.</p>	

## Ficha 8

FACTOR AMBIENTAL	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL
COMPONENTE	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES, TEMPERATURA Y CARGA ORGÁNICA
ACCIONES DEL PROYECTO	Descarga de agua durante la construcción, operación y habitación del Conjunto Habitacional
DESCRIPCIÓN	Un incremento en sólidos en suspensión, carga orgánica y temperatura, proveniente de las instalaciones de alcantarillado, puede afectar en forma adversa a la comunidad aguas abajo. Sin embargo las descargas de aguas negras del Conjunto Habitacional estarán dentro de la norma establecida y con el continuo monitoreo para no sobrepasar los límites establecidos.
CARÁCTER	Negativo
TEMPORALIDAD	Prolongado
REVERSIBILIDAD	Reversible
EXTENSIÓN	Puntual
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	No relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	Poco significativo
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Se implementará un programa de monitoreo del agua residual ajustándose a la norma para verificar que el agua de descargue no exceda la norma:  <b>NOM-001-ECOL-1996.-</b> Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.  <b>NOM-002-ECOL-1996.-</b> Establece los límites permisibles de contaminación en descargas de aguas residuales en los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal</p>	

**Ficha 9**

FACTOR AMBIENTAL	VEGETACIÓN
COMPONENTE	RIQUEZA Y COBERTURA DE ESPECIES
ACCIONES DEL PROYECTO	Despalme y deshierbe del sitio del proyecto
DESCRIPCIÓN	Para llevar a cabo la construcción de la planta será necesario el despalme y deshierbe del sitio, lo que implica la remoción de la cubierta de vegetación secundaria existente.
CARÁCTER	Negativo
TEMPORALIDAD	Permanente
REVERSIBILIDAD	Reversible
EXTENSIÓN	Puntual
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	No relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	No significativo debido a que el impacto será puntual y el sitio se observó previamente modificado. Debido a la existencia de camino de acceso, tampoco habrá afectaciones por este concepto. Únicamente se desmontará el área propuesta para el Conjunto Habitacional, donde la vegetación no es considerable debido a que se encuentra ubicada a un lado del camino de acceso. Por el camino de terracería que lleva al predio y por las obras de la construcción del Conjunto Habitacional, no se detectaron especies bajo algún estatus de protección. No significativo
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>No se utilizarán agroquímicos para las actividades de despalme.</p> <p>Cuatro semanas antes de la realización de dichas actividades, se realizará un inventario y se revisará cuidadosamente el área de trabajo para corroborar que no existan especies bajo algún estatus de protección conforme a la NOM-059-ECOL-1994. Se establecerá un Programa de Rescate de especies de interés que establecerá las medidas de supervisión, control y seguimiento con el fin de reubicarlas a un sitio previamente autorizado por las autoridades correspondientes.</p> <p>Se reforestará el sitio en áreas específicas dentro del predio con especies nativas de la zona que permitan mantener la diversidad de especies.</p> <p>Se establecerán procedimientos y reglamentos internos para evitar que los empleados del Conjunto Habitacional dañen o hagan mal uso de las especies vegetales de los alrededores.</p>	

**Ficha 10**

FACTOR AMBIENTAL	FAUNA
COMPONENTE	ABUNDANCIA Y ESPECIES PROTEGIDAS
ACCIONES DEL PROYECTO	Despalme y deshierbe del sitio del proyecto y transporte de materiales
DESCRIPCIÓN	Las actividades de preparación del sitio y de construcción del Conjunto modificarán el hábitat de las especies de fauna que existen en el predio y su desplazamiento a otras áreas.
CARÁCTER	Negativo
TEMPORALIDAD	Permanente
REVERSIBILIDAD	Irreversible
EXTENSIÓN	Local
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	No relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	No significativo debido a que el sitio se observó previamente modificado por los caminos de terracería que lleva al predio y por las obras de la construcción del Conjunto, que han ocasionado el desplazamiento de las especies de fauna y han modificado el hábitat natural de dichas especies. Durante la visita al sitio no se observó ningún animal en el predio.
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>No se utilizarán agroquímicos para las actividades de despalme para evitar su incorporación en la cadena alimenticia de las especies de fauna.</p> <p>Previo a las actividades de despalme, excavación, nivelación y todas aquellas que impliquen el movimiento de materiales en áreas naturales, se revisará cuidadosamente el área de trabajo para corroborar que no existan especies bajo algún estatus de protección conforme a la NOM-059-ECOL-1994 y permitir el alejamiento de las mismas hacia otras áreas no afectadas.</p>	

Se reforestará el sitio en áreas específicas dentro y fuera del Conjunto, con especies nativas de la zona que permitan restablecer el hábitat de las especies de fauna.  
Se establecerán procedimientos y reglamentos internos para evitar que los empleados del Conjunto persigan y/o atrapen especies de fauna nativa en el sitio y en los alrededores.

### Ficha 11

FACTOR AMBIENTAL	SOCIOECONÓMICO
COMPONENTE	EMPLEO
ACCIONES DEL PROYECTO	Contratación de personal durante las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento.
DESCRIPCIÓN	Las actividades anteriores requerirán la participación de mano de obra general y especializada, que se cubrirá principalmente con personal de la región.
CARÁCTER	Positivo
TEMPORALIDAD	Temporal
REVERSIBILIDAD	Reversible
EXTENSIÓN	Regional
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	Relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	Poco significativo debido a que permitirá incrementar la oferta de empleo para un número reducido de los habitantes de la región.
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
No aplican medidas de mitigación.	

### Ficha 12

FACTOR AMBIENTAL	SOCIOECONÓMICO
COMPONENTE	SERVICIOS
ACCIONES DEL PROYECTO	Adquisición de materiales para la construcción de la obra civil.
DESCRIPCIÓN	Los materiales que se requieran para la construcción del proyecto se adquirirán principalmente de proveedores locales y regionales, lo que propiciará un aumento en el comercio de bienes y servicios. La necesidad de mano de obra para la etapa de construcción y en algunas actividades en la etapa de operación y mantenimiento incrementará la oferta de trabajo en la región.
CARÁCTER	Positivo, debido a que esto incrementará la derrama económica en la región.
TEMPORALIDAD	Temporal
REVERSIBILIDAD	Reversible
EXTENSIÓN	Local y regional
IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO	Relevante
CALIFICACIÓN DEL IMPACTO	Poco significativo.
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
No aplican medidas de mitigación.	

**Ficha 13**

<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>SOCIOECONOMÍA</b>
<b>COMPONENTE</b>	CALIDAD DE VIDA
<b>ACCIONES DEL PROYECTO</b>	Contratación de personal durante las diferentes etapas del proyecto y generación de energía eléctrica.
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Para la etapa de preparación y construcción del Conjunto se necesitará personal no calificado, creándose fuentes de empleo para las comunidades cercanas. La derrama económica debida al proyecto y el incremento de la plusvalía, permitirá incrementar los ingresos de la población y mejorar su nivel de vida.
<b>CARÁCTER</b>	Positivo
<b>TEMPORALIDAD</b>	Prolongado
<b>REVERSIBILIDAD</b>	Reversible
<b>EXTENSIÓN</b>	Regional
<b>IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO</b>	Relevante
<b>CALIFICACIÓN DEL IMPACTO</b>	Poco significativo, ya que el proyecto contará con un promedio de 90 empleados para las etapas de preparación del sitio y construcción.
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>No aplican medidas de mitigación.                  La mayor parte de la mano de obra se contratará en la región, principalmente en San Andrés Cholula, Puebla, donde la oferta de la misma es suficiente para el proyecto.</p>	

**Ficha 14**

<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>SOCIOECONOMÍA</b>
<b>COMPONENTE</b>	SERVICIOS PÚBLICOS
<b>ACCIONES DEL PROYECTO</b>	Manejo de residuos durante las diferentes etapas del proyecto.
<b>DESCRIPCIÓN</b>	La generación de residuos no peligrosos requerirá de sitios autorizados de disposición final e incrementará la demanda de este servicio en la zona.
<b>CARÁCTER</b>	Negativo
<b>TEMPORALIDAD</b>	Permanente
<b>REVERSIBILIDAD</b>	Reversible
<b>EXTENSIÓN</b>	Regional
<b>IMPORTANCIA DEL COMPONENTE AFECTADO</b>	Relevante
<b>CALIFICACIÓN DEL IMPACTO</b>	Poco significativo
<b>MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y/O COMPENSACIÓN</b>	
<p>Se establecerán programas de minimización de residuos, de tal manera que el impacto en la capacidad de manejo actual sea el mínimo posible.                  Todos los residuos susceptibles de ser reciclados serán separados y enviados a sitios o prestadores de servicio autorizados, existentes en la región</p>	

La matriz de impacto generada (Tabla 3.5) mostró que el proyecto afecta de manera directa al medio natural principalmente durante las etapas iniciales del proyecto (preparación del sitio y construcción), en diferente grado de magnitud e importancia, pero sin llegar a ser irreversibles y todas son locales, mientras que en las etapas de operación y mantenimiento, genera un impacto positivo al ambiente así como al medio socioeconómico. Los impactos adversos detectados se presentan principalmente en los rasgos físico y biológico, durante las etapas de preparación del sitio y construcción del proyecto, siendo estos de manera puntuales, requiriéndose algunas medidas de mitigación, sin embargo, los impactos no son significativos. Por otro lado, los impactos benéficos detectados, se concentran en las etapas de operación y mantenimiento del proyecto, incidiendo principalmente en el medio socioeconómico.

Las actividades que representan los impactos más relevantes son las siguientes:

- 1) En la etapa de preparación.- Es la limpieza del área de despalme y el trazo, nivel, y relleno.
- 2) En la etapa de construcción.- El desmontes y despalmes, la construcción de las obras y la rehabilitación de las principales vías de acceso.
- 3) En la etapa de operación.- Operación y mantenimiento de las obras construidas y la generación de residuos.

Como puede observarse en la matriz de impactos ambientales, la mayor parte de los impactos son adversos no significativos, momentáneos, temporales y reversibles; en mucho menor proporción se encuentran los impactos adversos significativos, los cuales son momentáneos, puntuales y reversibles. Lo anterior, indica la factibilidad de implementar medidas de compensación y mitigación para la mayoría de los impactos producidos en el sistema. La mayor parte de los impactos negativos, serán en la etapa de construcción; mientras que, en la etapa de operación se considera que los impactos negativos serán en menor cantidad. Por lo cual el proyecto del CONJUNTO HABITACIONAL SAN BERNARDINO TLAXCALANCINGO SE CONSIDERA AMBIENTALMENTE VIABLE.

**BIBLIOGRAFÍA.**

- 1) Jiménez-Cisneros, B. E. 2001. *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Limosa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA.
- 2) Juárez-Manjares, M. A. 2003. *Análisis de la base técnica de manifestaciones de impacto ambiental*. Tesis Maestría. Facultad de Ingeniería, UNAM, México DF.
- 3) Cerner, H. 2003. *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*, E.U.A, 1997.

**DOCUMENTOS NORMATIVOS**

Ley General Del Equilibrio Ecológico Y Protección Al Ambiente, Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, SEMARNAP, 2000.

NMX-CC-9000-IMNC-2000, Sistemas de Gestión de La Calidad (Fundamentos y vocabulario), Instituto Mexicano de Normalización Y Certificación A.C.

NMX-CC-9001-IMNC-2000, Sistemas de Gestión de La Calidad (Requisitos), Instituto Mexicano de Normalización Y Certificación A.C.

NMX-CC-9004-IMNC-2000, Sistemas de Gestión de La Calidad (Recomendaciones para la mejora del desempeño), Instituto Mexicano de Normalización Y Certificación A.C.

ISO 14001:2004, Sistemas de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso, ISO.

ISO 10006: 2003, Quality management systems. Guidelines for quality management in projects ISO.

**CONSULTORIA, INGENIERIA, PROYECTOS Y SUPERVISION, S.A. DE C.V.**

Ing. Edwin Simpson Espinosa

[CERTIFICADA CNEC]

Magdalena 214 - 503 Col. Del Valle

03100, México D.F.

Tel: (55) 5147 7014. Fax: (55) 5682 7349

E-mail: edwin.simpson@cipssa.com

Internet: simpsonedwin@yahoo.com

## CAPÍTULO IV

### ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

#### CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.

##### IV.1 SUELOS Y ROCAS: ORIGEN DEL SUELO.

La mayoría de los suelos que cubren la tierra están formados por la meteorización de las rocas. Los geólogos emplean el término meteorización de las rocas para describir todos los procesos externos, por medio de los cuales la roca experimenta descomposición química y desintegración física, proceso mediante el cual masas de roca se rompen en fragmentos pequeños. Esta fragmentación continua es un mero cambio físico y por eso se llama también meteorización mecánica. Por otra parte, la meteorización química de una roca es un proceso de descomposición, mediante el cual los minerales constitutivos de rocas allí presentes cambian de composición química.

La meteorización mecánica es el proceso por el cual las rocas se fracturan en piezas de menor tamaño bajo la acción de las fuerzas físicas, como la corriente de agua de los ríos, viento, olas oceánicas, hielo glacial, acción de congelación, además de expansiones y contracciones causadas por ganancia y pérdida de calor.

La meteorización química es el proceso de descomposición química de la roca original. Entre los distintos procesos de alteración química pueden citarse: la hidratación (paso de anhídrita a yeso), disolución (de los sulfatos en el agua), oxidación (de minerales de hierro expuestos a la intemperie), cementación (por agua conteniendo carbonatos), etc. Por ejemplo, la meteorización química de los feldespatos puede producir minerales arcillosos.

Muy relacionada con la meteorización química se encuentra la meteorización biológica, producida fundamentalmente por la actividad bacteriana, originando putrefacciones en materiales orgánicos.

La acción conjunta o individual de estos procesos de meteorización da lugar a un perfil de meteorización de la roca en función de la profundidad (ver figura 4.1). En este perfil la roca sana ocupa la zona más profunda, transformándose gradualmente a suelo hacia la parte más superficial.

PERFIL EQUEMÁTICO	LOVE (1951) (ITD.E (1951))	VARGAS (1951)	SOWERS (1954, 1953)	CHANDLER (1969)	GEOLOGICAL SOC. ENG. GROUP (1970)	DEERE Y RATON (1971)	
	ROCAS IGNEAS	IGNEAS, BASÁLTICAS Y ARENISCAS	IGNEAS Y METAMÓRFICAS	MARGAS Y LIMELITAS	ROCAS IGNEAS	IGNEAS Y METAMÓRFICAS	
	VI SUELO	SUELO RESIDUAL	ZONA SUPERIOR	IV COMPLETAMENTE ALTERADA	VI SUELO RESIDUAL	HORIZONTE IA	
	V COMPLETAMENTE ALTERADA	SUELO RESIDUAL JOVEN	ZONA INTERMEDIA	IVa	V COMPLETAMENTE ALTERADA	HORIZONTE IB	
	IV ALTAMENTE ALTERADA	CAPAS DE ROCA DESINTEGRADA	ZONA PARCIALMENTE ALTERADA	PARCIALMENTE ALTERADA	III	HORIZONTE IC (KAPROLITO)	
	III MODERADAMENTE ALTERADA				IV ALTAMENTE ALTERADA	IIA TRANSICIÓN CON ROCA METEORIZADA SAPROLITO	
	II ALGO ALTERADA				III MODERADAMENTE ALTERADA	IIB PARCIALMENTE METEORIZADA	
	I ROCA SANA	ROCA SANA	ROCA INALTERADA	ROCA INALTERADA	II MUY ROCA ALTERADA	IS MUY ROCA ALTERADA	ROCA SANA
						IS (ROCA SANA)	
					ZONA DE TRANSICIÓN		

Figura 4.1.- Perfil de meteorización, según diversas fuentes.



Así, por ejemplo, la observación de una trinchera recién abierta (una excavación para una carretera, una pared de cantera, etc.), a menudo revelará una sucesión de capas de diferentes materiales térreos. En la base del afloramiento puede haber roca compacta, denominada roca firme; se encuentra todavía en su lugar de origen y está relativamente poco modificada. La roca firme suele presentar innumerables grietas, denominadas juntas o diaclasas, que son consecuencia de esfuerzos principalmente asociados a una historia anterior de procesos tectónicos. Allí donde existen familias de juntas que se cruzan, la roca firme se desintegra fácilmente en bloques.

Por encima de la roca firme puede haber una capa de materia mineral blanda, denominada regolita. (El prefijo rego viene de la palabra griega que significa “manto”.) La regolita puede formarse in situ por descomposición y desintegración de la roca firme inmediatamente subyacente; este tipo se denomina regolita residual o suelo residual. Si esta capa de partículas minerales relativamente sueltas o blandas, dispuestas sobre la roca firme, es transportada por agentes tales como corrientes de agua, hielo, viento, olas..., recibe el nombre de regolita transportada o suelo sedimentario (ver figura 4.2).

Por tanto, el suelo es el resultado del proceso de meteorización de las rocas, con o sin transporte de los productos de alteración. Los suelos se caracterizan fundamentalmente por los siguientes aspectos:

- Los suelos están formados por partículas pequeñas (desde micras a algunos centímetros) e individualizadas que pueden considerarse indeformables.
- Entre estas partículas quedan huecos con un volumen total del orden de magnitud del volumen ocupado por ellas (desde la mitad a varias veces superior).
- Un suelo es un sistema multifase (sólida, líquida y gaseosa).
- Los huecos pueden estar llenos de agua (suelos saturados), o con aire y agua (suelos semisaturados), lo que condiciona la respuesta de conjunto del material. En condiciones normales de presión y temperatura, el agua se considera incompresible.

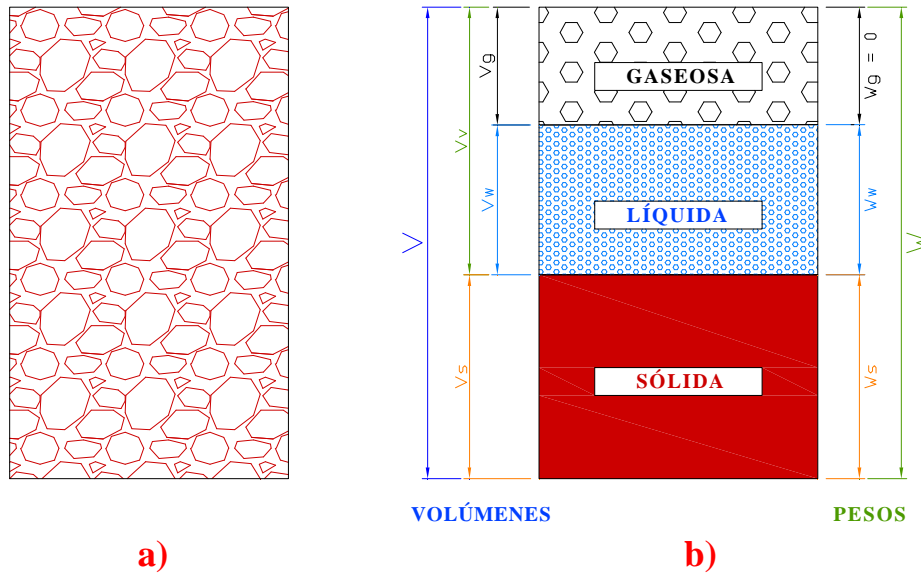


Figura 4.2.- Esquema del proceso de formación de los suelos.

## IV.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.

### A) Relaciones Peso-Volumen.

El suelo constituye un sistema de varias fases. La figura 4.3 muestra un elemento típico de suelo que contiene 3 fases diferenciadas: sólida (partículas minerales), líquida (agua generalmente) y gaseosa (aire o gas). La parte de la izquierda representa las tres fases como podrían presentarse en un elemento de suelo natural. En la parte de la derecha se han separado las tres fases con el fin de facilitar la deducción de las relaciones entre ellas.



**Relaciones entre las fases de un suelo. a) Elemento de suelo natural. b) División de un elemento en fases.**

**Figura 4.3.-Relación entre las fases del suelo.**

Fuente.- Elaboración Propia.

**B) Densidad o Compacidad Relativa.**

Se sabe que en general un suelo granular entre más compacto se encuentre mejores son sus características de resistencia y deformabilidad, por lo que Terzaghi introdujo el concepto de Grado de Compacidad o Compacidad Relativa,  $C_r$  %, y la definió como:

$$C_r(\%) = \left( \frac{e_{\max} - e_{nat}}{e_{\max} - e_{\min}} * 100 \right)$$

Donde:

$e_{\max}$ . = Relación de vacíos para el estado más suelto del suelo

$e_{\min}$ . = Relación de vacíos para el estado más compacto.

$e_{nat}$ . = Relación de vacíos en el estado natural

En el caso de suelos compactados, una forma de medir su compacidad es a través del concepto de Grado de Compactación o Compactación Relativa, CR, definida como:

$$CR(\%) = \left( \frac{\gamma_{d,com} - \gamma_{d,min}}{\gamma_{d,max} - \gamma_{d,min}} \right) * 100$$

Donde:

$\gamma_{d,max}$  = Peso específico seco para el estado más compacto del suelo

$\gamma_{d,min}$  = Peso específico para el estado más suelto.

$\gamma_{d,com}$  = Peso específico para el suelo compactado en el campo.

En la tabla 4.1 siguiente se indican las denominaciones de la compacidad de los suelos granulares a partir de su densidad relativa:

Densidad relativa (%)	Denominación
0-15	Muy suelto
15-35	Suelto
35-65	Medio
65-85	Compacto
85-100	Muy Compacto

**Tabla 4.1.- Compacidad a partir de su densidad relativa.**

### C) Granulometría.

En cualquier masa de suelo, los tamaños de las partículas varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente un suelo se debe conocer su distribución granulométrica, es decir, la distribución, en porcentaje, de los distintos tamaños dentro del suelo.

La distribución granulométrica de partículas de tamaño superior a 0.08 mm se determina mediante un análisis granulométrico por tamizado. Para partículas de tamaño inferior al mencionado (0.08 mm) se emplea la granulometría por sedimentación.

El análisis granulométrico por tamizado se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices (cuyo tamaño de malla suele ir disminuyendo en progresión geométrica de razón 2, agitando el conjunto. La cantidad de suelo retenido en cada tamiz se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz.

El porcentaje de material que pasa por cada tamiz, determinado de la forma anterior, se representa en un gráfico semilogarítmico. El diámetro de la partícula se representa en una escala logarítmica (abscisas), y el porcentaje de material que pasa se representa en escala aritmética (ordenadas). En la figura 4.4 se muestra un ejemplo de esta curva.

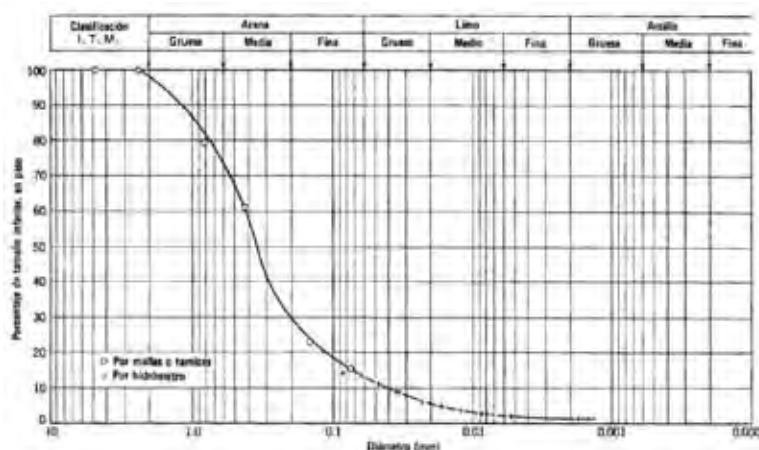


Figura 4.4.- Curva granulométrica de un suelo (Lambe, 1951)

Una vez determinada dicha curva granulométrica, existen dos coeficientes que se utilizan para una mejor descripción de la granulometría de un suelo. Estos coeficientes son:

$$\text{Coeficiente de uniformidad: } C_u = \left( \frac{D_{60}}{D_{10}} \right)$$

$$\text{Coeficiente de curvatura: } C_c = \left( \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \right)$$

El coeficiente de uniformidad representa la relación entre el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 60% de material y el diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 10%.

En realidad el  $C_u$  es un coeficiente de no uniformidad, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con  $C_u < 3$  se consideran muy uniformes; aun las arenas naturales muy uniformes rara vez se presentan  $C_u > 2$ .

El coeficiente de curvatura, también llamado de graduación, ha de adoptar valores entre 1 y 3 para considerar al suelo bien graduado. Se determina dividiendo el cuadrado del diámetro correspondiente al tamiz por el que pasa un 30% del material, entre el producto de los diámetros correspondientes a los tamices por los que pasa un 60% y un 10% del material.

El análisis granulométrico por sedimentación (partículas de tamaño inferior a 0.08 mm.) se lleva a cabo con el hidrómetro, y se basa en el principio de la sedimentación de las partículas de suelo en agua. Los hidrómetros están calibrados para mostrar la cantidad de suelo que está aún en suspensión en cualquier tiempo dado, ( $t$ ). Así, con lecturas tomadas en tiempos diferentes en el hidrómetro, el porcentaje de suelo más fino que un diámetro dado puede calcularse y prepararse una gráfica de la distribución granulométrica.

Con los dos métodos de análisis granulométrico expuestos puede determinarse la curva granulométrica completa de una muestra de suelo (ver figura 4.5). En función de la granulometría se clasifican los suelos en cuatro grandes grupos:

- **Gravas**, con tamaño de grano entre unos 80 mm. y 4.75 mm. Los granos son observables directamente, existen grandes huecos entre las partículas y no retienen el agua.
- **Arenas**, con partículas de tamaño entre 4.75 mm. y 0.075 mm. Estas son observables a simple vista y se mantienen inalterables en presencia de agua.
- **Limos**, con partículas comprendidas entre 0.075 mm. y 0.002 mm. Retienen el agua y si se forma una pasta limo-agua y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se aprecia cómo el agua se exuda con facilidad.
- **Arcillas**, cuyas partículas tienen tamaños inferiores a 0.002 mm. Son partículas de tamaño gel y están formadas por minerales silicatados, constituidos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos, unidas por enlaces covalentes débiles y pudiendo entrar las moléculas de agua entre las cadenas, produciendo aumentos de volumen, a veces muy importantes. Por tanto, presentan una gran capacidad de retención de agua, con un porcentaje de huecos muy elevado (huecos pequeños pero con una gran superficie de absorción en las partículas). Debido a que el tamaño de los huecos es muy pequeño (aunque el índice de huecos es elevado), exhiben unos tiempos de expulsión de agua muy elevados y una permeabilidad muy baja.

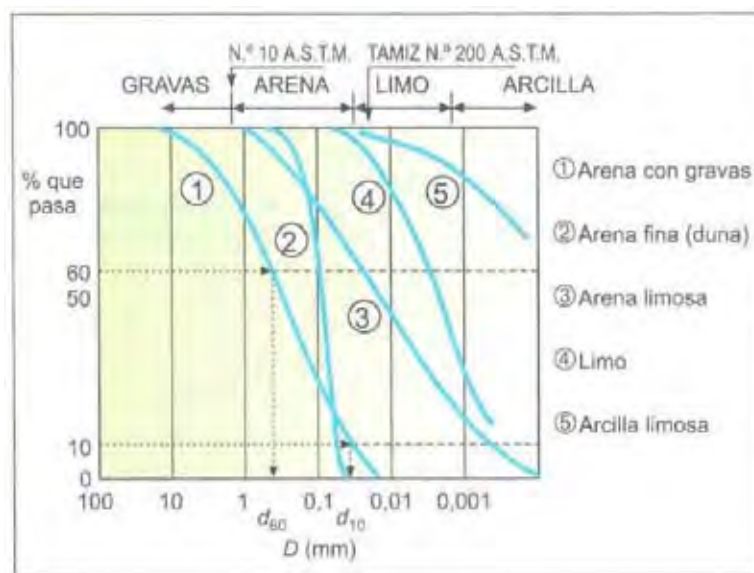


Figura 4.5 -Diferentes tipos de curvas granulométricas.

#### D) Plasticidad.

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua.

Los contenidos de humedad y los puntos de transición de unos estados a otros se denominan Límites de Atterberg (ver figura 4.6). El concepto de que un suelo puede

presentarse en varios estados, en función del contenido de humedad, se basa en que cuanto mayor sea la cantidad de agua que contiene un suelo, menor será la interacción entre partículas adyacentes y más se aproximará el comportamiento del suelo al de un líquido.

Esta variación de la consistencia en función de la humedad (plasticidad) es propia de suelos finos (arcillas y limos), ya que los suelos gruesos (arenas y gravas) no retienen agua y se mantienen inalterables en presencia de ésta.

La determinación de los Límites de Atterberg se lleva a cabo en laboratorio, definiéndose el límite plástico como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 3 mm. de diámetro. El límite líquido se determina con la Copa de Casagrande.



Figura 4.6.- Límites de Atterberg.

Fuente.- Elaboración propia

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo se define como Índice de Plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP$$

El índice de liquidez se define como:

$$I_L = \left( \frac{w_n - w_p}{w_L - w_p} \right)$$

$w_n$ : Humedad natural

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedad en el cual el suelo posee consistencia plástica, mientras que el índice de liquidez indica la proximidad de la humedad natural del suelo al límite líquido.

Con el fin de proporcionar una representación adecuada de la plasticidad de una muestra de suelo se emplea la denominada Carta de plasticidad de Casagrande (ver figura 4.7.a y 4.7.b).

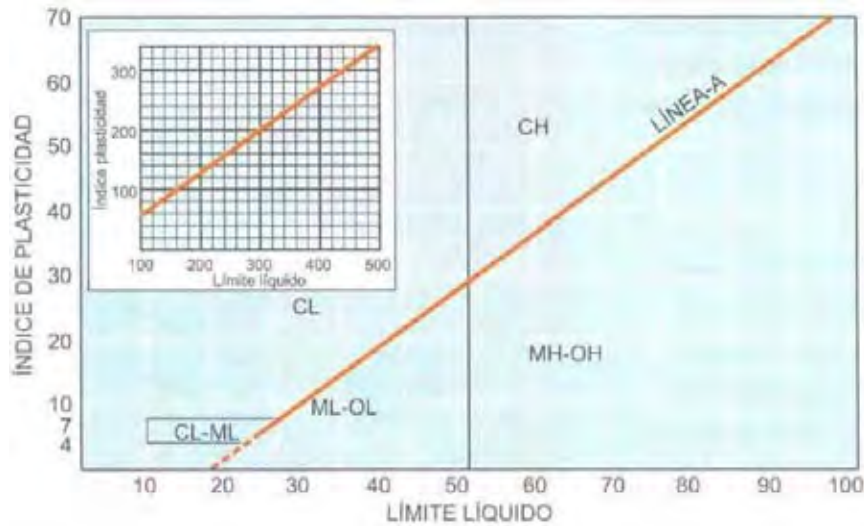


Figura 4.7.a.- Carta de plasticidad de Casa Grande (Lambe).

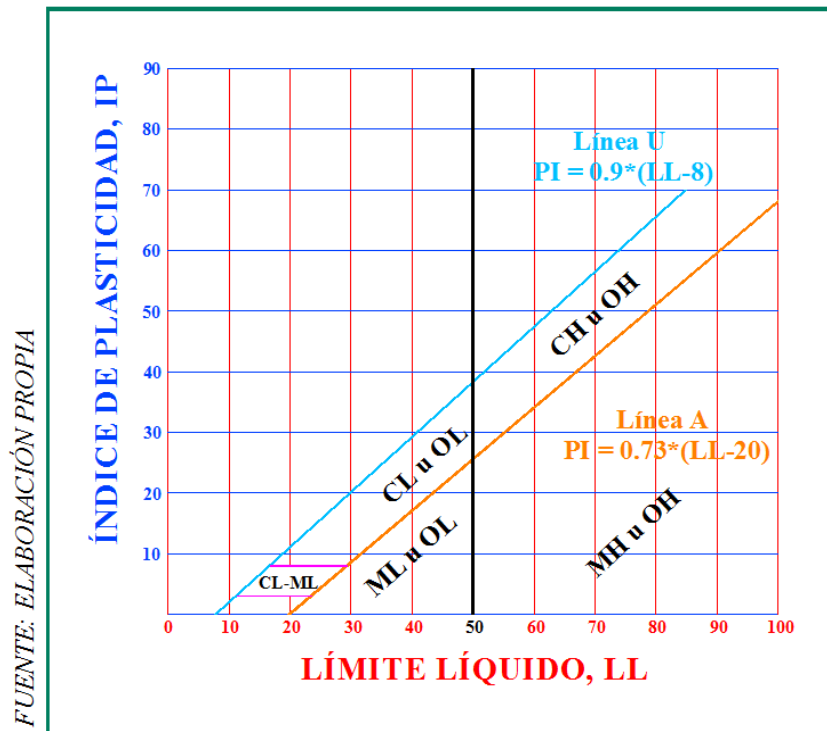


Figura 4.7.b.- Carta de plasticidad de Casa Grande.

En este gráfico se representa la relación del límite líquido (abscisas) con el índice de plasticidad (ordenadas). Casagrande definió que los suelos con  $LL > 50$  son de “alta plasticidad” (pueden admitir un mayor contenido de agua y por tanto pueden experimentar deformaciones plásticas mayores). Los suelos con  $LL < 50$  se denominan de “baja plasticidad”. Complementariamente, Casagrande definió una línea A, que separa los suelos arcillosos de los más limosos. Así, a partir del criterio de alta y baja plasticidad y de la línea A, se pueden definir varias zonas en el gráfico anterior. Los suelos limosos y con apreciable contenido orgánico tienen un intervalo de humedad menor para pasar del estado semisólido al estado líquido (menor índice de plasticidad), situándose por debajo de la línea A. En el caso de las arcillas, dicho intervalo de humedad es mayor, situándose por encima de la línea A. Se definen, por tanto, varios

tipos de suelos: arcillas de alta plasticidad (CH), arcillas de baja plasticidad (CL), limos y suelos orgánicos de alta plasticidad (MH-OH) y limos y suelos orgánicos de baja plasticidad (ML-OL).

### E) Toma de Muestras.

La toma de muestras es una de las actividades importantes de las campañas de reconocimiento geotécnico. Por ese motivo ha de estar planificada antes de comenzar la campaña de reconocimientos.

Las muestras pueden obtenerse de sondeos, de pozos a cielo abierto donde no se haya hecho perforación o excavación previa.

Las muestras pueden ser alteradas, esto es, que después de tomadas tengan otra densidad o humedad distintas de las originales o inalteradas, esto es, en las que la humedad y la densidad (y por lo tanto la resistencia, la deformabilidad y la permeabilidad) sean lo más próximas posibles a las originales. En cualquier caso las muestras han de ser representativas del suelo que se quiere ensayar; en ese sentido deben evitarse siempre los lavados o segregaciones de las muestras salvo que ese aspecto, por alguna razón singular, no tenga importancia en el problema en estudio.

Las muestras alteradas pueden tomarse manualmente, con pico y pala, con excavadoras mecánicas o proceder de testigos de sondeos. Pueden transportarse en sacos o bolsas.

Las muestras inalteradas o poco alteradas pueden tomarse con toma muestras específicos (hincando tubos cortos biselados) de paredes de pozos, zanjas previamente apuntalados. Deben empaquetarse, transportarse y conservarse en laboratorio hasta su ensayo de manera que no sufran alteración.

La toma de muestras más usual de los reconocimientos geotécnicos se realiza en sondeos mediante toma muestras específicos adaptados al tipo de terreno. En la tabla 4.2 se resume la información relativa a los más empleados.

TUBO TOMA MUESTRA	TIPO DE TERRENO	CALIDAD DE LA MUESTRA
Tubo Toma Muestra Hincado.- En el fondo de los sondeos se pueden hincar tubos de pared delgada (Shelby) que altera poco el terreno que queda alojado en su interior. Existen diferentes procedimientos, según el suelo sea blando (toma muestras hincados a presión o vibración y con distintos sistemas de retención del testigo) o a percusión cuando el suelo es de compactidad media e incluso alta.	Suelos cohesivos de compactidad muy floja, media floja y algunos suelos granulares con suficiente finos y no muy densos.	Poco alterada.
Tubo Porta Muestras.- En los sondeos mecánicos realizados a rotación se aloja un tubo en el interior del elemento inferior de la perforación que protege parcialmente la muestra a tomar de los efectos de la rotación.	Suelos cohesivos de consistencia firme a muy firme y rocas.	Algo alterado.
Testigos de Perforación.- En los sondeos perforados con corona hueca se puede obtener en suelos firmes el núcleo de terreno no destruido durante el avance.	Suelos cohesivos de consistencia firme a muy firme y rocas.	Algo alterada a muy alterada.
Cuchara SPT.- La hincada de tubo que conforma la cuchara del SPT permite un buen número de suelos obtener una muestra del terreno atravesado durante su hincada.	Suelos cohesivos no muy firmes y suelos granulares sin grava no muy compacta y con alguno de finos.	Muy alterada.

Tabla 4.2.- Tubos toma muestras más empleados.

La toma de muestras inalteradas o poco alteradas de suelos granulares limpios no es posible por procedimientos convencionales (ver figura 4.9). En algunas arenas resultan eficaces los toma muestras de pistón tipo Osterberg o tipo Bishop.

El procedimiento debe quedar documentado indicando, para cada muestra o grupo de muestras, su procedencia (sondeo, punto de coordenadas conocidas), la columna litológica correspondiente al lugar donde se hace la toma, la indicación expresa de su profundidad, la posición del nivel freático en el lugar donde se tomó la muestra (ver figura 4.8).

Ya que las muestras se toman para hacer ensayos de laboratorio, la programación del número de ellas y su ubicación sólo deberá definirse tras considerar los ensayos que resulten necesarios para analizar los problemas objeto del informe geotécnico.



Figura 4.8.- Tallado de muestras en pequeños bloques.

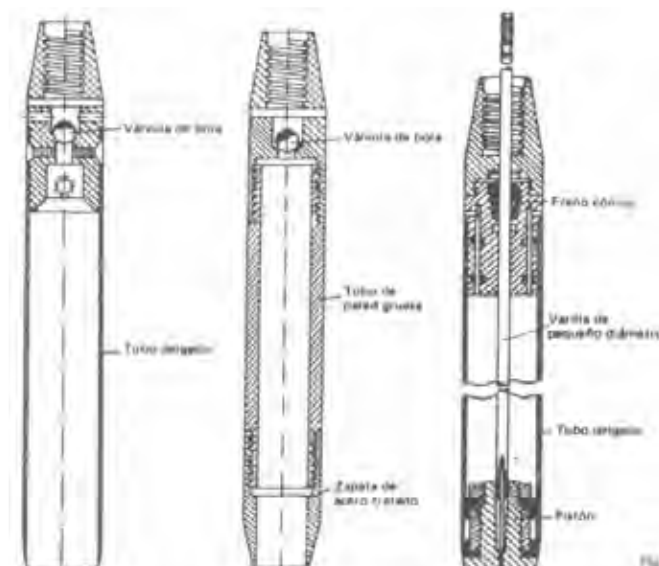


Figura 4.9.- Ejemplo de toma muestras.



### IV.3 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO.

Partiendo de la identificación de necesidades que ha de figurar expresamente en el presente trabajo de tesis, se debe estudiar el modo de satisfacerlas de la forma más adecuada teniendo presente las distintas técnicas de reconocimiento disponibles.

La elección del método de reconocimiento más adecuado en cada caso, la posición de los puntos en los que se ha de efectuar los trabajos de campo, profundidad a alcanzar con los reconocimientos, ensayos de muestras, ensayos especiales, etc.

A continuación se indican las técnicas de reconocimiento empleadas en la investigación del terreno.

#### A) Investigación In Situ.

##### Ensayos en sondeos.

Los ensayos más frecuentes realizados en sondeos son los siguientes:

##### Ensayo de penetración estándar (SPT).

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT, del inglés, Standard Penetration Test) nace en el año 1927, desarrollado por un sondista de la Raymond Concrete Pile Co., quien propuso a Terzaghi contabilizar el número de golpes necesarios para hincar 1 pie (30 cm.), él toma muestras que solía utilizar para obtener muestras en terrenos sin cohesión (ver figura 4.10).

De forma resumida, la realización del ensayo es la siguiente:

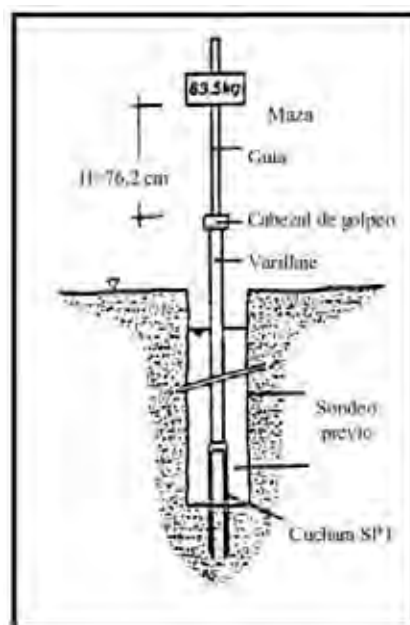


Figura 4.10.- Ensayo de penetración estándar (SPT).

1. Se ejecuta un taladro hasta la cota deseada y en el fondo del mismo (una vez limpiado cuidadosamente) se introduce un toma muestras de dimensiones estándar (Figura 1-2) que consta de tres elementos: zapata, tubo partido y cabeza de acoplamiento con el varillaje.
2. Se hinca el tubo toma muestras en el terreno 60 cm., contando en número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 centímetros. La hinca se realiza mediante una maza de 63.5 kg. (140 libras) que cae desde una altura de 76 cm. (30 pulgadas) en una cabeza de golpeo o yunque. La lectura del golpeo del primer y último tramo no se toma en cuenta, por posible alteración del suelo o derrumbes de las paredes del sondeo en el primer caso y por posible sobre compactación en el segundo. Los valores de golpeo de los tramos centrales de

15 cm. sumados conducen al parámetro  $N_{30SPT}$  o  $N_{SPT}$ , denominado también resistencia a la penetración estándar. Cuando el terreno es muy resistente se detiene la prueba para un determinado número de golpes (rechazo, R), anotando la penetración realizada.

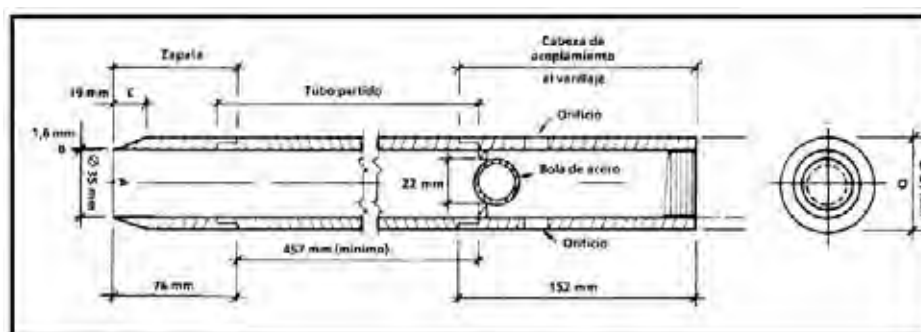


Figura 4.11.- Toma muestras o cuchara SPT. (UNE 103-800-92-ASTMD 1586/84).

La norma ASTM D1586-84 indica que la prueba se puede dar por finalizada:

1. Cuando se aplican 50 golpes para un tramo de 15 cm.
2. Cuando se aplican 100 golpes en total.
3. Cuando no se observa penetración alguna para 10 golpes.

El toma muestras permite por otro lado recoger una muestra alterada del suelo que posibilita su identificación. Normalmente esta muestra se introduce en un recipiente o bolsa en los que se indican en una etiqueta, además de los datos de la obra, sondeo, profundidad, fecha, etc., los valores de golpeo obtenidos, por ejemplo:

- 5/7/6/8
- 12/13/21/R: 50/5cm

El valor del parámetro  $N_{SPT}$  será  $7+6 = 13$  en el primer caso y  $13+21 = 34$  en el segundo. Asimismo, para este segundo ejemplo se ha llegado al rechazo (50 golpes en un tramo de 15 cm.) habiendo penetrado sólo 5 centímetros.

El ensayo SPT es por naturaleza simple y puede ser intercalado con facilidad en cualquier sondeo de reconocimiento. Puede ejecutarse en casi cualquier tipo de suelo, incluso en rocas blandas o meteorizadas. Los resultados de la prueba, difundida ampliamente en todo el mundo, se correlacionan empíricamente con las propiedades específicas in situ del terreno. En resumen, el ensayo resulta apropiado para terrenos en los que predomina la fracción arena, con reserva tanto mayor cuanto mayor es la proporción de la fracción limo-arcilla o fracción de grava.

Existen numerosas correlaciones empíricas con diversos parámetros geotécnicos. Debe entenderse claramente que estas relaciones son aproximadas y su uso resulta más adecuado cuanto mayor sea la experiencia de quien las utiliza.

## B) Correlaciones en Suelos Granulares.

### Densidad relativa.

Terzaghi y Peck (1948) publicaron la primera correlación entre  $N_{SPT}$  y la Densidad Relativa (DR%), válida para arenas cuarzosas (ver figura adjunta).

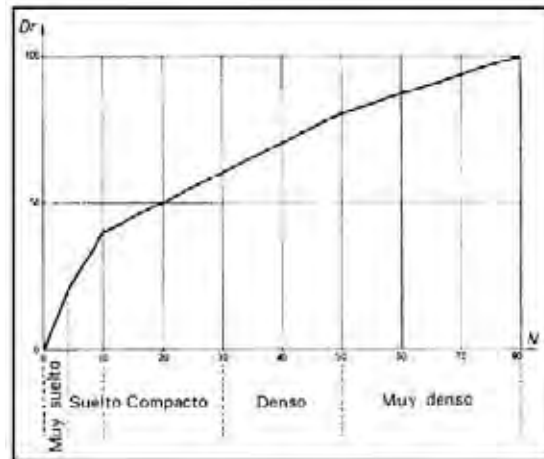


Figura 4.12.- Correlación  $N_{SPT}$  y Densidad Relativa (DR%).

En base a los valores de la DR%, Terzaghi y Peck establecieron lo que hoy es un clásico sistema de clasificación de las arenas según su compactación. El índice SPT está relacionado con la compactación de las arenas. Terzaghi y Peck propusieron la siguiente relación observada en la tabla 4.3.

$N_{SPT}$	COMPACTIDAD
0-4	MUY SUELTA
5-10	SUELTA
11-30	MEDIA
31-50	FIRME
>50	MUY FIRME

Tabla 4.3.- Relación del índice SPT con la compactación.

#### Angulo de fricción interna.

Los datos que se obtienen del ensayo SPT permiten estimar el ángulo de fricción interna de los materiales granulares, bien indirectamente, deducido de los valores estimado de la densidad relativa, bien directamente a partir del valor  $N_{SPT}$  (tendencia actual). En la Figura 4.13 se presentan conjuntamente los ábacos propuestos por Meyerhof (1956) y Peck et al. (1974).

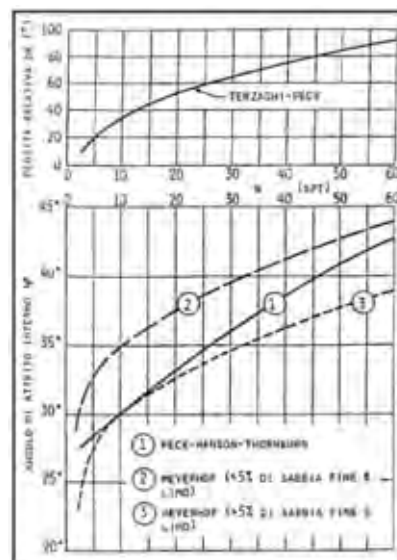


Figura 4.13.- Ábacos propuestos por Meyerhof y Peck (1956, 1974).

Existe una correlación evidente entre el ángulo de fricción interna de los suelos granulares y el índice  $N_{SPT}$ . La de mayor difusión probablemente sea la definida por Schmertmann que puede aproximarse con la siguiente expresión analítica:

$$\tan \phi = \left( \frac{N_{SPT}}{12.2 + 20.3 * \left( \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)} \right)$$

Donde:

$\phi$ : Ángulo de rozamiento.

$N_{SPT}$ : Índice del ensayo SPT.

$\sigma'_{v0}$ : Presión vertical efectiva al nivel del ensayo.

$P_a$ : Presión atmosférica (1 bar = 100 KPa).

Como resumen, a continuación se incluye la tabla 4.4 en la que se muestran una serie de parámetros correlacionados con el valor  $N_{SPT}$  para suelos granulares:

CORRELACIÓN ENTRE PRUEBAS SPT Y VALORES DE RESISTENCIA DE SUELOS ARENOSOS				
N (SPT)	Descripción	Valor de $C_r$	Angú. Fricción	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
0 – 4	Muy floja	0 – 15	28	100
5 – 10	Floja	16 – 35	28 – 30	100- 250
11 – 30	Media	36 – 65	30 – 36	250 – 500
31 – 50	Compacta	66 – 85	36 – 41	500 – 1000
>50	Muy compacta	86 - 100	41	>1000

E = Modulo de Young;  $C_r$  = Compacidad Relativa

Tabla 4.4.- Parámetros correlacionados con el valor  $N_{SPT}$ .

**C) Correlación en Suelos Cohesivos.**

En los terrenos cohesivos las correlaciones basadas en los resultados del ensayo SPT sólo deben considerarse orientativas. La dispersión de las correlaciones en suelos cohesivos es mucho mayor que en los terrenos granulares.

**Resistencia a compresión simple.**

Muchos investigadores han intentado realizar correlaciones entre el valor de  $N_{SPT}$  y la resistencia a la compresión simple de suelos arcillosos. La dispersión de los resultados obtenidos es muy grande, como puede apreciarse en la Figura 4.14 (NAVFAC, 1971). En la tabla 4.5 se presentan también correlaciones entre el golpeo  $N_{SPT}$ , la densidad saturada y la resistencia a la compresión simple según la adaptación de Hunt (1984) a los trabajos de Terzaghi y Peck (1948).

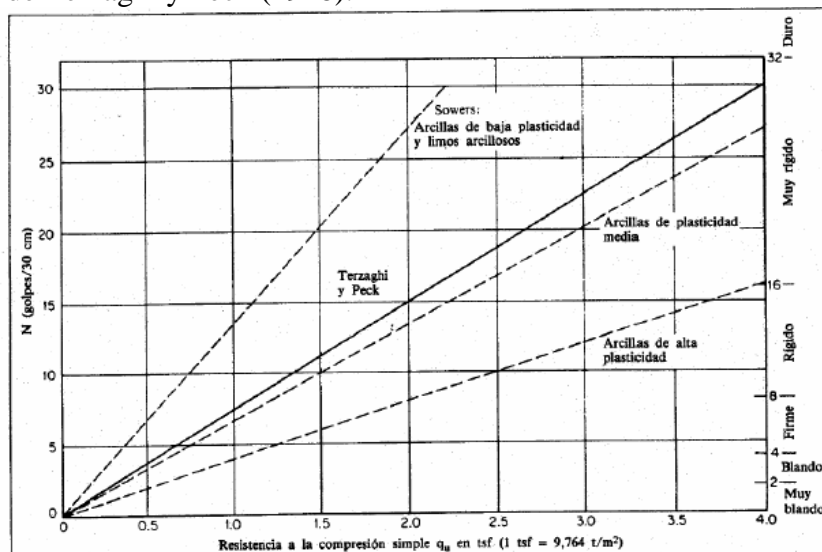


Figura 4.14.- Correlación de  $N_{SPT}$  y resistencia a la compresión simple.

Valores de la resistencia a compresión simple a partir de  $N_{SPT}$  para suelos cohesivos de distinta plasticidad. NAVFAC, 1971

CONSISTENCIA	N	IDENTIFICACIÓN MANUAL	$\gamma_{sat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Dura	>30	Se marca difícilmente	>2.24	>4.0
Muy rígida	15 – 30	Se marca con la uña del pulgar	2.08 – 2.24	2.0 – 4.0
Rígida	8 – 15	Se marca con el pulgar	1.92 – 2.08	1.0 – 2.0
Media	4 – 8	Moldeable bajo presiones fuertes	1.76 – 1.92	0.5 – 1.0
Blanda	2 – 4	Moldeable bajo presiones débiles	1.60 – 1.76	0.25 – 0.5
Muy Blanda	<2	Se deshace entre los dedos.	1.44 – 1.60	0 – 0.25

Tabla 4.5.- Propiedades de suelos arcillosos. Hunt, 1984, en IGME, 1987.

Finalmente, se incluye una tabla 4.6 resumen, con correlaciones orientativas del ensayo SPT con otros parámetros para suelos arcillosos.

OCR	$N_{golpes}$ (SPT)	$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Descripción	Ángulo de Fricción (°)	E (Kg/cm <sup>2</sup> )
NC	<2	< 0.25	Muy blanda	0	3
NC	2 - 4	0.25 – 0.50	Blanda	0 – 2	30
NC	4 - 8	0.50 – 1.0	Media	2 – 4	45 – 90
NC	8 – 15	1.0 – 2.0	Compacta	4 – 6	90 – 200
>OCR	15 – 30	2.0 – 4.0	Muy compacta	6 – 12	>200
>OCR	>30	>4.0	Dura	>14	

NC= Normalmente Consolidada, OCR= Suelos sobre consolidados, E= Modulo de rigidez

Tabla 4.6.- Correlación de ensayo SPT con otros parámetros.

#### IV.4 ENSAYOS DE LABORATORIO.

Los ensayos de laboratorio constituyen hoy la herramienta principal para el estudio de las características geotécnicas del terreno. Rara vez será posible un estudio geotécnico correcto que no incluya ensayos de laboratorio.

Existen ensayos de laboratorio destinados a definir la naturaleza del suelo, esto es, su composición granulométrica y mineralógica, sus propiedades índices, etc. Existen otros ensayos de laboratorio especialmente destinados al estudio de la resistencia, de la deformabilidad y de la permeabilidad.

##### A) Ensayos de Identificación en Suelos.

Dentro de este grupo de ensayos de laboratorio se consideran incluidos los siguientes:

- Ensayos granulométricos por tamizado y por sedimentación
- Ensayo de contenido de humedad.
- Densidades mínima y máxima de arenas.
- Determinaciones del peso específico de las partículas.

Estos ensayos se pueden realizar con muestras alteradas o inalteradas. En cualquier caso exigen desmenuzar previamente la muestra.

Con los dos primeros ensayos (granulometría y límites de Atterberg) es posible clasificar los suelos dentro de tipos cuyas características geotécnicas son similares. A estos efectos se recomienda utilizar el sistema unificado de clasificación de suelos, que está ampliamente difundido.

También se consideran de este grupo los ensayos de densidad seca y humedad natural que permiten conocer las dos variables más importantes del estado del suelo. Su determinación debe hacerse, sin embargo, en muestras inalteradas o poco alteradas.

### B) Ensayos de Compresión Simple en Suelos.

Están indicados para ensayar muestras de suelos cohesivos de consistencia media, firme o muy firme, inalterados o poco alterados, así como suelos cohesivos recompactados. De su resultado se obtiene una idea precisa de la resistencia al corte del suelo en condiciones de saturación similares a las del ensayo.

El resultado puede ser poco preciso en arcillas que muestren síntomas de fisuración. Siempre que se haga este ensayo se recomienda que se determine específicamente, en cada probeta, la humedad y la densidad seca antes del ensayo.

La resistencia a la compresión simple de los suelos arcillosos puede calificarse de acuerdo con la siguiente escala, tabla 4.7:

Consistencia de los suelos arcillosos	Ensayo manual	Resistencia a compr. simple (KN/m <sup>2</sup> )
Muy blanda	Se extruye entre los dedos	0-25
Blanda	Se puede moldear fácilmente	25-50
Firme	Se moldea con dificultad	100-200
Muy firme	Se puede arañar con la uña del pulgar	200-500
Dura	Difícil de arañar	>500

Tabla 4.7.- Resistencia a la compresión simple.

### C) Ensayos de Corte Directo.

Está indicado para cualquier tipo de muestra de suelos cohesivos o granulares, estén o no alterados. Evidentemente la preparación de probetas de ensayo procedentes de muestras arenosas inalteradas es complicada y requiere técnicas especiales que no se aconseja su utilización.

El ensayo de corte directo puede realizarse con las probetas semisaturadas, tal como esté la muestra de las que procedan, o con una saturación adicional provocada en el equipo de ensayo.

Del ensayo se puede obtener una estimación aproximada de la resistencia al corte. Las condiciones de deformación son tan poco homogéneas en la caja de corte que no se debe esperar precisión en los parámetros resistentes. Por ese motivo su utilización sólo es aconsejable cuando no existe la posibilidad de hacer ensayos triaxiales.

### D) Ensayo Triaxial de Suelos.

El ensayo está especialmente indicado para conocer la resistencia y la deformabilidad del suelo ante distintos niveles de confinamiento. Se puede realizar con muestras de cualquier tipo de suelo ya sean alteradas o inalteradas.

El ensayo se puede hacer con probetas de distinto tamaño. Usualmente se ensayan probetas cilíndricas de altura igual al doble del diámetro. Los diámetros usuales mínimos son 0.0381 m.

El ensayo suele hacerse con o sin consolidación previa y rompiendo con el drenaje abierto o cerrado. Son típicos los ensayos:

- U.U. - Sin consolidación previa y sin drenaje.
- C.U. - Con consolidación previa y sin drenaje.
- C.D. - Con consolidación previa y con drenaje.

El ensayo tipo C.U., se puede hacer con o sin medida de las presiones intersticiales de la probeta.

En cada ensayo triaxial se suelen fallar tres probetas, cada una de ellas sometidas a una presión de célula que supera en 0.5, 1 y 3 bares a la contrapresión de saturación. Es posible y aconsejable indicar otras presiones de ensayo que puedan ser más adecuadas al problema que se investiga.

Durante la fase de carga vertical del ensayo hasta rotura se controla la deformabilidad tomando nota de la carga para cada 0.5 % adicional de reducción de altura de la probeta.

El conocimiento de esos datos de deformación es esencial para deducir la deformabilidad del suelo.

Los resultados de resistencia y deformación de suelos obtenidos de ensayos triaxiales son aplicables al estudio de todos los problemas geotécnicos.

#### **E) Ensayo de Consolidación.**

Los ensayos de consolidación están especialmente indicados para estudiar los asientos de suelos arcillosos blandos saturados. Pueden realizarse con muestras inalteradas de suelos cohesivos o muestras recompactadas de cualquier material.

Estos ensayos suelen realizarse incrementando la carga vertical en escalones, de manera que cada nueva carga duplica la compresión vertical existente en el escalón anterior. El ensayo suele alcanzar la carga vertical máxima de  $1 \text{ MN/m}^2$  aunque es posible especificar cargas mayores si el problema que se pretende analizar lo requiere. El ensayo incluye también el control de deformaciones durante la descarga.

Cada escalón de carga del ensayo edométrico se mantiene durante un día. Se recomienda mantener este tiempo mínimo de espera y, por lo tanto, se desaconseja especificar duraciones menores al solicitar la realización de estos ensayos.

Los ensayos de consolidación suelen realizarse con probetas saturadas aunque es posible, en casos especiales, hacerlos con humedad menor o saturarlos después de haber colocado cierta sobrecarga.

De la interpretación de los ensayos de consolidación se deducen parámetros geotécnicos relativos a la deformabilidad y permeabilidad del suelo especialmente indicados para el estudio de problemas de consolidación.

#### **F) Ensayo de Compactación.**

Los ensayos de compactación están indicados para el estudio del efecto de la humedad en la densidad máxima que puede alcanzarse al compactar un suelo. Se realizan con muestras de cualquier tipo de suelo hasta gravas que puedan tener 25 mm. (1") de tamaño máximo (aprox.).

Los ensayos más tradicionales son el Proctor Normal y el Proctor Modificado. El segundo se realiza compactando en moldes más grandes y con energías mayores y por eso suelen alcanzar densidades claramente más altas (5 a 15% mayores que las correspondientes al Proctor Normal).

El resultado de estos ensayos es especialmente aplicable al control de calidad de compactación de rellenos.

### **APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.**

#### **IV.5 PRUEBAS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.**

El estudio de mecánica de suelos, como ya se mencionó sirve para determinar el conjunto de características que nos permitirán obtener una concepción razonable del comportamiento mecánico del suelo en estudio.

#### **IV.6 CARÁCTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOGRÁFICAS DEL SITIO.**

El terreno donde se localiza el Conjunto Habitacional se ubicada en la comunidad de San Bernardino Tlaxcalancingo, municipio de San Andrés Cholula, está ubicado al poniente de la ciudad de Puebla (ver figura 3 Cap. 2).

Según la carta geológica E14B43 de INEGI (figura 4.17), el principal afloramiento de la zona es una Toba andesítica (Ta), de 40cm de espesor aproximadamente, originada en el terciario superior, de fracturamiento escaso y baja permeabilidad. Es descrita como de textura arenosa y frágil y de color pardo claro.

El terreno, está ubicado en la parte posterior de la planta, sobre un terreno sensiblemente plano, que era utilizado anteriormente como tierra de labor (figura 4.15 y 4.16).



**Figura 4.15.- Sitio en estudio, terreno aledaño a la nave industrial.**



**Figura 4.16.- Localización de la zona habitacional "San Bernardino".**





- ❖ El cuarto estrato, se localiza a 2.4m de la superficie del terreno, a simple vista se observa que tiene partículas más grandes que el estrato tres, es de color café claro, no presenta gran plasticidad y se desmorona al ser manipulado y secarse. El espesor no está definido puesto que la excavación alcanzó solamente 3.5m, presentándose el mismo suelo desde los 2.4m



**Figura 4.18.- Excavación de pozos a cielo abierto.**



**Figura 4.19.- Excavación de pozos a cielo abierto.**

Se obtuvieron muestras inalteradas mediante tubo Shelby, estas muestras fueron llevadas al laboratorio (figura 4.21.a). También se extrajeron muestras alteradas de los distintos estratos, las muestras fueron secadas al horno, disgregadas y almacenadas en un lugar seco, para posteriormente llevar a cabo las distintas pruebas que se requirieron (figura 4.21.b y 4.21.c).

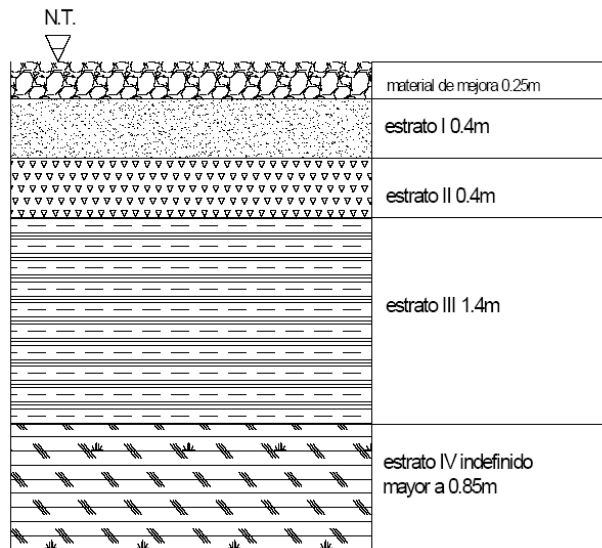


Figura 4.20.- Perfil del terreno.



Figura 4.21.a.



Figura 4.21.b.



Figura 4.21.c.

Figura 4.21.- a) Obtención de muestras inalteradas. b) obtención de muestras alteradas. c) almacenamiento e identificación de muestras inalteradas.

**TRABAJO DE LABORATORIO.****IV.8 PESO VOLUMÉTRICO.**

El peso volumétrico en estado natural del suelo o peso específico de la masa de suelo, es la relación entre el peso del mismo y el volumen que ocupa.

$$\gamma_m = \left( \frac{W_m}{V_m} \right)$$

Donde:

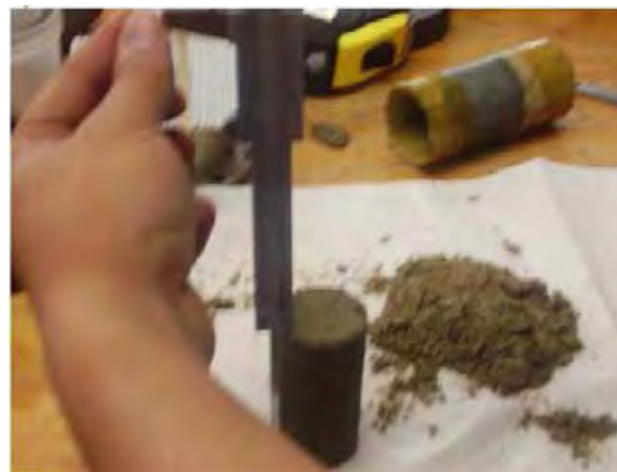
$W_m$ : Es la masa del suelo.

$V_m$ : Es el volumen total de la muestra de suelos.

El procedimiento de laboratorio que utilizamos para la determinación del peso específico, fue mediante el labrado de muestras de suelo, en forma de cuerpos bien definidos, en este caso cilindros como los tubos muestreadores, para la determinación del volumen, midiendo físicamente todas sus dimensiones. Y pesándolas posteriormente (figura 4.22 y 4.23).



**Figura 4.22.- Labrado de muestras.**



**Figura 4.23.- Medición de muestras labradas.**

#### IV.9 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL.

El contenido de agua de un suelo o contenido de humedad es la relación entre el agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida, y se expresa en forma de porcentaje. Este puede variar entre 0 e  $\infty$  dependiendo de las condiciones de humedad del sitio donde se localice el suelo. (Juárez, Rico, 2004 p.54) La cantidad de agua se obtiene mediante la diferencia de peso entre el suelo en estado natural y el suelo secado en horno. La relación que expresa la humedad de un suelo es la siguiente.

$$\% \omega = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) * 100$$

Donde:

$W_w$ : Es el peso del agua.

$W_s$ : Es peso del suelo seco.

Los resultados que obtuvimos de esta prueba para los diferentes estratos se presentan en la tabla 4.9.

#### IV.10 PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS O DENSIDAD DE SÓLIDOS ( $S_s$ ).

La densidad de los granos es un parámetro que no sólo funciona como una propiedad índice sino que también interviene dentro de los cálculos para la determinación de las propiedades mecánicas como en el caso de la compresibilidad de los suelos.

En la tabla 4.8 se proporcionan los rangos de variación de la densidad de sólidos de algunos componentes de los suelos:

MATERIAL	$S_s$
Cuarzo	2.65 – 2.67
Feldspato	2.54-2.76
Moscovita	2.80-2.90
Biotita	3.00-3.10
Augita	3.20-3.40
Hornblenda	3.20-3.50
Calcita	2.72
Dolomita	2.85-2.87
Yeso	2.32
Talco	2.70
Limonita	3.80
Magnetita	5.17
Hematina	5.20
Fra. de roca	2.50-3.00
Arcilla de la Cd. De México	2.20-2.50
Turba	1.50-2.10

Tabla 4.8.- Densidad de sólidos de algunos materiales.

La densidad de sólidos, se define como el peso específico del suelo con respecto al peso específico del agua a 4°C, destilada y sujeta a presión atmosférica (Juárez, Rico, 2004 p.53).

$$S_s = \left( \frac{\gamma_s}{\gamma_0} \right) = \left( \frac{\frac{W_s}{V_s}}{\frac{W_0}{V_0}} \right)$$

Donde:

$W_s$ : Peso de los sólidos.

$V_s$ : Volumen de los sólidos.

$W_o$ : Peso del agua.

$V_o$ : Volumen del agua.

Para determinar este parámetro se utilizó un procedimiento donde se igualen los volúmenes de agua y de suelo, mediante un matraz de volumen definido, quedando la ecuación expresada en función de los pesos, de la siguiente forma.

$$S_s = \left( \frac{W_s}{W_s + W_{fw} - W_{fsw}} \right)$$

Donde:

$W_{fw}$  = Peso del matraz + agua.

$W_{fsw}$  = Peso del matraz con agua y suelo.

Para medir la densidad de sólidos en el laboratorio se hace uso del Principio de Arquímedes, usando un matraz con una señal en su cuello llamada “marca de aforo”. El Procedimiento de prueba consiste en llenar un matraz cuyo volumen está bien definido mediante una marca de enrase, con agua destilada ( $W_{fw}$ ), posteriormente llenar el mismo matraz con agua y 50gr. de suelo y agua destilada ( $W_{fsw}$ ). A este matraz se le debe absorber el aire atrapado entre las partículas de suelo mediante una bomba de vacío.

La diferencia de peso entre los dos matraces es el peso del agua desplazada por el suelo, siempre y cuando no haya variación en la temperatura del agua, lo que afectaría su densidad (figura 4.24).



Figura 4.24.- Determinación del peso específico relativo de sólidos  $S_s$ .

Este procedimiento lo aplicamos a los estratos 3 y 4, obteniendo los resultados que se reportan en la tabla 4.9.

#### IV.11 RELACIÓN DE VACÍOS.

Otra de las relaciones que calculamos fue la relación de vacíos, oquedad o índice de poros, esta se define como la relación que existe entre el volumen de vacíos y el de sólidos del suelo (Juárez, Rico, 2004 p.54).

$$e = \left( \frac{V_v}{V_s} \right)$$

Donde:

e.- Es la relación de vacíos

$V_v$ : Es el volumen de vacíos

$V_s$ : Es el volumen de sólidos

Ya que:

$$V_s = \left( \frac{W_s}{S_s \gamma} \right)$$

Y que:

$$V_v = V_m - V_s$$

Entonces se pudo determinar la relación de vacíos, de los estratos 3 y 4, los resultados se encuentran reportados en la tabla 4.9.

RELACIONES VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS PARA CADA ESTRATO				
Estrato	Peso volumétrico (ton/m <sup>3</sup> )	Contenido natural de agua (W %)	Peso específico relativo de sólidos (S <sub>s</sub> )	Relación de vacíos (e)
1	1.412	10.12	-----	-----
2	1.397	27.14	-----	-----
3	1.716	50.26	2.41	2.14
4	1.495	36.74	2.78	1.51

**Tabla 4.9.- Relaciones volumétricas y gravimétricas.**

Nota.- Los cálculos para la tabla 9 se encuentran en el anexo A.

#### IV.12 CLASIFICACIÓN.

La clasificación de los suelos fue uno de los primeros objetivos de la mecánica de suelos. Antiguamente dicha clasificación se hacía en base a criterios puramente descriptivos.

El sistema que utilizamos para la clasificación de los distintos estratos, fue el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). El SUCS, es actualmente el sistema más empleado en el mundo, y funciona dividiendo el suelo en dos grandes grupos. El primer grupo es la fracción “gruesa”, que está conformada por las partículas mayores a la malla #200 (0.074mm). Y el segundo es la parte “fina”, la cual está conformada por todas aquellas partículas menores a la malla 200.

Se considera un suelo grueso, cuando el 50% del peso de una muestra queda retenido en la malla 200. Los suelos gruesos se subdividen en:

- a) Gravas de símbolo genérico *G*.
- b) Arenas, de símbolo genérico *S*.

Las gravas y las arenas se separan con la malla #4 (4.76mm). Se considera como grava a todo el material retenido en dicha malla, El material que pasa la malla #4 y es retenido en la malla # 200 (0.074mm), es una arena.

Estos grupos *G* y *S*, se subdividen en cuatro grupos más, en función de su gama de tamaños, de la presencia de finos y la plasticidad de los mismos. De esta forma a cada grupo formado se le asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas.

Cuando el 50% del peso total de la muestra traspasa la malla # 200, se dice que el suelo es fino. De la misma forma que los suelos gruesos, los finos se subdividen en tres grupos, en función de su índice plástico (IP). Estos tres grupos son:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo genérico *M*.
- b) Arcillas inorgánicas, de símbolo *C*.
- c) Arcillas y limos orgánicos de símbolo genérico *O*.

Al igual que los suelos gruesos, el símbolo consta de dos letras, esta segunda letra es asignada en función de su grado de compresibilidad, definida por el límite líquido (LL), esta segunda letra puede ser *H*, para una alta compresibilidad o *L*, para baja compresibilidad.

Las divisiones entre los grupos de suelos finos son claramente definidas en la carta de plasticidad (figura 4.7a y 4.7b).

#### IV.13 GRANULOMETRÍA.

Como ya hemos visto, la granulometría es muy importante en el proceso de clasificación de suelos, nos permite en primera instancia separar la fracción gruesa de la fina. Además las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación adecuada de los suelos. La estabilidad de un suelo depende de su cantidad de vacíos, mientras esta sea menor mejor será el comportamiento del mismo. Para lograr que los vacíos de un suelo sean reducidos al mínimo es necesario que el material tenga una gama de tamaños que permita que los huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas más pequeñas.

La forma de medir el tamaño de las partículas del suelo grueso es mediante el cribado, consiste en pasar el material a través de una sucesión de mallas de aberturas distintas, y pesar el material retenido en cada malla, expresándolo en forma de porcentaje respecto al peso total de la muestra.

Nosotros realizamos el análisis granulométrico simplificado, al cual nos permite eliminar una serie de mallas, cuyo tamaño es apreciablemente mayor al tamaño máximo del suelo. De esta forma utilizamos las mallas num.4, 8, 16, 30, 50, 100, y 200. El procedimiento de cribado es aplicable solamente a las partículas gruesas del suelo, es decir a las mayores a 0.075mm, representada por la malla número 200. Debido a esta condición, primeramente separamos las partículas gruesas de las finas a través de las diferentes mallas, hasta llegar a la malla N° 200 en la cual hicimos un lavado, el cual consiste en mezclar el suelo con agua, permitiendo que las partículas finas queden suspendidas en el líquido y se filtren a través de la malla N° 200 (figura 4.25 y 4.26), el análisis granulométrico para las partículas finas se determinó por medio de la prueba del hidrómetro.



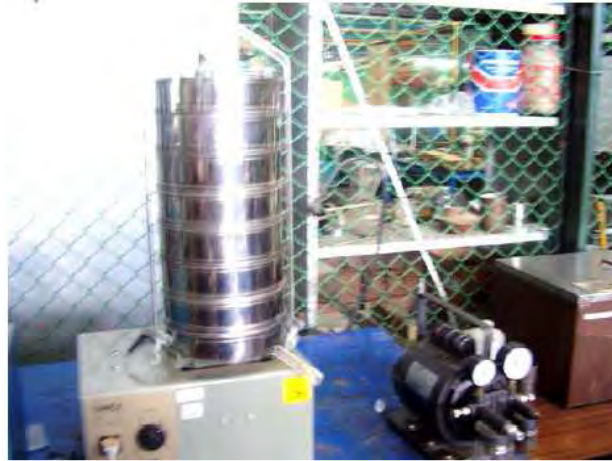
Figura 4.25.- Lavado de suelo malla N° 200.





**Figura 4.26.- Lavado de suelo malla N° 200.**

Posteriormente, se sometió a un proceso de secado, el material retenido en la malla N° 200, para después pasar al proceso de cribado y pesado (ver figura 4.27).



**Figura 4.27.- Proceso de cribado y pesado de la muestra de suelo, en la prueba de granulometría.**

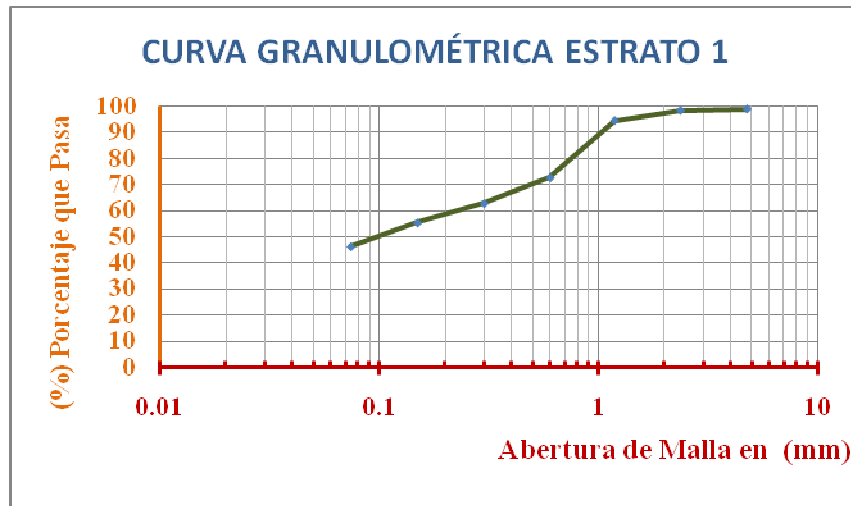
Después del cribado obtuvimos las siguientes curvas granulométricas de los diferentes estratos. Los datos los apreciamos de la tabla 4.10 a la tabla 4.13.

DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA OBRAS DE URBANIZACIÓN

ESTRATO 1					
PESO TOTAL EN (gr.)		<b>399.6</b>			
N° DE MALLA		Peso Retenido (gr.)	Peso Retenido (%)	Peso Retenido Acumulado (%)	(% QUE PASA LA MALLA)
(")	(mm)				
4	4.75	4.87	1.2187	1.2187	98.7813
8	2.36	2.23	0.5581	1.7768	98.2232
16	1.18	15.36	3.8438	5.6206	94.3794
30	0.6	87.49	21.8944	27.5150	72.4850
50	0.3	39.43	9.8674	37.3824	62.6176
100	0.149	29.57	7.3999	44.7823	55.2177
200	0.074	36.59	9.1567	53.9389	46.0611
<200		183.47	45.9134	99.8524	0.1476
Σ		399.01			

MATERIAL	(%) PORC.
GRAVA	1.2187
ARENA	53.9389
FINOS	44.8423

Tabla 4.10.- Granulometría estrato 1.

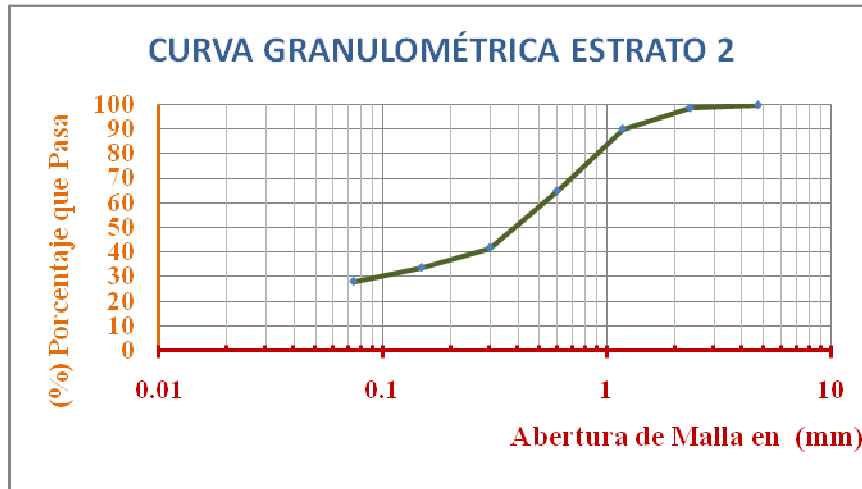


Gráfica Granulométrica de la tabla 4.10.

ESTRATO 2					
PESO TOTAL EN (gr.)		<b>285.6</b>			
N° DE MALLA		PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO (%)	PESO RETENIDO ACUMULADO	(% QUE PASA LA MALLA)
(")	(mm)				
4	4.75	0.505	0.1768	0.1768	99.8232
8	2.36	3.495	1.2237	1.4006	98.5994
16	1.18	24.398	8.5427	9.9433	90.0567
30	0.6	72.147	25.2616	35.2048	64.7952
50	0.3	66	23.0676	58.2724	41.7276
100	0.149	22.87	8.0077	66.2801	33.7199
200	0.074	16.201	5.6726	71.9527	28.0473
<200		80.02	28.0182	99.9709	0.0291
Σ		285.517			

MATERIAL	(%) PORC.
GRAVA	0.1768
ARENA	71.9527
FINOS	27.8704

Tabla 4.11.- Granulometría estrato 2.

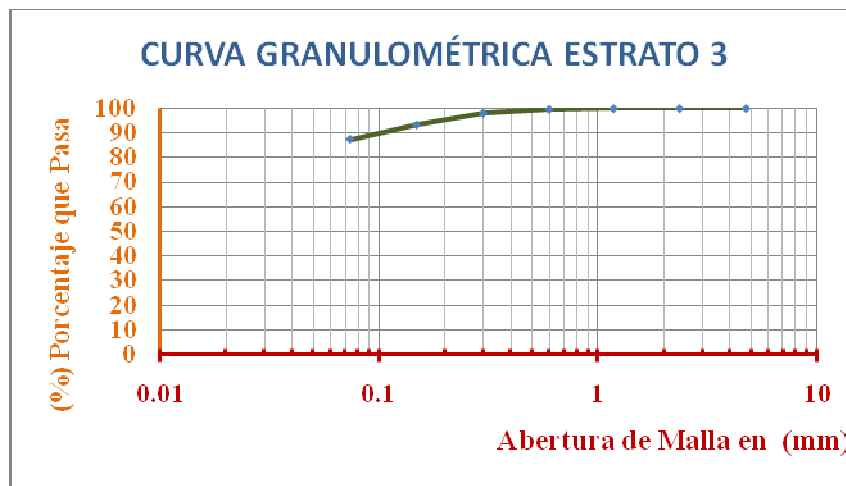


Gráfica Granulométrica de la tabla 4.11.

ESTRATO 3					
PESO TOTAL EN (gr.)		428.4			
N° DE MALLA		PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO (%)	PESO RETENIDO ACUMULADO (%)	(% QUE PASA LA MALLA)
(")	(mm)				
4	4.75	0	0.0000	0.0000	100.0000
8	2.36	0	0.0000	0.0000	100.0000
16	1.18	0.13	0.0303	0.0303	99.9697
30	0.6	1.267	0.2958	0.3261	99.6739
50	0.3	6.816	1.5910	1.9171	98.0829
100	0.149	20.84	4.8646	6.7817	93.2183
200	0.074	25.5	5.9524	12.7341	87.2659
<200		372.18	86.8768	99.6109	0.3891
Σ		426.733			

MATERIAL	(%) PORC.
GRAVA	0.0000
ARENA	12.7341

Tabla 4.12.- Granulometría estrato 3.

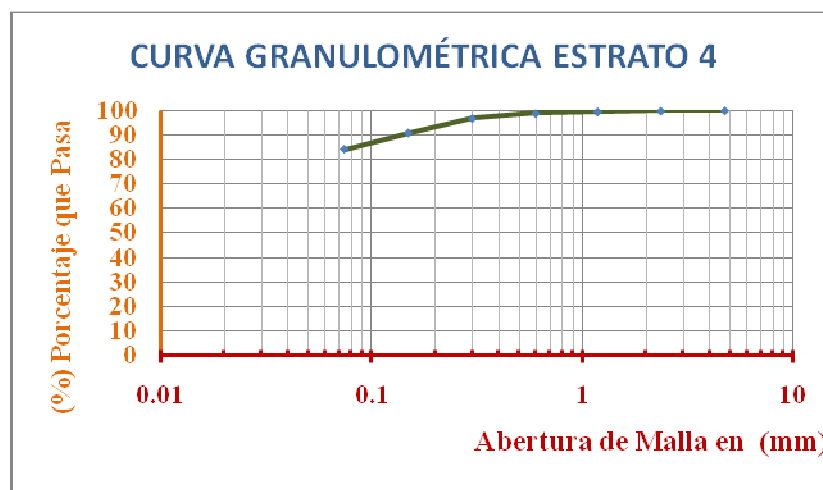


Gráfica Granulométrica de la tabla 4.12.

ESTRATO 4					
PESO TOTAL EN (gr.)		293.6			
N° DE MALLA		PESO RETENIDO (gr.)	PESO RETENIDO (%)	PESO RETENIDO ACUMULADO	(% QUE PASA LA MALLA)
(")	(mm)				
4	4.75	0	0.0000	0.0000	100.0000
8	2.36	0.388	0.1322	0.1322	99.8678
16	1.18	0.934	0.3181	0.4503	99.5497
30	0.6	2.024	0.6894	1.1396	98.8604
50	0.3	6.121	2.0848	3.2245	96.7755
100	0.149	17.69	6.0252	9.2497	90.7503
200	0.074	19.77	6.7337	15.9833	84.0167
<200		246.65	84.0089	99.9922	0.0078
Σ		293.577			

MATERIAL	(%) PORC.
GRAVA	0.0000
ARENA	15.9833

Tabla 4.13.- Granulometría estrato 4.



Gráfica Granulométrica de la tabla 4.13.

#### IV.14 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO.

La determinación del límite líquido se hace mediante la Copa de Casagrande, para la cual necesitamos material cribado en la malla número 40. El procedimiento consta de un recipiente de bronce semiesférico (fig. N° 4.28), con radio interior de 54 mm, espesor de 2 mm y peso de 200±20 g incluido un tacón adosado. En la copa se colocará el material a ensayar y posteriormente se le hará una ranura a todo lo largo del meridiano que pasa por el centro del tacón. La ranura es de forma trapecial y se logra utilizando un ranurador de dimensiones estándares: 2 mm de base, 11 mm de corona y 8 mm de altura, manteniéndolo siempre normal a la copa semiesférica. Mediante una manivela que eleva la copa a una altura de 1.0 cm, el recipiente golpea la base de “micarta” del equipo, varias veces a un ritmo de 2 golpes por segundo. A medida que se van dando los golpes la ranura se va cerrando; el Límite Líquido se define como el contenido de agua para el que la ranura se cierra a lo largo de ½” (1.27 cm) con 25 golpes dados a la copa.

Esta prueba se realiza tres veces, con diferentes humedades, de tal forma que tengamos valores entre los 6 y los 35 golpes. El objeto de esta prueba es el de determinar, mediante una gráfica el número de golpes, contra contenido de agua (%W), en la gráfica se ajustan los valores obtenidos a una recta, a partir de ésta recta se busca la ordenada al origen correspondiente a los 25 golpes.



Figura 4.28.-Determinación del límite líquido, mediante la Copa de Casagrande.

#### IV.15 PLASTICIDAD.

En la mecánica de suelos la plasticidad se puede definir como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse.

Atterberg determinó que la plasticidad de las arcillas es una propiedad circunstancial, que depende directamente de la cantidad de agua presente en el suelo. Es decir un mismo suelo puede pasar de un estado sólido con plasticidad nula, hasta un estado líquido donde el suelo se encuentra en estado de suspensión. El comportamiento plástico del suelo se da entre dos extremos. Atterberg determinó los siguientes estados de consistencia de un suelo de acuerdo al contenido decreciente de agua.

- 1) Estado Líquido.- Tiene las propiedades y apariencia de una suspensión
- 2) Estado Semilíquido.- Tiene las propiedades de un fluido viscoso.
- 3) Estado Plástico.- El suelo se comporta plásticamente.
- 4) Estado Semisólido.- Tiene apariencia sólida pero presenta disminuciones de temperatura durante el secado.
- 5) Estado Sólido.- El volumen del suelo ya no varía durante el secado.

La determinación de las fronteras entre estos estados se hace de forma convencional mediante lo que Atterberg llamó límites de consistencia.

Para nuestro estudio solo nos interesa el límite líquido; que es el límite entre los estados semilíquido y plástico; el límite plástico que es la frontera entre los estados plástico y semisólido. A estos dos límites se les conoce como los límites de plasticidad, y existe la siguiente relación entre ellos:

$$I_p = LL - LP$$

Donde:

$I_p$ .- Índice plástico

LL.- Límite líquido

LP.- Límite plástico

#### IV.16 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLÁSTICO.

Para la determinación del límite plástico, se hace formando rollitos de tres milímetros de espesor, hechos de una pasta de suelo, estos se hacen una y otra vez hasta que estos alcanzan los tres milímetros sin desmoronarse. En este momento se dice que llego a su límite plástico (figura N° 4.29 y 4.30). De igual forma este proceso se realiza tres veces, de tal forma que el valor del límite plástico sea el promedio de estas tres pruebas.



Figura 4.29.-Determinación del límite plástico.



Figura 4.30.-Determinación del límite plástico.

El índice plástico es la diferencia entre el Límite Líquido y el límite Plástico. Por lo que finalmente obtenemos los siguientes valores, los cuales utilizaremos en la clasificación. Además de los límites de plasticidad, determinamos el límite de contracción que es la frontera entre el estado semisólido y sólido.

#### IV.17 DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN.

Además del límite de plasticidad determinamos el límite de contracción.

El límite de contracción, es el límite entre el estado semisólido y sólido, y es definido como el contenido de agua con el cual el suelo deja de disminuir su volumen al seguirse secando.

La determinación del límite de contracción se obtiene midiendo el peso y el volumen de una muestra de suelo, contenida en un recipiente de volumen definido. El límite de contracción esta dado por la expresión:

$$LC\% = \left( \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_2) * \gamma_w}{W_s} \right) * 100$$

DONDE:

$W_1$ = Peso húmedo de la muestra

$W_s$ = Peso seco de la muestra

$V_1$ = Volumen inicial de la muestra

$V_2$ = Volumen final de la muestra

La tabla 4.14 a la 4.17, muestran la determinación del límite plástico, límite líquido e índice plástico para cada estrato.

#### LIMITES DE CONSISTENCIA ESTRATO 1

LÍMITE LÍQUIDO ESTRATO 1		
PRUEBA	Nº DE GOLPES	CONT. DE HUMEDAD (%W)
1	9	32.784
2	17	30.302
3	22	29.214
4	31	28.632
5	33	28.7

22.4

L.L= "-3.222\*LN(25)+39.626"

**L.L= 29.254782 %**

LÍMITE PLÁSTICO 1	
PRUEBA	CONT. DE AGUA (%W)
1	17.329
2	18.609
3	16.589

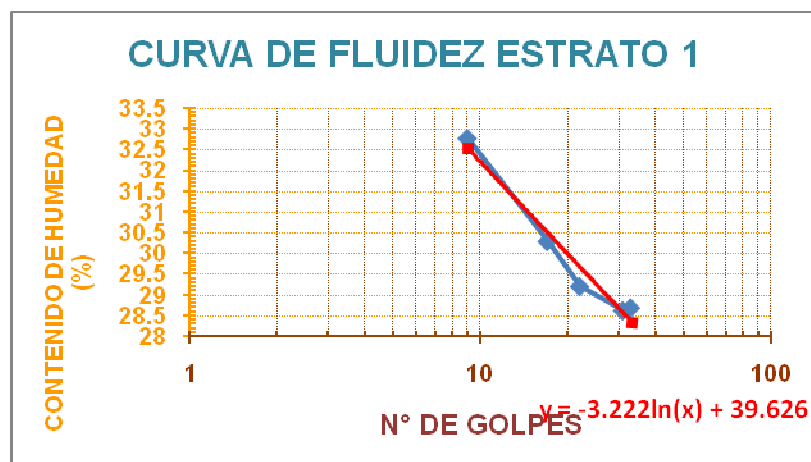
PROM. (LP)= **17.509 %**

**I.P= L.L - L.P**

I.P= (29.2547 - 17.509)

**I.P= 11.74578 %**

Tabla 4.14.- Límites de consistencia estrato 1.



**LIMITES DE CONSISTENCIA ESTRATO 2**

LÍMITE LÍQUIDO ESTRATO 2		
PRUEBA	Nº DE GOLPES	CONT. DE HUMEDAD (%W)
1	10	33.435
2	20	30.562
3	23	30.138
4	30	29.896
5	33	29.178

23.2

**L.L= 30.120101 %**

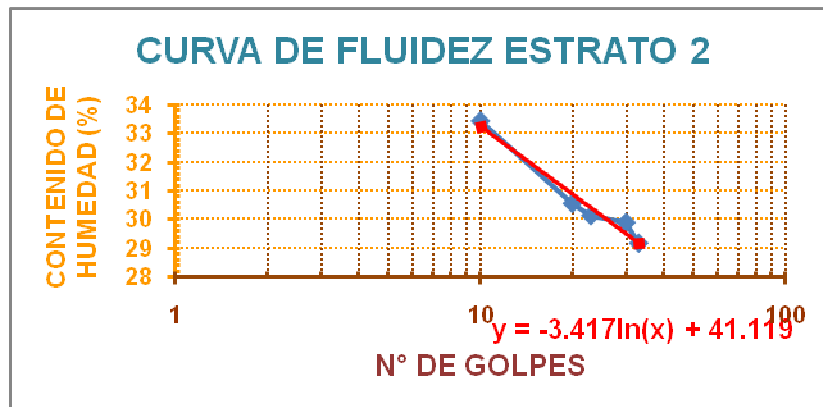
LÍMITE PLÁSTICO 2	
PRUEBA	CONT. DE AGUA (%W)
1	19.463
2	20.2618
3	18.7605

**PROM. (LP)= 19.4951 %**

**I.P= L.L - L.P**

**I.P= 10.625 %**

**Tabla 4.15.- Límites de consistencia estrato 2.**



**Gráfica de la tabla 4.15.**



**LIMITES DE CONSISTENCIA ESTRATO 3**

LÍMITE LÍQUIDO ESTRATO 3		
PRUEBA	Nº DE GOLPES	CONT. DE HUMEDAD (%W)
1	15	78.2198
2	27	73.0379
3	30	72.1952
4	35	67.9291

26.75

**L.L= 73.085498 %**

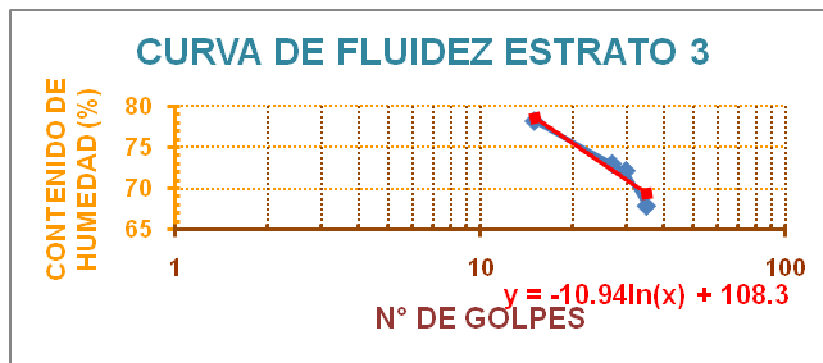
LÍMITE PLÁSTICO 3	
PRUEBA	CONT. DE AGUA (%W)
1	30.697
2	37.379
3	34.495

**PROM. (LP)= 34.190333 %**

**I.P= L.L - L.P**

**I.P= 38.89517 %**

**Tabla 4.16.- Límites de consistencia estrato 3.**



**Gráfica de la tabla 4.16.**

**LIMITES DE CONSISTENCIA ESTRATO 4**

LÍMITE LÍQUIDO ESTRATO 4		
PRUEBA	Nº DE GOLPES	CONT. DE HUMEDAD (%W)
1	7	55.6
2	11	54.05
3	14	52.5
4	28	50.98
5	33	49.15

18.6

**L.L= 50.745348 %**

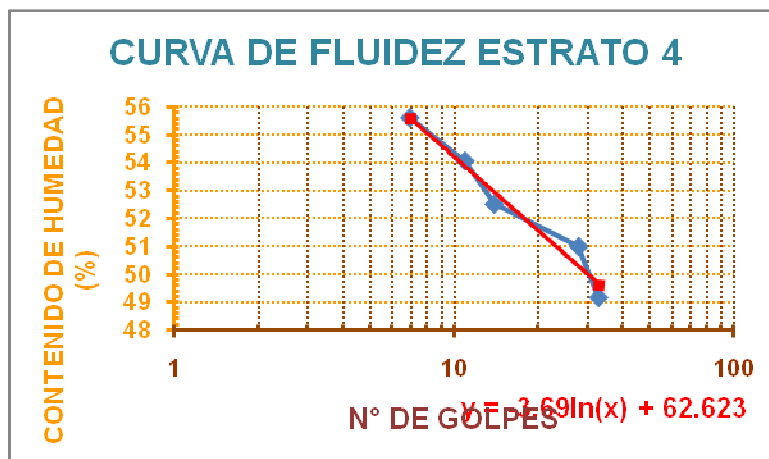
LÍMITE PLÁSTICO 4	
PRUEBA	CONT. DE AGUA (%W)
1	29.223
2	30.172
3	31.923

**PROM. (LP)= 30.439333 %**

**I.P= L.L - L.P**

**I.P= 20.30601 %**

**Tabla 4.17.- Límites de consistencia estrato 4.**



Gráfica de la tabla 4.17.

Los resultados obtenidos de la prueba índice se resumen en la tabla 4.18:

RESULTADOS DE PRUEBAS ÍNDICE DE LOS DISTINTOS ESTRATOS				
ESTRATO	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO	LC %
1	29.25	17.51	11.74	-----
2	30.12	19.49	10.62	-----
3	73.08	34.19	38.89	11.61
4	50.74	30.43	20.30	24.97

Tabla 4.18.- Resumen de los límites en los diferentes estratos.

Nota.- Los cálculos para la tabla 4.18 se encuentran en el anexo A.

#### IV.18 CLASIFICACIÓN DE LOS ESTRATOS.

Con los datos que hemos obtenido hasta estos ensayos, respecto a la granulometría y a la plasticidad de los diferentes estratos, es posible clasificar los diferentes materiales, en base a los parámetros establecidos en el SUCS (tabla 4.19).

DATOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUCS						
ESTRATO	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L	I.P.	CLAS. SUCS
1	1.21	52.72	46.06	29.25	11.74	SC
2	0.18	71.78	28.05	30.12	10.62	SC
3	0	12.73	87.26	73.08	38.89	CH
4	0	15.98	84.02	50.74	20.30	MH

Tabla 4.19.- Resumen de los límites y granulometría en los diferentes estratos.

Nota.- Los cálculos para la tabla 4.19 se encuentran en el anexo A.

#### Clasificación del Estrato 1.

El primer estrato se clasificó como una arena arcillosa **SC**, conteniendo 1.2% de grava, 52.7% de arena y 46.1% de finos. Su comportamiento mecánico-hidráulico está definido por la parte gruesa del suelo debido a que representa más del 50% del total de la muestra. La parte fina se ha clasificado como una arcilla de baja compresibilidad y baja plasticidad **CL**, con L.L 29.25% e I.P. de 11.74%. Su contenido de humedad natural (W%) es de 10.12% y peso volumétrico  $\gamma = 1.41$  (Ton/m<sup>3</sup>).

### Clasificación del Estrato 2.

El primer estrato se clasificó como una arena arcillosa **SC**, al tener un contenido de grava prácticamente nulo 0.1%, 71.78% de arena y 28.12% de finos. La fracción fina determina el comportamiento mecánico-hidráulico del suelo. La parte fina se ha clasificado como una arcilla de baja compresibilidad y baja plasticidad **CL**, al presentar un L.L 30.12% e I.P. de 10.62%. Su contenido de humedad natural ( $W\%$ ) es de 27.13%, y peso volumétrico  $\gamma = 1.39$  (Ton/m<sup>3</sup>).

Debido a que los estratos uno y dos presentan la misma clasificación, podemos concluir que se trata del mismo material. El estrato 1 presenta sensiblemente mayor cantidad de materia orgánica, 5.4% de acuerdo a una prueba de incineración, contra el 2.1% del estrato 2, esta diferencia en el contenido de materia orgánica puede ser debida al contacto directo con el exterior del estrato 1. El estrato 2 por su parte tiene una textura más arenosa. Ya que la fracción fina de ambos materiales es prácticamente idéntica, concluimos que se trata del mismo material. Ambas capas constituyen lo que se denomina como terreno de labor.

### Clasificación del Estrato 3.

Esté estrato se ha clasificado claramente como un suelo fino al contener 87.26% de material con esta característica, de arena contiene 12.74%. Se clasifico como una arcilla de alta compresibilidad y alta plasticidad **CH**. Presenta un L.L de 73.08% e I.P.de 38.89%. De la carta de plasticidad podríamos obtener con estos valores un MH pero con las pruebas posteriores de resistencia en estado seco, dilatancia y tenacidad, las cuales fueron muy alto, nula y alta respectivamente, concluimos en CH. En su estado natural presento contenido de agua  $W\% = 50.25$ , y peso volumétrico  $\gamma = 1.71$  (Ton/m<sup>3</sup>).

### Clasificación del Estrato 4.

El cuarto estrato se clasificó como limo de alta plasticidad **MH** y alta compresibilidad, el cual contiene 84.01% de finos, y 15.99% de arena, el L.L. es de 50.74% y su I.P. de 20.30%. En su estado natural presentó un contenido de agua  $w=36.7\%$ , y peso volumétrico  $\gamma = 1.49$  (Ton/m<sup>3</sup>).

Los resultados obtenidos de la clasificación de los distintos estratos se presentan gráficamente en el siguiente perfil granulométrico de la figura 4.31 y en la carta de plasticidad de Casa Grande, figura 4.32.

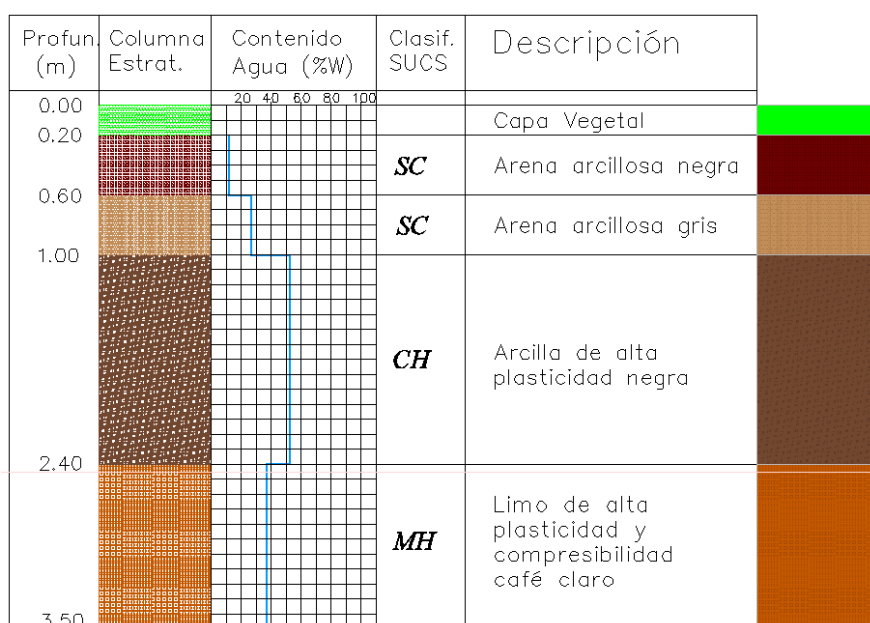


Figura 4.31.-Perfil Estratigráfico, distribución, espesor, clasificación y contenido de agua natural ( $w\%$ ) de los diferentes estratos.

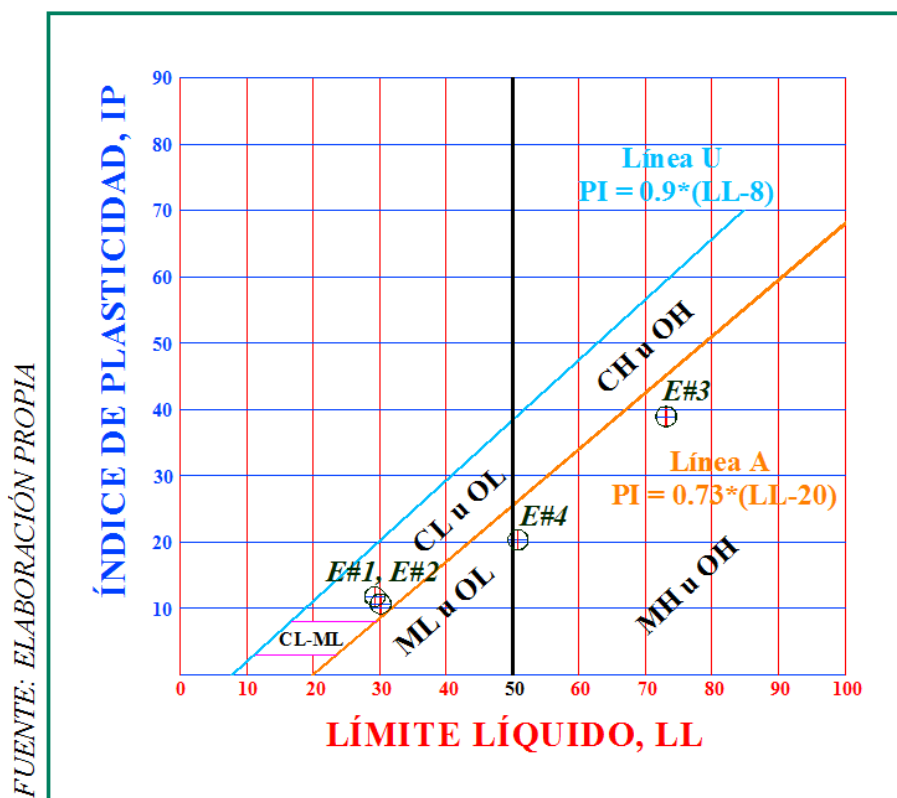


Figura 4.32- Carta de plasticidad de Casa Grande.

#### IV.19 EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA.

Los suelos no saturados que contienen minerales arcillosos como la illita, la caolinita y la montmorillonita tienen tendencia a hinchar cuando se ponen en contacto con el agua. Lambe y Whitman (1959) se han referido exhaustivamente a estos minerales y consideran que el potencial de hinchamiento de los minerales arcillosos expansivos depende de los siguientes factores: estructura de los cristales; estructura del grupo de cristales y la capacidad de intercambio catiónico.

Las arcillas expansivas son susceptibles de sufrir un apreciable aumento de volumen cuando la masa de suelo es liberada de esfuerzos preactuales en ella, o por el mismo medio en el que se encuentra puede adsorber agua hasta el grado de saturación y presentarse el fenómeno de expansión.

En estado natural, la evaporación evita que el nivel freático llegue hasta la superficie, entre otros factores, de la misma forma se impide que exista presión hidrostática ascendente en las capas superficiales. Cuando una estructura es construida sobre un manto superficial de arcilla, impide el proceso natural de evaporación del agua, ocasionando que poco a poco se restituya la presión hidrostática en las capas superficiales. Este fenómeno provoca a la vez una disminución importante de los esfuerzos efectivos, con la consecuente expansión del material subyacente.

Las estructuras más ligeras serán las más afectadas por la presencia de esta expansión, estructuras como losas y zapatas poco profundas se verán con deformaciones muy significativas, ya que este fenómeno depende directamente de las fuerzas actuantes sobre el suelo.

La identificación de las arcillas expansivas está en función de diversos factores como el índice plástico y el límite de contracción. Juárez Badillo utiliza como método de identificación de arcillas expansivas el criterio de W.G. Holtz, que también utilizaremos nosotros (tabla 4.20).

Datos de prueba de identificación			Expansión probable, cambio volumétrico (% seco a saturado)	Grado de expansión
Contenido coloidal (% < 0.001mm)	Índice de plasticidad	Límite de contracción (%)		
> 28	> 35	< 11	> 30	Muy Alto
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Alto
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Medio
< 15	< 18	> 15	< 10	Bajo

(Juárez, Rico, 1972, p. 404)

**Tabla 4.20.- Criterio de identificación de arcillas expansivas de W.G. Holtz.**

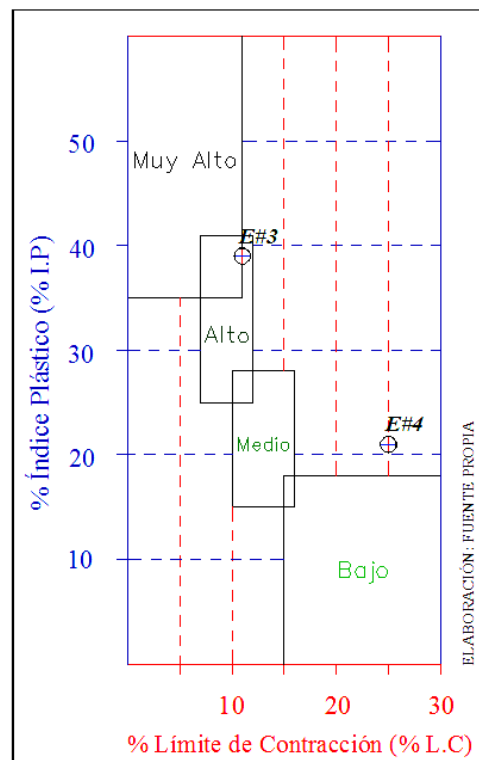
Recordemos que en la prueba índice determinamos el límite de contracción (L.C) y el índice plástico (I.P), así como el porcentaje de expansión volumétrica. Los datos obtenidos para los estratos 3 y 4 se muestran en la tabla 4.21.

Estrato	% L.C.	% I.P.	% De expansión volumétrica.
3	11.01	38.89	4.71
4	25.59	20.30	3.82

**Tabla 4.21.- Factores para la determinación del grado de expansión.**

Nota.- Los cálculos para la tabla 4.21 se encuentran en el anexo A.

Malagón, Et. al. (1980), propone la siguiente gráfica (figura 4.33), para determinar el grado de expansión del suelo en función de su porcentaje de índice plástico y el porcentaje del límite de contracción.



**Figura 4.33- Grado de expansión por zonas, criterio de W.G. Holtz.**

En el diagrama anterior podemos observar que el estrato tres, se encuentra en la zona de expansión *alta* – *muy alta*, mientras que el estrato cuatro se encuentra en la zona de expansión *baja* esta clasificación se hizo en base a los límites de contracción y al índice plástico.

### **RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE Y CAPACIDAD DE CARGA.**

#### **IV.20 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE.**

Uno de los puntos fundamentales en la mecánica de suelos es la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Es imprescindible contar con este concepto al tratar de aplicar la mecánica de suelos en el análisis de estabilidad de obras civiles.

En teoría la resistencia al esfuerzo cortante en los suelos está dada por, el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) en los materiales 100% granulares, y por la cohesión en suelos puramente cohesivos (C) arcillas homogéneas, la cual depende de la humedad del suelo, sin embargo en la mayoría de los suelos la resistencia al esfuerzo cortante esta dado por la combinación de ambos parámetros.

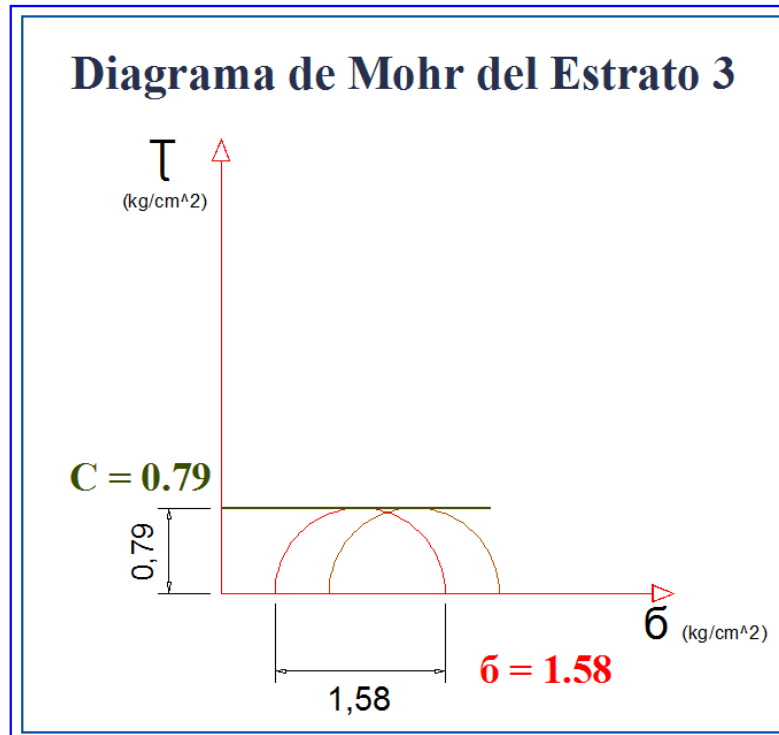
Existen principalmente dos métodos experimentales para determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, las pruebas de compresión triaxial y de corte directo.

Las pruebas triaxiales son actualmente las más utilizadas, ya que permiten controlar y medir las presiones actuantes en las tres direcciones. La muestra de suelo es colocada en una cámara hermética y confinada mediante una membrana plástica (figura 4.34). Las presiones laterales se ejercen mediante un líquido a presión que llena la cámara, y la presión axial mediante un vástago metálico que comprime la muestra a velocidad constante. Las pruebas se dividen en tres tipos, que tratan de representar los distintos factores circunstanciales que influyen en la resistencia al esfuerzo cortante en los suelos. La prueba consolidada drenada o lenta (CD), la prueba consolidada no drenada o consolidada rápida (CU), y la prueba no consolidada no drenada o rápida (UU). En nuestro estudio llevamos a cabo la prueba rápida en los estratos tres y cuatro.



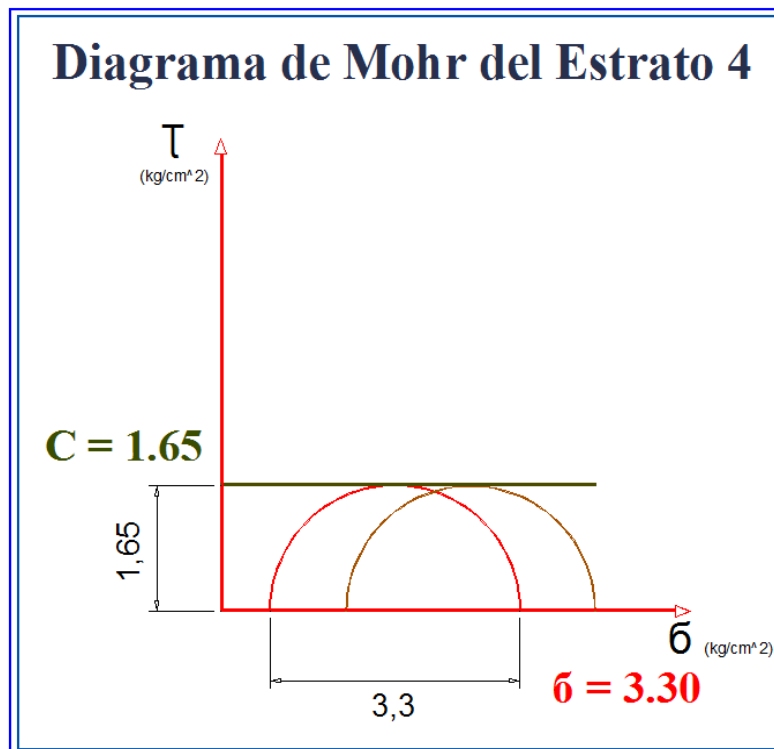
**Figura 4.34.- Prueba triaxial rápida, no consolidada no drenada (UU).**

En los siguientes diagramas, figura 4.35 y figura 4.36, podemos observar que el radio de los círculos de Mohr representa la cohesión de la muestra en los estratos 3 y 4 respectivamente.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.35.- Diagrama de Mohr para la prueba rápida (UU) del estrato 3.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.36.- Diagrama de Mohr para la prueba rápida (UU) del estrato 4.

Debido a la naturaleza de la prueba, la envolvente de falla R, es completamente horizontal, por lo que solamente podemos conocer la cohesión del suelo C y no así el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ). Los valores para la cohesión, obtenidas en la prueba rápida, son de 0.79 (kg/cm<sup>2</sup>) para el estrato 3 y de 1.65 (kg/cm<sup>2</sup>) para el estrato 4.

#### IV.21 ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

La prueba de corte directo, se realizó solamente al estrato 2, con la intención de obtener el ángulo de fricción interna, que es uno de los parámetros para la determinación de la capacidad de carga.

La prueba de corte directo funciona básicamente con dos marcos, uno móvil y el otro fijo, la muestra de suelo se coloca dentro de los dos marcos y es confinada mediante una placa donde se aplica una fuerza normal ( $\sigma$ ). La parte móvil se desplaza a una velocidad constante, aplicando una fuerza rasante, que induce en el material un esfuerzo cortante ( $\tau$ ), que provoca la falla del material sobre un plano bien definido (figura 4.37 y 4.38).



Figura 4.37.- Equipo de corte directo.



Figura 4.38.- Caja de corte con la muestra de suelo.

Para los ensayos de corte directo se realizaron distintas pruebas, con diferentes cargas normales (tabla 4.22). La línea de falla del material se define por la gráfica  $\sigma$  vs  $\tau$  de las diferentes pruebas (figura 4.40).



RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO					
PRUEBA	FUERZA NORMAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL $\sigma$ (KPa)	ESFUERZO NORMAL $\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	FUERZA DE CORTE EN LA FALLA $\tau$ (KPa)	ESFUERZO DE CORTE EN LA FALLA $\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5	5.399606	0.05504	6.28314	0.064
M2	15	16.19881	0.16512	17.6849	0.1802
M3	25	26.99803	0.27521	25.5782	0.2607

Tabla 4.22.- Resultados de la prueba de corte directo.

Nota.- Los cálculos para la tabla 4.22 se encuentran en el anexo A.

Los resultados de la prueba de corte directo, están representados en forma gráfica con las variables de esfuerzo cortante contra desplazamiento en la figura 4.39.

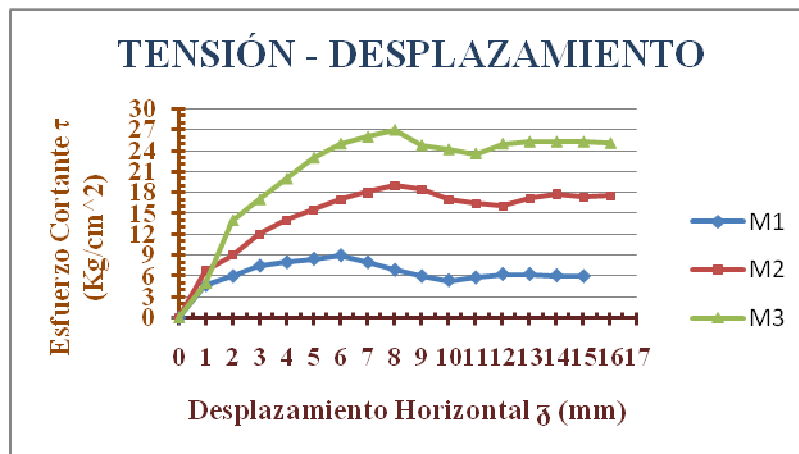


Figura 4.39.- Gráfica Esfuerzo Cortante Vs. Desplazamiento.

Con los valores de la tabla 4.22, obtenemos la gráfica de la figura 4.40, en la cual haciendo una regresión lineal obtenemos su ecuación representativa y por consiguiente la pendiente, que es la que nos interesa para obtener el ángulo de fricción interna, mismo que apreciamos en la tabla 4.23.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO					
PRUEBA	FUERZA NORMAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL $\sigma$ (KPa)	ESFUERZO NORMAL $\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	FUERZA DE CORTE EN LA FALLA $\tau$ (KPa)	ESFUERZO DE CORTE EN LA FALLA $\tau$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
M1	5	5.406410813	0.055111221	6.28314	0.064048318
M2	15	16.21923244	0.165333664	17.6849	0.18027421
M3	25	27.03205406	0.275556107	25.5782	0.260735984

TAMAÑO DE LA MUESTRA  
M1=M2=M3= 4"

M1=M2=M3= 10.16 cm  
M1=M2=M3= 0.1016 m

GROSOR DE LA PARED  
(3/16)"

SUPERFICIE DE CONTACTO  
3" (13/16)

9.525 cm  
0.09525 m

**ÁNGULO DE FRICCIÓN =  $m = \tan \phi$**

$\phi = 0.8934 = \tan^{-1}(0.8934)$

$\phi = 41.77^\circ$

Tabla 4.23.- Ángulo de fricción interna.

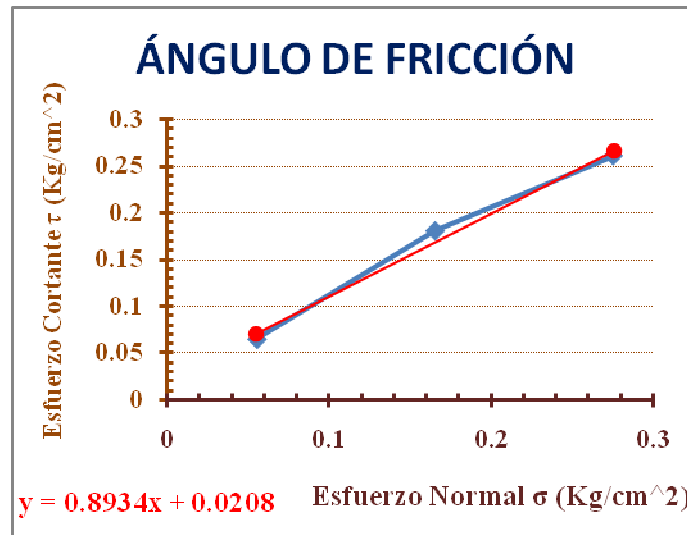


Figura 4.40.- Gráfica de τ vs σ en el ensayo de corte directo.

#### IV.22 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA.

Como sabemos el suelo recibe la carga total de una estructura, a través de la cimentación (figura 4.41). La capacidad de carga del suelo, es la carga máxima que éste puede soportar por unidad de área. Una vez rebasada la capacidad de carga el suelo sufre asentamientos o fractura, lo que implica daño a la estructura. Una cimentación bien diseñada transmite las cargas al suelo, sin llegar a solicitar la capacidad máxima del suelo.

Para cimentaciones someras desplantadas en suelos cohesivos, el Reglamento de Construcción del Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias, Capítulo de Diseño y Construcción de Cimentaciones, propone la siguiente ecuación, con la cual calculamos la capacidad de carga del suelo en estudio:

$$q_R = C_U * N_C * F_R + P_V$$

Donde:

C<sub>U</sub> = Cohesión del suelo (ensayo U-U)

N<sub>C</sub> = Coeficiente de capacidad de carga;

$$N_C = 5.14 * \left[ 1 + \left( 0.25 * \frac{D_f}{B} \right) + \left( 0.25 * \frac{B}{L} \right) \right]; \text{ Para}$$

$$\left( \frac{D_f}{B} \right) < 2; \dots \dots \dots \text{ y } \dots \dots \dots \left( \frac{B}{L} \right) < 1$$

En caso de que (D<sub>f</sub>/B) y (B/L) no cumplan con las desigualdades anteriores, dichas relaciones se considerarán iguales a 2 y 1 respectivamente.

F<sub>R</sub> = Factor de resistencia = 0.70

P<sub>V</sub> = Presión vertical total a la profundidad de desplante por peso propio del suelo (γ\*h).

$$\left( \frac{D_f}{B} \right) < 2; \dots \dots \dots \text{ y } \dots \dots \dots \left( \frac{B}{L} \right) < 1$$

$$\left( \frac{2.5}{1} \right) \neq 2; \dots \dots \dots \text{ y } \dots \dots \dots \left( \frac{1}{14} \right) < 1; \text{ por } \dots \text{ tan to } \left( \frac{D_f}{B} \right) = 2$$

$$N_c = 5.14 * \left[ 1 + (0.25 * 2) + \left( 0.25 * \frac{1}{14} \right) \right] = 7.8017$$

$$P_v = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 + \gamma_4 h_4$$

$$P_v = 1.41 \left( \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) * 0.40(\text{m}) + 1.39 \left( \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) * 0.40(\text{m}) + 1.71 \left( \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) * 1.4(\text{m}) + 1.49 \left( \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) * 0.1(\text{m})$$

$$P_v = 3.663 \left( \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right)$$

Sustituyendo el valor de cada una de las variables:

$$q_R = C_U * N_C * F_R + P_V = 1.65 \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * 7.801 * 0.70 + 0.3663 \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$q_R = 9.376 \left( \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = 93.76 \left( \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \right)$$

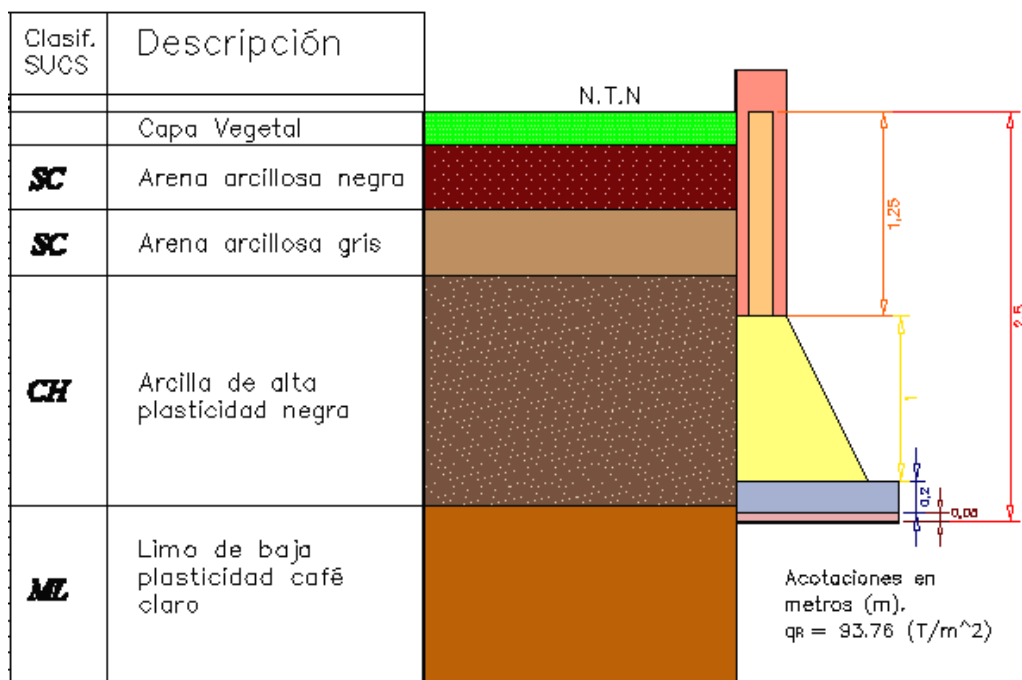


Figura 4.41.- Capacidad de carga del suelo.

Fuente.- Elaboración propia

**BIBLIOGRAFÍA.**

- 1) Zeevaert L. (1998) “*Compendio Elemental de Mecánica de Suelos*” Ed. El Autor.
- 2) Rivera R. (2004) “*Notas del Curso de Laboratorio de Mecánica de Suelos I*” Ed. SMMS.
- 3) Whitlow R. *Mecánica de Suelos*. Editorial CECSA, México, 1993
- 4) Lambe T. Y Whitman R. *Mecánica de Suelos*. Editorial Limusa, México, 1982
- 5) SOWERS G.B. *Introducción a la Mecánica de suelos y Cimentaciones*. Editorial Limusa. México 1980.
- 6) Eulalio Juárez Badillo y Alfonso Rico Rodríguez. *Mecánica de Suelos. Tomo I*. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Editorial: LIMUSA-Noriega. Tercera Edición. Decima séptima reimpresión 1996. Impreso en México, D.F.
- 7) Agustín Demeneghi C, Margarita Puebla C, Héctor Sanginés G. *Apuntes Análisis y Diseño de Cimentaciones. Tomo I*. 2008. Facultad de Ingeniería. UNAM.

## CAPÍTULO V

### *DISEÑO DE PAVIMENTOS*

#### **V.1 INTRODUCCIÓN.**

En los últimos 30 años en México, la investigación, el desarrollo tecnológico y la transferencia de tecnología en el área de los pavimentos asfálticos ha tenido un avance muy lento; se siguen realizando las mismas prácticas de los años 70<sup>s</sup>, hoy en día obsoletas y deficientes. Por un lado, se tiene el monopolio de abastecimiento de cementos asfálticos por parte de PEMEX, empresa que hasta el año 1995 producía un solo tipo de cemento asfáltico de muy buena calidad lo que ha provocado que, al no existir opciones, se emplee de manera indistinta en Chiapas, Morelos, Sonora y Nuevo León cuatro estados con condiciones climatológicas muy diferentes con resultados no deseables. Por otro lado, los diseños de las mezclas asfálticas se han visto limitados a un solo tipo de mezcla, situación que para unos casos funciona de manera adecuada y para otros no. Por último, los materiales empleados y los procedimientos de construcción no siempre tienen o cumplen con especificaciones que, bajo un buen control de calidad, garanticen una alta durabilidad de los pavimentos dentro de los rangos aceptables de confiabilidad.

Al ser la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la entidad federal normativa en México en el área de pavimentos para carreteras, ha sido práctica generalizada el seguir normas y especificaciones dictadas por esta entidad federal, lo cual no tiene por qué ser una buena práctica en todos los casos. En este aspecto hay que comentar que la última revisión y actualización de dichas normas y especificaciones fueron editadas en 1984 y las normas y especificaciones actualizadas al parecer serán editadas pronto. En el caso de las entidades federativas, hay que tener en cuenta las diferencias tan grandes de condiciones climatológicas lo cual limita el empleo de ciertos materiales, ya que su comportamiento será diferente según sea la zona; esto obliga a los estados a desarrollar sus propias normas y especificaciones para el buen empleo de estos materiales.

En los estados de la zona noreste de la República Mexicana se tienen condiciones de trabajo y climatológicas que intervienen significativamente en el desempeño y durabilidad de los pavimentos asfálticos en el período de servicio; éstos son:

- a. La zona noreste de México colinda con uno de los estados económicamente más fuertes de Estados Unidos, Texas. Las fuertes actividades comerciales generan uno de los mayores flujos terrestres de mercancías en territorio nacional por las carreteras de los estados de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila. Lo anterior da lugar a la acumulación de muchas cargas pesadas las cuales actúan sobre los pavimentos de estas carreteras.
- b. Las temperaturas al aire en diferentes épocas del año, de las que se tienen registros en estos estados, hacen que la diferencia entre los valores extremos o gradientes de temperaturas sean muy grandes, ya que se tienen registros de temperaturas en estaciones frías de 12°C bajo cero y en estaciones calurosas de hasta 47°C. Al ser los cementos asfálticos materiales visco elásticos, susceptibles a los cambios de temperaturas, da lugar a comportamientos muy diferentes de acuerdo con la época del año.

Lo anterior ha dado lugar a deterioros en los pavimentos asfálticos de calles y carreteras muy típicos de estas zonas del país, como son: las deformaciones plásticas permanentes conocidas como roderas, superficies de rodamiento pulimentables, baja resistencia al deslizamiento y fuertes agrietamientos de la capa superior en corto tiempo.

Debe reconocerse que los pavimentos que México necesita en sus carreteras no son hoy los mismos que fueron en otras épocas. Circunscribiendo las ideas a la red nacional pavimentada, debe aceptarse un importante cambio de circunstancias entre el momento

actual y las épocas en que las carreteras mexicanas empezaron a ser construidas y desarrolladas.

La red nacional comenzó a formarse en el sentido actual a partir de la época 1920 - 1930 y creció a un ritmo relativamente moderado hasta 1950. Entre 1950 y 1970, la red fue objeto de un desarrollo muy importante y a partir de 1980 continuó creciendo significativamente, pero probablemente con un gradiente menor. En el periodo 1990 - 1995 tuvo lugar la incorporación de una red de modernas autopistas con longitud del orden de los 5,000 Km.

En el desarrollo de la red son discernibles tres etapas relativamente bien diferenciadas. En un principio, la motivación fundamental de la planeación fue, conscientemente o por mandato inapelable de la realidad nacional, la integración sociopolítica de la nación. Se construyeron los enlaces carreteros que unen la capital nacional con las capitales estatales, después estas últimas con las principales ciudades de sus estados y con otras capitales estatales y finalmente se comunicaron todas esas localidades con la totalidad de las ciudades importantes del país. De esta manera se logró una integración nacional que garantizó la unidad económica, social y política, a la vez que se lograron las condiciones necesarias para la integración, defensa y homogeneización de la nación.

A esta etapa siguió otra en la que se reconoció que la red anterior, que podría considerarse como la red principal y básica, tendría que ser complementada por una red alimentadora de carácter en gran parte rural y capilar, a fin de lograr un movimiento general más eficiente y de mayor penetración en todo el territorio nacional. De esta manera nació un muy importante número de caminos rurales y secundarios, pavimentados, empedrados, etc., siempre con el requisito de garantizar el tránsito en toda época del año.

A la segunda etapa arriba descrita siguió lo que podría considerarse como una tercera, en donde el énfasis principal de la construcción se puso en carreteras muy modernas de altas especificaciones, frecuentemente de cuatro y más carriles. En esta etapa se desarrollaron también nuevas formas de financiamiento, responsabilidad y cuidado en conservación y operación, así como se convirtió en rutinaria una política ya bien conocida en el país, de peajes y sistemas para transferir al usuario los costos del programa.

Es de esperar que en el futuro una parte importante del esfuerzo constructivo nacional en el área carretera se dirija principalmente a lograr el tránsito expedito y rápido de bienes y mercancías, con la decidida meta de abatir en todo lo que vaya resultando posible los costos operativos del transporte nacional, para respaldar el desarrollo económico y la generación y distribución de productos y de riqueza y oportunidades por todas partes.

En todos esos años, la nación experimentó una transformación económica y estructural muy significativa, que fue haciendo aparecer una infraestructura industrial creciente, hasta alcanzar niveles importantes, de manera que una economía relativamente doméstica se fue convirtiendo en una economía necesitada de recurrir a la exportación de bienes para poder seguir su desarrollo. Lo anterior equivale a decir que el transporte como fenómeno económico fue adquiriendo una importancia cada vez mayor, de manera que podría decirse que una actividad que hasta hace relativamente poco tiempo se centraba en comunicar, hoy se ha transformado en un quehacer mucho más complejo y que, además, se centra en la necesidad perentoria de comunicar en condiciones económicas competitivas y ello dentro de un mundo en donde toda la actividad del transporte evoluciona rápidamente, siempre con la vista fija en el logro de un transporte cada vez más barato, más rápido y más seguro. Un mercado internacional tan altamente competido como el que hoy existe resulta menos accesible si se llega a él con un

transporte relativamente más costoso que el que puedan utilizar los competidores comerciales. De esta manera el costo del transporte doméstico pasa a ser un eslabón fundamental en la cadena del comercio internacional.

Las transformaciones anteriores sucedieron al mismo tiempo que se iban desarrollando transformaciones importantes en los vehículos carreteros utilizados. Si en 1950 el vehículo más pesado que recorría las carreteras nacionales podía llegar a 7 u 8 toneladas, en la actualidad es usual ver circular unidades cuyo peso bruto supera las 60 toneladas. A la vez, esta multiplicación ocurrió no sólo en peso, sino también en número. Si en 1950 la carretera más importante de México podía tener 5 ó 6,000 vehículos diarios, de los que un 10% eran camiones de carga; hoy es posible contemplar en la red básica mexicana carreteras con 3 ó 4 veces mayor número de vehículos, además de que la proporción de vehículos de carga aumentó grandemente, hasta niveles de 30 ó 40% del tránsito diario; en este sentido, México es uno de los países de mayor proporción de vehículos de carga dentro del flujo general.

Estos hechos, para los que no puede verse un futuro con tendencia a paliarlos, sino probablemente lo contrario, conducen a condiciones radicalmente nuevas y mucho más onerosas en lo que se refiere al comportamiento de los pavimentos. Condiciones que habrán de ser tomadas en cuenta en los diseños y en la construcción de las secciones estructurales de las carreteras que se construyan en el futuro, en los proyectos de refuerzo que se hacen para adoptar las carreteras existentes a las nuevas condiciones y en las tareas de conservación normal de todas.

La antigüedad de la red básica mexicana presenta, en efecto, hoy una situación que viene exigiendo y así seguirá, importantes inversiones para poner lo existente a tono de lo que exige el presente y exigirá el futuro.

Es un homenaje a la visión de los planeadores que antecedieron a los tiempos actuales, el constatar que la red básica por ellos erigida con un criterio sociopolítico, sigue formando hoy parte muy conspicua de la red básica actual, pero a la vez, este hecho trae consigo una importante carga económica, pues hace que una fracción muy importante de la red básica de México sea también la más antigua; vale decir, la que se desarrolló en condiciones más diferentes a las actuales.

Los vehículos de antaño ejercían esfuerzos superficiales sobre los pavimentos menores que los de hoy, puesto que los reglamentos al respecto han tenido que ir reconociendo la situación de facto del desarrollo de los vehículos de carga en dimensiones y peso bruto. A la vez, aquellos esfuerzos superficiales disminuían mucho más rápidamente con la profundidad, de manera que en un pavimento típico de entonces era relativamente exigida una capa superior del orden de 30 ó 40 cm. de espesor. Los vehículos actuales, con esfuerzos mayores, duplican o triplican esta profundidad de influencia.

Como consecuencia de aquella situación, los pavimentos se construían frecuentemente en México con materiales que hoy no podemos sino considerar inadecuados y aún con ellos se cubrían pequeños espesores, bajo los cuales aparecían suelos naturales, generalmente producto de préstamo lateral en terrenos inmediatamente aledaños a la carretera en construcción. Los materiales eran frecuentemente tan endebles que se consideraba que el agua y sus efectos eran los enemigos de los ingenieros de caminos, pues convertía en altamente deformables las secciones estructurales. Efectivamente, las carreteras se deformaban y tenían baches, todo lo cual influía fatalmente en los costos de operación, pero la operación era escasa y se trataba de conseguir comunicación dentro de una economía nacional relativamente de también escaso nivel.

Obviamente muchos de esos caminos tienen hoy funciones mucho menos conectadas con el transporte nacional más importante, pues en buena parte han sido substituidos por carreteras más modernas; en otros casos los caminos antiguos han sido reforzados sólo

hacia arriba y en tal caso presentan hoy un serio y recurrente problema de conservación, pues los modernos camiones envían sus efectos a las capas profundas no modernizadas, haciendo poco durables los añadidos superiores.

El gran crecimiento del transporte nacional en número y peso de los vehículos presenta entonces nuevas condiciones, que han de ser tomadas en cuenta por los actuales diseñadores y constructores de pavimentos asfálticos.

Debe reconocerse que los mismos “enemigos” del ingeniero de carreteras han cambiado en México con los años. Si antaño era el agua y sus efectos más directos la causa de los más evidentes destrozos, hoy son otros los elementos nocivos más activos. En los pavimentos actuales, la acción de las cargas repetidas es la más notable causa de deterioro; como se dijo estas cargas han aumentado mucho, tanto en magnitud como en número de repeticiones, lo que induce la posibilidad de fallas por fatiga y por el efecto de la deformación acumulativa.

La falla por fatiga es la que ocurre por la acción reiterada de un esfuerzo que, aplicado una sola vez, no provocaría ningún problema. Un ejemplo simple se tiene al doblar una y otra vez un alambre y constatar que en la operación número “x” se rompe el alambre, aunque aparentemente esa acción final fue idéntica a los doblajes precedentes. Un similar efecto reiterativo tiene el tránsito al pasar una y otra vez sobre una carpeta asfáltica. Obviamente, este efecto reiterativo depende de dos condiciones:

- ❖ De la intensidad de la acción reiterada, vale decir del esfuerzo aplicado cada vez.
- ❖ De la magnitud de la deformación inducida en cada aplicación de la carga.

También influye poderosamente la flexibilidad o rigidez de la capa del pavimento que soporta la repetición. En un pavimento, la intensidad del efecto es medida por la magnitud de la carga que se aplica a través de las llantas de un vehículo y la reiteración es medida por las repeticiones de esa carga sobre una misma zona de dicho pavimento. Como se dijo, ambas cosas han crecido mucho en la red básica pavimentada del México actual.

El efecto de deformación acumulativa resulta, de la deformación que el pavimento sufre bajo la acción de la llanta que pasa. Dicha deformación se recupera parcialmente cuando la llanta deja de oprimir, pero tal recuperación nunca es total; siempre queda un remanente, que conduce a una deformación permanente, la cual dificulta la marcha de los vehículos, aumentando su costo operativo y, eventualmente, contribuye a la ruptura y agrietamiento de la carpeta asfáltica. Al agrietarse la carpeta pudiera penetrar el agua en el interior de la sección estructural, formada generalmente por materiales térreos que, de ser susceptibles, disminuirán su resistencia, creándose un efecto de cascada que llevará a una falla generalizada de la mencionada sección estructural. Téngase en cuenta que en un pavimento asfáltico la capa superior (carpeta asfáltica) es la más rígida del conjunto de la sección estructural. Naturalmente, una manera de defender la carpeta asfáltica del agrietamiento producido por el efecto reiterado del tránsito es hacerla con un espesor tal que el esfuerzo aplicado resulte muy pequeño en comparación con la resistencia de la capa; es decir, construirla por arriba de lo que se llama el umbral de fatiga, pero ello llevará a la construcción inicial de carpetas de gran espesor. Como se dijo, la falla por fatiga en la carpeta puede combatirse de dos maneras. Primero dando a la carpeta un espesor tal que el esfuerzo aplicado por el tránsito le permita aceptar todas las repeticiones con deformaciones tan pequeñas que no produzcan posibilidades de agrietamiento o de deformación acumulativa y, segundo, apoyando esa carpeta en otras capas suficientemente resistentes y poco deformables como para lograr el mismo efecto. Estas capas de apoyo de la carpeta están formadas por materiales térreos (a veces inclusive estabilizados con cemento u otros materiales), que, si han de cumplir a conciencia su cometido, deberán ser resistentes y poco deformables, en relación a los



niveles de esfuerzos que le vayan correspondiendo según su profundidad relativa; también deberán ser poco susceptibles a la acción del agua, a fin de poder mantener con el tiempo esas cualidades iniciales. Evidentemente estos materiales térreos resultan más baratos que las carpetas, de manera que suele resultar más conveniente que la sección estructural de los pavimentos tenga la suficiente resistencia y deformabilidad relativas como para poder funcionar satisfactoriamente aún con carpetas más delgadas, pero obviamente convenientes. De esta manera se logrará también una sección estructural, carpeta incluida, que pueda crecer hacia arriba en forma económica y racional, si el camino ve acrecentado el tránsito circulante, lográndose secciones estructurales en las que todo lo antes hecho sea todo aprovechable y el refuerzo necesario por el crecimiento del tránsito, sea una adición sencilla (sobre carpeta) que no exija acciones en profundidad, siempre mucho más costosas.

En el pasado el riesgo de falla se repartía de manera que fuera “mínimo” en la superficie de rodamiento y, cuando mucho, también en las capas subyacentes a la carpeta asfáltica en las profundidades más someras (base del pavimento), pero se aceptaba una rápida disminución en la calidad de las capas inferiores (sub-bases y cuerpo de terracerías, pues en aquellas épocas era raro el empleo de subrasantes como capa de transición antes de la terracería propiamente dicha), a las que los vehículos de entonces enviaban ya esfuerzos relativamente pequeños.

Hoy sin embargo se impone un criterio de diseño radicalmente diferente, en el cual el riesgo mínimo se produzca en las capas inferiores a las que los vehículos actuales alcanzan a enviar esfuerzos que, aunque decrecientes con la profundidad, aún son claramente notables hasta profundidades que pueden llegar al orden de un metro. Si sobre una terracería razonablemente buena se van colocando una capa de subrasante apropiada y sobre ella una sub-base y una base de calidades crecientes y francamente capaces de soportar los esfuerzos que les lleguen, tanto en resistencia como en posibilidades de deformación, una carpeta asfáltica siempre costosa de espesor razonable podrá soportar los embates del tránsito del momento, con cierto margen de previsión. Cuando el tránsito crezca, en número y peso, tal como parece que ha de suceder en las carreteras mexicanas, esa sección estructural podrá reforzarse simplemente por adiciones sucesivas en la superficie del pavimento, sin necesidad de incurrir en mucho más costosas operaciones en las profundidades de la sección estructural que, de no hacerse, conducirán a un rápido agrietamiento y deformación excesiva al añadido superior que se haya colocado y a la continua necesidad de reiterar las operaciones de refuerzo una y otra vez, para verlas destruirse en muy cortos lapsos o como una carretera en mal estado superficial permanente, con lo que ello significa en los costos de operación del transporte, de costo relativo muy superior al costo de construcción, a lo largo del tiempo.

De esta manera una política racional de diseño en el México actual debe llevar a secciones estructurales de suficiente calidad como para que las acciones de conservación asociadas al crecimiento del tránsito consistan en simples y mucho más económicos refuerzos en la superficie, sin necesidad de realizar auténticas reconstrucciones de las secciones estructurales o de tenerse que resignar a una carretera en la que, a despecho de que hayan de realizarse reencarpetados frecuentes, se encuentre siempre en malas condiciones de rodamiento, con una repercusión muy desfavorable en los continuos y enormes costos de operación vehicular.

Debe señalarse que la actual tecnología de pavimentos permite cuantificar todas las magnitudes que se han mencionado en este análisis conceptual, permitiendo llegar a diversas alternativas que garanticen tanto distintos niveles de calidad de rodamiento, como diferentes tiempos en que la calidad inicial seleccionada llegue a la calidad

mínima que se considere apropiada para una carretera particular, según su importancia, la que al ser alcanzada exija una nueva acción de refuerzo superficial.

También debe decirse que ciertas intensidades de tránsito producen en la carretera efectos tan importantes que debe dudarse la posibilidad de resolver el problema de alcanzar una calidad de rodamiento adecuada dentro de expectativas económicas razonables, a base de la utilización de pavimentos asfálticos formados por materiales naturales térreos. En este caso se abre el horizonte para la utilización de capas especialmente reforzadas dentro de la sección estructural, a base del empleo de suelo-cemento, suelo-asfalto, estabilizaciones mecánicas con mezclas de materiales u otros sistemas. En el caso de tránsitos realmente importantes, estos sistemas pueden también resultar insuficientes, abriéndose el panorama a los pavimentos de concreto, que convenientemente diseñados ofrecen soluciones que garantizan una condición de tránsito adecuada durante periodos de tiempo sumamente largos.

## V.2 TIPOS DE PAVIMENTOS.

El pavimento es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de varias capas de distintos materiales destinados a distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén. El pavimento soporta y distribuye la carga en una presión unitaria hacia las capas inferiores lo suficientemente pequeña para estar dentro de la capacidad del suelo que constituye la capa de apoyo, reduciendo la tendencia a la formación de fallas. Existen dos tipos de pavimentos: los flexibles (de asfalto) y los rígidos (de concreto hidráulico). La diferencia entre estos dos tipos de pavimentos es la resistencia que presentan a la flexión.

### **Pavimentos Flexibles.**

Es una estructura que mantiene un contacto íntimo con las cargas y las distribuye a la subrasante; su estabilidad depende del entrelazamiento de los agregados, de la fricción de las partículas y de la cohesión. De este modo el pavimento clásico flexible comprende en primer lugar a aquellos pavimentos que están compuestos por una serie de capas granulares rematadas por una capa de rodamiento asfáltica de alta calidad relativamente delgada: es característico que los materiales de alta calidad estén en la superficie o cerca de ella. Debe señalarse que ciertos pavimentos que tiene una superficie de asfalto pueden comportarse en forma más parecida a los clásicos pavimentos rígidos por ejemplo, los pavimentos que tiene superficies de asfalto muy gruesas o donde la base está compuesta de agregados tratados con asfalto, cemento o cenizas ligera de oxido de calcio. No obstante, por convenir así a la presentación, dichos pavimentos se consideran dentro de los flexibles. El elemento principal es la superficie de rodamiento, una base, una sub-base y una terracería. Con frecuencia la superficie de rodamiento y la base constan de dos o más capas que son diferentes en su composición y que se tienden en operaciones de construcción separadas. En muchos pavimentos de alta resistencia, es frecuente que se coloque una sub-base de material seleccionado entre la base y la terracería. La superficie de rodamiento puede variar en espesor de 1" en el caso del tratamiento bituminoso superficial usado por su bajo costo en caminos de tránsito ligero, hasta 6" o más de concreto asfalto usado para caminos de tránsito pesado. La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste y los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por el impulso y las rodadas bajo la carga de tránsito. Además sirve para impedir

la entrada de cantidades excesivas de agua superficial a la base y a la terracería directamente desde la parte superficial.

La base es una capa de muy alta estabilidad y densidad. Su principal propósito es el de distribuir o repartir los esfuerzos creados por las cargas rodantes que actúan en la superficie de rodamiento para que los esfuerzos transmitidos a la subrasante no sean tan grandes, que de por resultado una excesiva deformación o desplazamiento de la capa de cimentación. La base debe ser también de tales características que no sea dañada por el agua capilar ni por la acción de las heladas, ya sea, que actúen por separado o en forma conjunta. La base puede estar compuesta de grava o roca triturada o puede ser un material granular tratado con agentes estabilizantes como asfalto, cemento o cenizas ligeras de óxido de calcio.

La subrasante es la capa de cimentación, la estructura que debe soportar finalmente todas las cargas que corren sobre el pavimento. En algunos casos, esta capa estará formada sólo por la superficie natural del terreno. En otros casos más usuales, será el terreno el que se compacte una vez que se ha cortado el necesario o la capa superior en donde ha requerido terraplén. En el concepto fundamental de la acción de los pavimentos flexibles, el espesor combinado de la sub-base, de la base y de la superficie de rodamiento debe ser lo suficientemente grande para que se reduzcan los esfuerzos que concurren en la subrasante a valores que no sean tan grandes como para que produzcan una distorsión o desplazamiento excesivos de la capa de suelo de la subrasante.

Este pavimento es una estructura formada por las capas que se muestran en la figura 5.1 y con la finalidad de cumplir con los siguientes propósitos:

- ❖ Soportar y transmitir las cargas que se presentan con el paso de vehículos.
- ❖ Ser lo suficientemente impermeable.
- ❖ Soportar el desgaste producido por el tránsito y por el clima.
- ❖ Mantener una superficie cómoda y segura (antideslizante) para el rodamiento de los vehículos.
- ❖ Mantener un grado de flexibilidad para cubrir los asentamientos que presente la capa inferior (base o sub-base).

Los materiales de estos pavimentos necesitan tener una gran resistencia al corte para evitar posibles fallas. De esta forma el diseño de este tipo de pavimentos se basa en ensayos de penetración, es decir mediante la determinación del valor de soporte de California CBR.

Este índice de resistencia al corte, nosotros lo conocemos como V.R.S., el cual se da como el porcentaje de la carga necesaria para introducir un pistón estándar en un material determinado. El material que sirve de referencia es una caliza triturada.

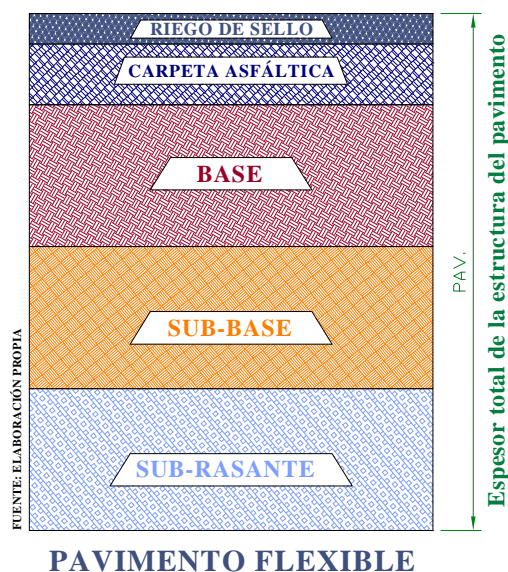


Figura 5.1.- Capas estructurales de un pavimento

### Pavimentos Rígidos.

Antes de 1990 la construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México fue muy escasa sobre todo en la red carretera. Lo anterior se debe a que nuestro país es un importante productor de petróleo y en consecuencia de asfalto. Por esta razón los precios del pavimento de concreto asfáltico eran inferiores a los del concreto hidráulico. Otro factor importante es que cuando se diseñaron los caminos de México para el tránsito que se pensaba tendrían que soportar, los pavimentos de asfalto eran lo suficientemente resistentes, además de no existir equipos de alto rendimiento para pavimentación con concreto.

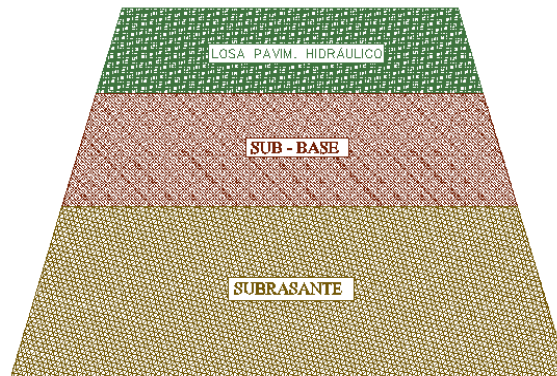
Actualmente en algunos caminos en México se presentan altos volúmenes de tránsito (TDPA) y un gran porcentaje de vehículos con carga pesada, que los pavimentos de concreto asfáltico no pueden soportar; por otro lado, al estar la producción de asfalto en manos de un solo fabricante, la calidad no siempre ha sido la óptima para la construcción de carreteras de altas especificaciones.

Para lograr que los esfuerzos transmitidos a la terracería sean compatibles con la calidad de ésta, es necesario que la capa de rodamiento se construya con suficiente espesor y calidad adecuada, por lo que normalmente se diseña con base en las características de resistencia y soporte del terreno, de esta manera cualquier presión dirigida al suelo bajo la losa, es absorbida por la resistencia de la misma.

La sección transversal típica de un pavimento rígido cuenta con los siguientes elementos estructurales: una losa de concreto como superficie de rodamiento y acotamientos laterales, los cuales podrán ser también de concreto o de algún otro material no erosionable. La sub-base, que puede ser de concreto pobre, base hidráulica estabilizada con cemento o asfalto o simplemente de agregados pétreos. Por último, el terreno de cimentación y/o subrasante estarán contruidos por materiales predominantes en la región y con tratamiento acorde al proyecto y las especificaciones particulares. En la figura 5.2 se presenta una sección transversal típica de un pavimento rígido, donde se pueden observar las capas principales que lo constituyen.

De las funciones que desempeñan cada uno de los elementos estructurales, la losa es el elemento principal debido a que absorbe la mayor parte de los esfuerzos del pavimento, transmitiéndolos a las capas inferiores de manera disminuida. La sub-base tiene la función de proveer soporte uniforme, estable y permanente a la losa de concreto durante su construcción y vida útil, asimismo incrementa la capacidad de carga del terreno de

cimentación al aumentar la rigidez de la estructura e impide la migración de finos del terreno de cimentación hacia la superficie de la losa a través de grietas o juntas en esta última. El terreno de cimentación sirve como superficie de desplante para toda la estructura del pavimento.



**Figura 5.2.- Sección transversal típica de un pavimento rígido.**

Fuente.- Elaboración Propia

Anteriormente se pensaba que construir un pavimento de concreto hidráulico representaba largos tiempos de ejecución, estructuras de carpetas robustas, grandes cantidades de acero de refuerzo y superficies de rodamiento que al cabo de algún tiempo, se tornaban propensas al derrapamiento de los vehículos. Atendiendo a lo anterior el equipo de expertos dedicados a este fin, han diseñado y asesoran a los constructores de acuerdo a las necesidades particulares de cada proyecto, en los cuales se cuida cada detalle con el fin de maximizar los recursos y garantizar la confortabilidad y seguridad del usuario. Las ventajas del pavimento de concreto hidráulico radica en:

- ❖ Velocidad en su construcción.
- ❖ Mayor vida útil con alto índice de servicio.
- ❖ Mantenimiento mínimo.
- ❖ No se deforma ni deteriora con el tiempo.
- ❖ Requiere menor estructura de soporte.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante (figura 5.3).



**Figura 5.3.- Tensiones en las diferentes capas de un pavimento rígido.**

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante (figura 5.4).

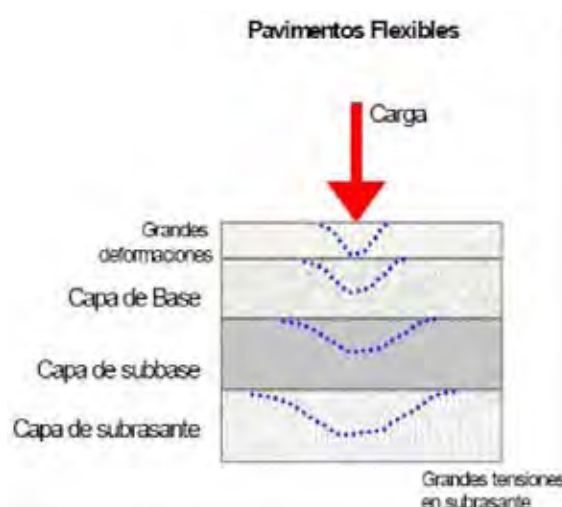


Figura 5.4.- Tensiones en las diferentes capas de un pavimento flexibles.

Por lo anterior expuesto nuestro diseño de pavimento para el Conjunto Residencial San Bernardino Tlaxcalancingo será un pavimento del tipo rígido, con acabado texturizado.

### V.3 ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN PAVIMENTO RÍGIDO.

#### Subrasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

Requisitos para el material de sub-rasante:

- ❖ Valor soporte. El material debe tener un CBR (AASHTO T 193), mínimo del 5%, efectuado sobre muestras saturadas a 95% de compactación (AASHTO T 180), y deberá tener una expansión máxima del 5%.
- ❖ Graduación. El tamaño de las partículas que contenga el material de subrasante, no debe exceder de 0.075 m.
- ❖ Plasticidad. El límite líquido (AASHTO T 89), no debe ser mayor del 50%, determinado ambos, sobre muestra preparada en húmedo (AASHTO T 146).

#### Sub Base.

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. La sub-base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales

granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub-base adecuada.

Sus funciones son:

- ❖ Eliminar la acción de bombeo.
- ❖ Aumentar el valor soporte y proporcionar una resistencia más uniforme a los de concreto.
- ❖ Hacer mínimos los efectos de cambio de volumen en los suelos de la subrasante.

Requisitos para el material de sub-base:

La capa de sub-base común, debe estar constituida por materiales de tipo granular en su estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que llene los requisitos siguientes:

- ❖ Valor soporte. El material debe tener un CBR (AASHTO T 193), mínimo de 30, efectuado sobre muestras saturadas a 95% de compactación (AASHTO T 180).
- ❖ Piedras grandes y exceso de finos. El tamaño de las piedras que contenga el material de sub-base, no debe exceder de 0.070 m. ni exceder de ½ espesor de la capa. El material de sub-base no debe tener más del 50% en peso, de partículas que pasen el tamiz #40 (0.425 mm), ni más del 15% en peso, de partículas que pasen el tamiz #200 (0.075 mm).
- ❖ Plasticidad y cohesión. El material de sub-base debe tener las características siguientes:
- ❖ Equivalente de arena. No debe ser menor de 25%, determinado por el método AASHTO T 176.
- ❖ Plasticidad. La porción que pasa el tamiz #40 (0.425 mm), no debe de tener un índice de plasticidad (AASHTO T 90), mayor de 6 ni un límite líquido (AASHTO T 89), mayor de 25, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo (AASHTO T 146), cuando las Disposiciones Especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.
- ❖ Impurezas. El material de sub-base debe estar exento de materias vegetales, basuras, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa sub-base puedan causar fallas en el pavimento.

### **Superficie de Rodadura.**

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Es necesario que tengan otros elementos, no estructurales, para proteger tanto esta capa como las inferiores, como juntas de dilatación rellenas con material elasto-métrico (para su impermeabilización), bordillos, cunetas o bien un sistema de alcantarillado pluvial, para el drenaje correcto del agua que pueda acumular en su superficie.

La superficie de rodadura debe cumplir las siguientes funciones:

- ❖ Proveer un valor soporte elevado, para que resista muy bien las cargas concentradas que provienen de ruedas pesadas, trabajando a flexión y lo distribuye bien al material existente debajo.
- ❖ Textura superficial poco resbaladiza aún cuando se encuentre húmeda, salvo que esté cubierta con lodo, aceite y otro material deslizante.
- ❖ Proteger la superficie sobre la cual está construido el pavimento de los efectos destructivos del tránsito.
- ❖ Prevenir a la superficie de la penetración del agua.
- ❖ Buena visibilidad, por su color claro de una mayor seguridad al tráfico nocturno de vehículos.
- ❖ Gran resistencia al desgaste, con poca producción de partículas de polvo.

## V.4 TIPOS DE PAVIMENTO RÍGIDO.

### **Concreto Hidráulico Simple.**

No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño (entre 2.50 a 4.50 metros ó 8 a 15 pies). Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas). Los pavimentos de concreto sin refuerzo sin juntas, que son los más empleados actualmente por ser su construcción más sencilla y de menor costo que la de los otros pavimentos, pero sólo apropiados en determinadas circunstancias.

### **Concreto Hidráulico Reforzado.**

Tienen espaciamientos mayores entre juntas (entre 6.10 y 36.60 metros ó 20 a 120 pies) y llevan armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción. Los pavimentos de concreto armado con juntas han caído en desuso por su alto costo y por problemas de corrosión interna. A veces se utilizan en la aproximación de puentes para amortiguar los asentamientos diferenciales.

### **Concreto Hidráulico Reforzado Continuo.**

Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas. El pavimento continuo de concreto armado es una nueva estructura que ha empezado a emplearse en Francia y Estados Unidos. Es una losa gruesa sin capa de base ni pasadores en juntas y que no se apoya directamente sobre la explanada, sino sobre una delgada capa drenante granular o sobre un geotextil.

## V.5 FACTORES DE DISEÑO.

El espesor de diseño del pavimento de concreto es determinado principalmente con base en los siguientes factores de diseño.

- ❖ Resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura MR).
- ❖ Resistencia de la sub-rasante, o combinación de la sub-rasante y la base (k).
- ❖ Los pesos, frecuencia y tipo de carga por eje de camión que el pavimento tiene que soportar.
- ❖ Período de diseño.

### **Módulo de Ruptura del Concreto (MR).**

Las consideraciones sobre la resistencia a la flexión del concreto es aplicable en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga (para controlar agrietamiento) y erosión (para controlar la erosión del terreno de soporte, bombeo y diferencia de elevación de juntas).

La flexión de un pavimento de concreto bajo cargas de ejes, produce tanto esfuerzo de flexión como de compresión. Sin embargo, la relación de esfuerzos compresivos a resistencia a la compresión es bastante pequeña como para influenciar el diseño del espesor de la losa. En cambio los promedios de esfuerzos de flexión y de las fuerzas de flexión son mucho mayores y por eso son usados estos valores para el diseño de espesores de los pavimentos rígidos.

La fuerza de flexión está determinada por el módulo de ruptura del concreto (MR), el cual está definido con el esfuerzo máximo de tensión en la fibra extrema de una viga de concreto. La resistencia a la tensión del concreto es relativamente baja. Una buena aproximación para la resistencia a la tensión será dentro del 11 a 23% del esfuerzo de compresión. En concretos de 3000 a 4000 PSI la relación es del orden del 15%.



El proceso para determinar el módulo de ruptura, será llevado a cabo según la norma ASTM C-78. El resultado del ensayo a los veintiocho días, es comúnmente usado para el diseño de espesores de autopistas y calles; por lo que es recomendado utilizar las porciones superiores de las tablas de diseño, con resistencias a la flexión en el rango de 600 y 650 PSI.

#### **Módulo de Reacción del Suelo (k).**

El soporte de la sub-rasante y de la base, está definido por el módulo de *Westergard* de reacción de la sub-rasante (k). Éste es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada en un área cargada, dividida entre la deflexión, en pulgadas, para dicha carga. El valor de k está expresado en libras por pulgada cuadrada por pulgada (PSI-pulg.).

Módulo de reacción (k), es una prueba que indica la característica de resistencia que implica elasticidad del suelo. Se dice que es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por una placa entre la deformación correspondiente, producida por este esfuerzo. Esta propiedad del suelo es muy importante en el diseño de pavimentos, pero dado que la prueba de carga de plato es tardada y cara, el valor de k, es usualmente estimado por correlación a una prueba simple, tal como la Relación de Soporte de California (CBR), o una prueba del valor R.

El resultado es válido dado que no se requiere una determinación exacta del valor k; las variaciones normales de un valor estimado no afectan apreciablemente los requerimientos del espesor del pavimento.

Cuando no cuente con información geotécnica del sitio, la tabla 5.1 proporciona órdenes de magnitud en los módulos de reacción de las capas de apoyo.

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K (PCI)
Suelos de grano fino en el cual el tamaño de partículas de limo y arcilla predominan.	Bajo	75 - 120
Arenas y mezclas de arena con grava, con una cantidad considerable de limos y arcilla.	Medio	130 - 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libres de finos.	Alto	180 - 220
Sub-base tratada con cemento.	Muy alto	250 - 400

**Tabla 5.1.- Tipos de suelo de sub-rasante y valores aproximados de K.**

Fuente.- Salazar Rodríguez Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. Pág. 149

#### **Tráfico y Cargas de Diseño.**

El factor más importante en el diseño de espesores de pavimento es el número y peso de las cargas por eje. Este es derivado de las estimaciones de TPD y de TPDC en ambas direcciones. En este punto se tendría que recurrir al análisis del tránsito promedio diario anual al final como al inicio del periodo de diseño. Sin embargo este análisis solamente es posible si se tienen datos sobre el volumen y categoría de tránsito clasificado para la vía.

#### **Barras de Acero.**

El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se utiliza en las juntas, ya sea como pasadores de cortante ó pasajuntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

Las juntas tienen por objeto principal, permitir la construcción del pavimento por losas separadas para evitar grietas de construcción, estableciendo al mismo tiempo una unión

adecuada entre ellas, que asegure la continuidad de la superficie de rodadura y la buena conservación del pavimento.

La mayoría de las grietas en el concreto son debidas a tres efectos.

1. Cambio de volumen por encogimiento por secado.
2. Esfuerzos directos por cargas aplicadas.
3. Esfuerzos de flexión por pandeo.

Se colocan perfectamente alineadas a la mitad del espesor de la losa. El diámetro, longitud y separación de los pasajuntas está en función del espesor de las losas principalmente. Algunas recomendaciones prácticas para la selección de la barra son las mostradas en la tabla 5.2.

ESPESOR DE LOSA		BARRA PASAJUNTAS					
		Diámetro		Longitud		Separación	
cm	in	mm	in	cm	in	cm	in
13-15	5-6	19	¾	41	16	30	12
15-20	6-8	25	1	46	18	30	12
20-30	8-12	32	1 ¼	46	18	30	12
30-43	12-17	38	1 ½	51	20	38	15
43-50	17-20	45	1 ¾	56	22	46	18

Tabla 5.2.- Diámetro y longitud recomendada en pasajuntas.

Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos de concreto caen dentro de dos clasificaciones: transversales y longitudinales, que a su vez se clasifican como de contracción, de construcción y de expansión.

#### **Juntas Longitudinales.**

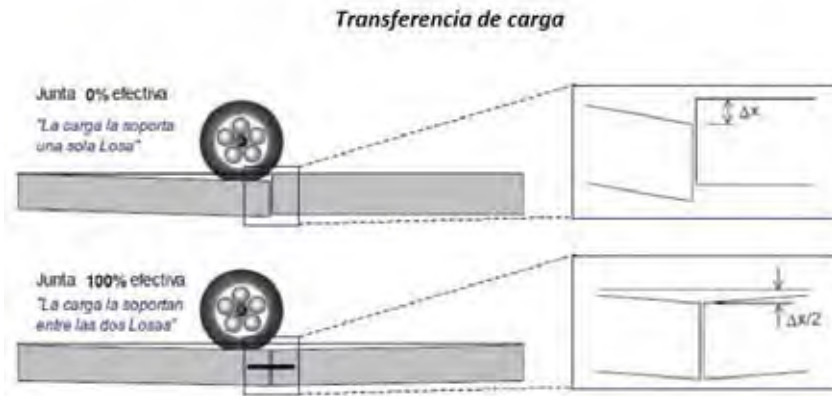
Son juntas paralelas al eje longitudinal del pavimento. Estas juntas se colocan para prevenir la formación de grietas longitudinales, pueden ser en forma mecánica, unión macho-hembra. La profundidad de la ranura superior de esta junta, no debe ser inferior de un cuarto del espesor de la losa. La separación máxima entre juntas longitudinales es de 12.5 pies (3.81 m), es la que determina el ancho del carril.

Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia ( $f_y$ ) de cuatro mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado ( $4200 \text{ kg/cm}^2$ ), debiendo quedar ahogadas en las losas. Estas barras siempre deberán estar ahogadas a la mitad del espesor del pavimento.

#### **Juntas Transversales.**

Controla las grietas causadas por la retracción del fraguado del concreto. La ranura de la junta, debe por lo menos tener una profundidad de un cuarto del espesor de la losa. Se construyen perpendicularmente al tráfico. También son llamadas juntas de contracción, ya que controlan el agrietamiento transversal por contracción del concreto (figura 5.5).

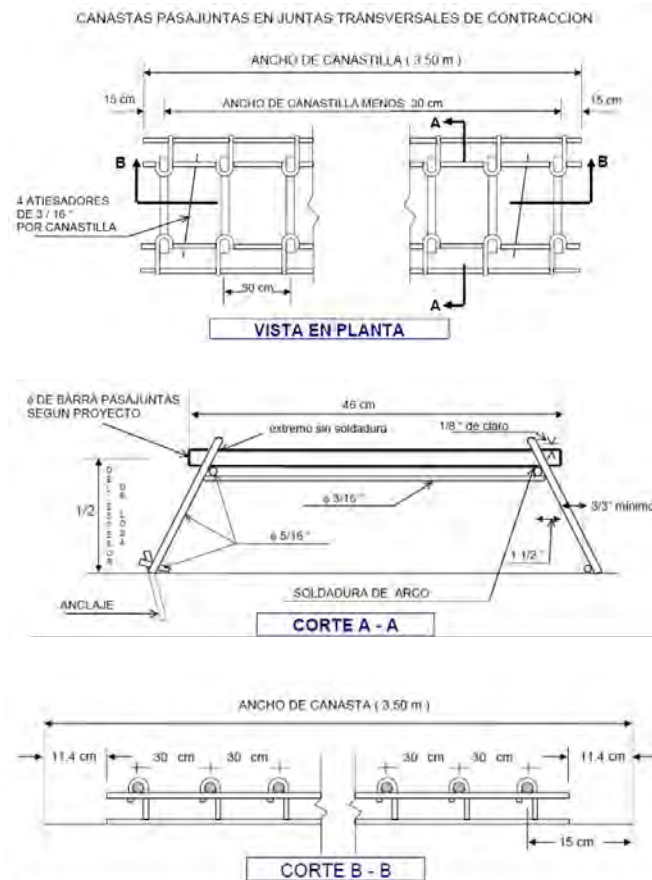
La profundidad de la ranura debe ser igual a un tercio del espesor de la losa. La separación máxima de las juntas transversales es de 4.57m (15 ft). La colocación de las barras de transferencia depende de las características de la sub-rasante y del tipo de tránsito esperado para el pavimento.



**Figura 5.5.- Transferencia de cargas a la losa, sin y con juntas transversales.**

Fuente.-Manual de proyectos geométricos de carreteras, SCT 1991

Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ( $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ ), y deberá ser recubierto con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto. Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma (figura 5.6).



**Figura 5.6.- Canasta pasajuntas en juntas transversales de contracción.**

Fuente.-Manual de proyectos geométricos de carreteras, SCT 1991

### Juntas de Expansión.

Estas son necesarias cuando existan estructuras fijas, tales como: puentes, aceras, alcantarillas, etc. Donde sea necesario este tipo de junta, se dejará una separación de dos centímetros. Se construyen para disminuir las tensiones, cuando el concreto se expande. Se colocan obligadamente frente a estructuras existentes y en intersecciones irregulares. Cuando las juntas de contracción controlan adecuadamente el agrietamiento transversal, las juntas de expansión no son necesarias.

### Juntas de Construcción.

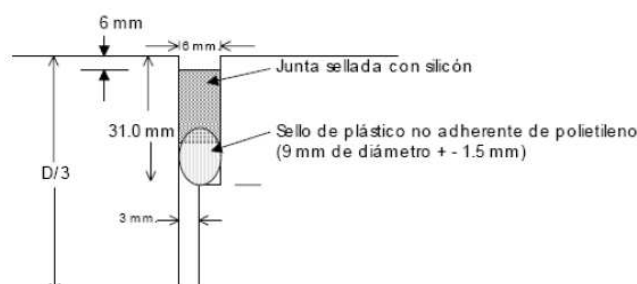
Se construyen cuando hay una interrupción no mayor de treinta minutos en la colocación del concreto. Son del tipo trabado, es decir lleva barras de acero o material adecuado, para formar tabiques, de modo que se forme una cara vertical con una traba apropiada.

### Sellador Para Juntas.

El material de sello para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas de concreto sin degradarse, debiéndose emplear productos a base de silicona, poliuretano - asfalto o similares, los cuales deberán ser autonivelantes, de un solo componente y solidificarse a temperatura ambiente. A menos de que se especifique lo contrario, el material para el sellado de juntas deberá de cumplir con los requerimientos aquí indicados. El material se deberá adherir a los lados de la junta o grieta con el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de materiales incompresibles (figura 5.7).

La tirilla de respaldo a emplear deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno, compatible con el sellador de silicón a emplear y no se deberá presentar adhesión alguna entre el silicón y la tirilla de respaldo.

Detalle de construcción de la junta



**Figura 5.7.- Construcción y sellado de la junta.**

Fuente.-Manual de proyectos geométricos de carreteras, SCT 1991

Existen cinco factores importantes para considerar al concreto hidráulico como alternativa real en la construcción de caminos (Scorza Rojas, 1998).

- 1) *Durabilidad.* Para hacer un pavimento durable se debe empezar por tener un proyecto de calidad, lo anterior implica una planeación y estudio del problema tanto en campo como en gabinete. El siguiente paso es la realización de estudios geotécnicos adecuados en lo que será la estructura de soporte, materiales en los que se construirá, buscando un diseño óptimo de la mezcla de concreto hidráulico para tener la resistencia adecuada.
- 2) *Volúmenes y Cargas Vehiculares.* Por otro lado, es muy importante para el diseñador conocer de la manera más precisa, el volumen y cargas vehiculares que transitarán por el nuevo pavimento. Con estas variables básicas se recomienda utilizar varios procedimientos de diseño, buscando el diseño óptimo tanto estructural como económico y garantizando un pavimento de las características requeridas para que funciones

- adecuadamente a lo largo de su vida útil, optimizando los gastos de mantenimiento y reduciendo los sobrecostos de operación de los usuarios.
- 3) *Incorporación de la Tecnología.* Si no se aplica un buen proceso para la producción del concreto y el tendido del mismo, va a ser imposible que el pavimento se comporte adecuadamente. Para tener una excelente calidad en los procedimientos constructivos, se recomienda la utilización de equipos de tecnología de punta con altos rendimientos, tal y como las pavimentadoras de cimbras deslizantes y las plantas de mezclado central para la fabricación del concreto. Lo anterior, aunado a una mano de obra calificada, permitirá lograr la calidad en la construcción y la durabilidad de los pavimentos.
  - 4) *Seguridad.* El concreto hidráulico conserva una superficie plana durante toda su vida útil, no produciéndose las roderas o canalizaciones por el tránsito de una superficie asfáltica, que con el paso del tiempo puede sufrir deformaciones que repercutirán en la seguridad de los usuarios. Por otro lado, el color claro del pavimento de concreto hidráulico permite una mejor visibilidad en caso de transitar de noche debido a la mayor reflexión de la luz.
  - 5) *Abatimiento de Costos.* Tradicionalmente se tiene la idea de que el pavimento de concreto hidráulico tiene un costo mayor al pavimento flexible, sin embargo, con la incorporación de la tecnología en equipos de alta producción y con la utilización de mano de obra capacitada, en la actualidad se ha llegado a la conclusión de que esta apreciación es incorrecta, sobre todo cuando se analizan estructuras equivalentes con una misma vida útil, es decir, comparando globalmente el costo inicial de cada pavimento, el de mantenimiento y el de operación. Las ventajas de los pavimentos rígidos son más evidentes en vialidades sujetas a tránsito pesado, donde se aprecia un deterioro mínimo durante su vida útil (de 20 a 30 años), menores requerimientos de mantenimiento, deformaciones mínimas de su superficie, índice de servicio alto durante su vida útil, mayor velocidad de construcción, disminución de costos de operación, mejor drenaje superficial, mayor reflexión de la luz y requiere menor estructura de soporte.

## V.6 ELEMENTOS GEÓMETRICOS.

La necesidad de viajar dentro de una urbanización, requiere de un conjunto de diversas líneas de deseo conectando orígenes y destinos. No es posible abastecer con vías individuales conectando cientos de miles o tal vez millones de líneas de deseo, porque entonces el área urbana sería una superficie de vías continuas, así es que, todas las ciudades crean o envuelven a un conjunto limitado de vías interconectadas formando una red.

En esta sección se analizarán los elementos en los que se fundamenta el proyecto geométrico, desde el usuario, las características de los vehículos, las condiciones del tránsito vehicular (densidad, volumen y velocidad).

### **Vehículo de Proyecto.**

El vehículo de proyecto es un automotor seleccionado con las dimensiones de operación usadas para determinar ciertas características de proyecto para vialidades, tales como ancho de la vía en las tangentes y curvas, radios de curvatura horizontal y alineamiento vertical.

La selección de un vehículo de proyecto tiene un importante punto de apoyo en la ejecución y costo de la vía. El uso de vehículos de proyecto más grandes implica instalaciones con mejor circulación y características de seguridad, mientras que el uso de un vehículo de proyecto más pequeño da por resultado costos menores en cuanto a construcción e impacto al medio ambiente.

Escoger un vehículo de proyecto de tamaño adecuado, generalmente requiere de un compromiso entre ejecución y costo. Por un lado, el vehículo de proyecto seleccionado

para una vía en particular, debe tener dimensiones y radio de viraje no más pequeños que casi todos los vehículos los cuales se espera que usen las instalaciones razonablemente. Por otro lado, puede ser irracional proyectar una vía para un vehículo grande que puede usar la vía sólo ocasionalmente.

Por otro lado, no es aceptable proyectar calles locales o secundarias con dimensiones inadecuadas para carros de bomberos, aún y cuando se espere que la vía sea usada por este tipo de vehículos con una frecuencia muy baja. De la misma forma, sería peligroso proyectar una autopista de alta velocidad o vía regional con dimensiones inadecuadas para los vehículos más grandes que puedan usarlas.

El método más comúnmente usado para describir el flujo del tránsito en México es de acuerdo a los 9 tipos de vehículos definidos por la SCT indicados en el esquema de la figura 5.8. Basado en el porcentaje típico de estos nueve tipos, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha desarrollado cinco vehículos de proyecto para ser usados en proyectos de carreteras, los que se enlistan en la Tabla 5.3 y 5.4, así como sus principales características.

Los automóviles, como se representan por distancia entre ejes 335 o DE 335, casi nunca regulan el proyecto, así es que la selección de vehículos de proyecto es casi siempre entre el DE 610, el DE 1220 y, el DE 1525. La tabla 3-2 enlista los vehículos de proyecto que son generalmente aplicables a cada clase de vía, como se describe en el esquema de la figura 5.9.






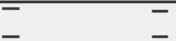



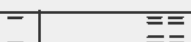

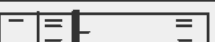








TIPO DE VEHICULO		Núm. de Ejes	ESQUEMAS		
			PERFIL	PLANTA	
VEHICULOS LIGEROS	Automoviles	2			Ap
	Camionetas				Ap
VEHICULOS PESADOS	Autobuses	2			B
	Camiones	2			C2
					C3
		3			T2 - S1
					T2 - S2
					T3 - S2
		5			T2 - S1
			R2		

Figura 5.8.- Clasificación de vehículos.

Fuente.-Manual de proyectos geométricos de carreteras, SCT 1991  
 Nota.- Para mayor detalle de vehículos de carga, consultar anexo B.

Vehículo		Eje	Peso vacío	Peso cargado
Ap		1	0.9	1.0
		2	0.9	1.0
		Total	1.8	2.0
Ac		1	1.2	1.6
		2	1.2	3.3
		Total	2.4	4.9
B		1	3	4.2
		2	7	8.3
		Total	10	12.5
C2		1	1.5	2.5
		2	2.7	6.8
		Total	4.2	9.3
C3		1	1.7	2.6
		2	5.2	14
		3	-----	-----
Total	6.9	16.6		

Figura 5.9.- Clasificación de vehículos de acuerdo a su peso.

Fuente.-Manual de proyectos geométricos de carreteras, SCT 1991

Nota.- Para mayor detalle de peso de vehículos de carga, consultar anexo B.

CARACTERÍSTICAS		VEHICULO DE PROYECTO					
		DE - 335	DE - 450	DE - 610	DE - 1220	DE - 1525	
D	Longitud total del vehículo	L	580	730	915	1525	1675
I	Distancia entre ejes extremos del vehículo	DE	335	450	610	1220	1575
M	Distancia entre ejes extremos del tractor	DET	---	---	---	397	915
E	Distancia entre ejes del semirremolque	DES	---	---	---	762	610
N	Vuelo delantero	Vd	92	100	122	122	92
S	Vuelo trasero	Vt	153	160	183	163	61
I	Distancia entre ejes tandem tractor	Tt	---	---	---	---	122
O	Distancia entre ejes tandem semirremolque	Ts	---	---	---	122	122
N	Distancia entre ejes inferiores tractor	Dt	---	---	---	379	488
E	Dist. entre ejes interiores tractor y semirremolque	Da	---	---	---	701	793
S	Ancho total del vehículo	A	214	244	259	259	259
	Entrevía del vehículo	EV	183	244	259	259	259
E	Altura total del vehículo	Ht	167	214-412	214-412	214-412	214-412
N	Altura de los ejes del conductor	Hc	114	114	114	114	114
	Altura de los faros delanteros	Hf	61	61	61	61	61
cms.	Altura de los faros traseros	Hr	61	61	61	61	61
	Angulo de desviación del haz de luz de los faros		1°	1°	1°	1°	1°
	Radio de giro mínimo (cm)	Rg	732	1040	1281	1220	1372
PESO TOTAL (Kg)	Vehículo vacío	Wv	2500	4000	7000	11000	14000
	Vehículo cargado	Wc	5000	10000	17000	25000	30000
	Relación Peso/Potencia (Kg/HP)	WuP	45	90	120	160	180
VEHICULOS REPRESENTADOS POR EL DE PROYECTO			Ap y Ac	C2	B - C3	T2 - S1	T3 - S2
						T2 - S2	OTROS
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA DISTANCIA ENTRE EJES EXTREMOS (DE) ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DEL PROYECTO			Ap y Ac	99	100	100	100
			C2	30	90	99	100
			C3	10	75	99	100
			T2 - S1	0	0	1	80
			T2 - S2	0	0	1	93
			T3 - S2	0	0	1	18
PORCENTAJE DE VEHICULOS DEL TIPO INDICADO CUYA RELACION PESO/POTENCIA ES MENOR QUE LA DEL VEHICULO DEL PROYECTO			Ap y Ac	96	100	100	100
			C2	62	96	100	100
			C3	20	82	100	100
			T2 - S1	6	85	100	100
			T2 - S2	6	42	96	96
			T3 - S2	2	35	80	80

Tabla 5.3.-Características de los vehículos de proyecto.

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991, Pág.88

Nota.- Para mayor detalle de vehículos de carga, consultar anexo B.

CLASE DE VIALIDAD	VEHÍCULO DE PROYECTO
Regional	DE 1525
Subregional	DE 1525(*)
Primaria	DE 1525 (*)
Secundaria	DE 610 o DE 1220
Local	DE 610

(\*) A menos que esté específicamente prohibido por el Reglamento Local.

Tabla 5.4.- Vehículo de proyecto por nivel funcional de vialidad.

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991, Pág.88

En calles locales de áreas puramente residenciales, más del 99 % del tránsito será de automóviles. Volúmenes pequeños de camiones C2 pueden esperarse en la forma de vehículos de entrega de gas, agua y para la recolección de basura sobre una base regular y, ocasionalmente camiones C3 pueden entregar mobiliario y aparatos. Así es que el vehículo de proyecto recomendado es el DE610.

### **Velocidad de Proyecto.**

La velocidad de proyecto es la velocidad máxima segura que se puede mantener en una sección específica de una vía, cuando la configuración del proyecto geométrico de la vía rija. Una vez seleccionada, todas las características pertinentes de la vía deben estar relacionadas a la velocidad de proyecto para obtener un proyecto balanceado. Algunas características, tales como la curva horizontal y vertical, la elevación y la distancia de visibilidad, se encuentran directamente relacionadas con la velocidad de proyecto. Cuando se hace una modificación a la velocidad de proyecto, muchos elementos en el proyecto de la vía cambian.

La selección de una velocidad de proyecto es una de las más importantes decisiones que un proyectista de vías debe hacer, dado que tiene un efecto profundo en el costo y en la seguridad de las instalaciones. Una sola velocidad de proyecto debe dirigirse a una sola instalación, una vez seleccionada, la velocidad de proyecto se debe mantener y no alterarse.

La tabla 5.5 registra los rangos de velocidades de proyecto para vías urbanas, de acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la topografía global y, en el caso de arterias primarias, con respecto a su localización en el área urbana. Con el rango de velocidades dadas en la tabla, el proyectista debe seleccionar la velocidad más alta, a menos de que encuentre razones que lo obliguen a aceptar velocidades más bajas debido a factores económicos, operacionales o ambientales. En general, las velocidades más altas deben siempre requerirse para instalaciones nuevas en áreas circundantes o fraccionamientos nuevos. Las velocidades menores que la máxima, pero no menores que la mínima de las indicadas en la tabla, estarán a menudo justificadas para vías cercanas al centro histórico o en áreas sensiblemente ecológicas.

Es importante que una vez escogida una velocidad de proyecto se mantenga desde el principio hasta el final de una vía o serie de secciones. Los cambios deben permitirse solamente en zonas de transición adecuadas. Sería inseguro, por ejemplo, proyectar un viaducto para 70 (km/hr) entre dos tangentes de 80 km, pero es perfectamente aceptable proyectar rampas con velocidad más bajas dado que son transiciones lógicas y esperadas.

CLASE	TOPOGRAFÍA		
	Plano	Lomerío	Montaña
Regional	110	90	80
Subregional	90	80	70
Primaria (centro)	50 – 65	50 – 65	50 – 65
Primaria (periferia)	65 – 80	60 – 75	55 – 70
Secundaria	30 – 65	30 – 60	30 – 55
Local	30 - 50	30 - 50	30 - 50

**Tabla 5.5.- Velocidad de proyecto por nivel funcional de vialidad (km/hr).**

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991, Pág.88

### **Distancia de Visibilidad de Parada.**

La distancia de visibilidad es la longitud visible de la vía para el conductor. La distancia mínima visible disponible en una vía debe ser suficientemente larga para permitirle al vehículo viajar a la velocidad de proyecto y parar antes de alcanzar un objeto estacionado en su ruta. La distancia de visibilidad, en cada punto a lo largo de la vía,



debe ser por lo menos la requerida para un operador por abajo del promedio o para que un vehículo pare en esta distancia.

La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias: la distancia recorrida por el vehículo desde el instante que el conductor ve un objeto necesitando parar aplicando los frenos y, la distancia requerida para detener el vehículo desde el instante que se empiezan a aplicar los frenos; se refiere a una distancia de reacción de los frenos y, la distancia de frenado, respectivamente. Basado en estudios de los hábitos de los conductores, se usa en un tiempo de reacción de frenos de 2.5 segundos.

$d_{vp}$  = Distancia de visibilidad de parada, en metros (m).

$$d_{vp} = d_{rv} + d_{fv}$$

$d_{rv}$  = Distancia de reacción (en metros) para velocidad de proyecto  $v$  (en km/h)

$$d_{rv} = 2.5 v / 3.6$$

$d_{fv}$  = Distancia de frenado (en metros) para velocidad de proyecto  $v$  (en km/h)

$$d_{fv} = v^2 / (254 (f_v + p))$$

En donde:

$f_v$  = Coeficiente de fricción para velocidad de proyecto  $v$

$p$  = La pendiente vertical,  $0 < p < 1$ . Nótese que  $p$  es positivo en el sentido ascendente y negativo en el sentido descendente.

Nota.- Para mayor detalle de distancia de visibilidad de parada, consultar anexo B.

Los valores de  $f_v$  han sido determinados empíricamente basados en muchos estudios de interacción entre llantas/pavimento. Los valores para usarse en cada velocidad de proyecto se indican en la tabla 5.6. Esta tabla también indica la distancia de visibilidad de parada mínima requerida para cada velocidad de proyecto sobre terreno plano.

Velocidad de Proyecto (km/hr)	Tiempo de reacción (s)	Distancia (m)	Coef. De Fricción	Distancia de frenado (m)	Distancia de Visib. de Parada (m)
30	2.5	20.8	0.400	8.86	29.7
40	2.5	27.8	0.380	16.58	44.4
50	2.5	34.7	0.360	27.34	62.1
60	2.5	41.7	0.340	41.69	83.4
70	2.5	48.6	0.325	59.36	108.0
80	2.5	55.6	0.310	81.28	136.8
90	2.5	62.5	0.305	104.56	167.1
100	2.5	69.4	0.300	131.23	200.7
110	2.5	76.4	0.295	161.48	237.9

Tabla 5.6.-Distancia de visibilidad de parada en terreno plano (pendiente=0).

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991, Pág.88

## Secciones Transversales.

### Tipos de secciones.

Existen tres tipos básicos de secciones transversales, tal y como se indica en la figura 5.10 y como se describen a continuación.

- ❖ Sección sencilla.
- ❖ Sección separada.
- ❖ Sección compuesta.

### Sección separada.

Una sección separada consiste en dos arroyos de circulación de sentido único, separado por un camellón central y banquetas o acotamientos a los dos lados. Las ventajas de este tipo de sección son:

- ❖ En el caso de tramos de alta velocidad de marcha (promedio de 50 km/h o más) un camellón central suficientemente ancho o con una barrera central, reduce la

posibilidad de choques de frente, siempre y cuando se respeten los lineamientos sobre espacio lateral libre y de visibilidad.

- ❖ Un camellón central da la posibilidad de construir carriles para retornos en U y vueltas a la izquierda protegidos del tránsito de frente y así disminuir el riesgo de choques de alcance.

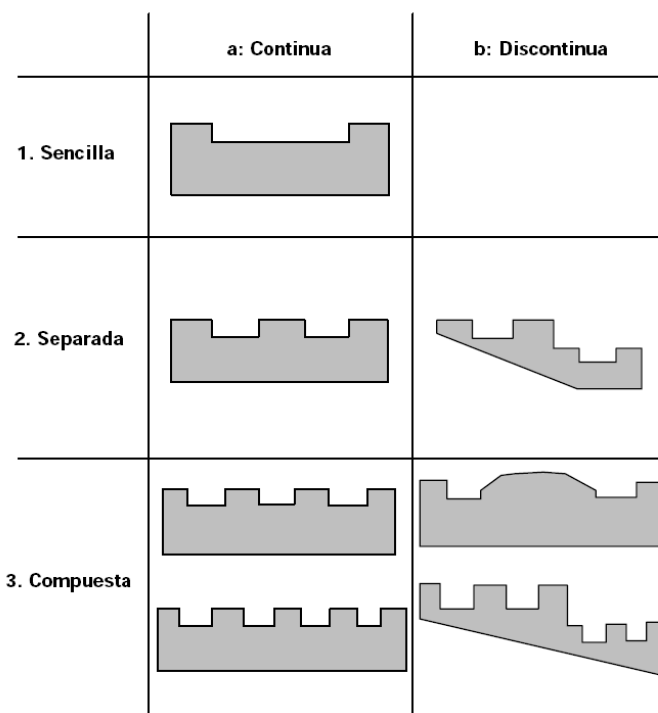
Las desventajas de una sección separada son:

- ❖ Una *sección separada* puede requerir de un derecho de vía más amplio comparado con una *sección sencilla*. En el caso de una vialidad con frecuentes intersecciones que incluyen carriles exclusivos para vueltas a la izquierda, resulta casi igual el ancho necesario para una sección sencilla y una separada.
- ❖ Por restringir las entradas a la izquierda desde las propiedades colindantes y las vías transversales, estas vueltas se transforman en retornos en U, que pueden interferir aún más en la capacidad y seguridad de la vialidad (ver la figura 5.11). Esta desventaja solamente se refiere a vialidades de bajo volumen (en caso contrario, los altos volúmenes de tránsito de paso impedirían las entradas de vuelta izquierda al igual que un camellón). La desventaja causada por el desvío disminuye a medida que se proporcionan aperturas para retornos con mayor frecuencia.

Los factores que influyen en la elección de una sección sencilla o separada incluyen:

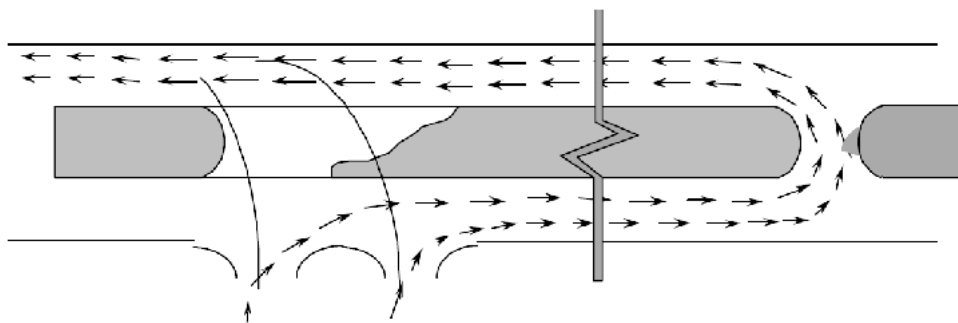
- ❖ Si el derecho de vía disponible es suficientemente ancho para un camellón.
- ❖ El tipo de acceso permitido a las propiedades colindantes y posibles conflictos entre el tránsito de frente y las vueltas a la izquierda para entrar o salir de estas propiedades.
- ❖ Si es necesario o no proporcionar carriles protegidos para vueltas a la izquierda y/o retornos.

De acuerdo con el planteamiento hecho anteriormente sobre secciones de perfil discontinuo, la topografía normalmente no entra como factor en la elección de secciones transversales de vialidades urbanas.



**Figura 5.10.- Tipo de sección transversal.**

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991



**Figura 5.11.- Impacto de un camión separador, en la trayectoria de los vehículos.**

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991

La Tabla 5.7 resume los valores mínimos y deseables de los parámetros de diseño relacionados con la proyección de secciones transversales de vialidades urbanas. Los valores deseables deben de regir en todo proyecto de vialidades nuevas. En el caso de mejoramiento de vialidades existentes en zonas urbanas, muchas veces no es posible conseguir el derecho de vía que sería indicado por los valores deseables y, por tanto, habrá que diseñar el proyecto de los valores mínimos.

#### **Ancho de Arroyos y Carriles.**

El ancho mínimo de un carril de circulación es de 3.2 m y el deseable es de 3.5 m para todos los movimientos direccionales (frente y vueltas a la izquierda o derecha). El ancho mínimo de carriles de estacionamiento es de 3.2 m, sin embargo, siempre que sea posible debe de proporcionarse un ancho igual a un carril de circulación por la probabilidad de que en el futuro se convierta en un carril de circulación.

El ancho mínimo de un arroyo de sentido único es de 5.0 m ya que, al igual que el estacionamiento prohibido, siempre habrá ocasiones en que un vehículo quede descompuesto o temporalmente parado en el arroyo por cualquier otro motivo. El ancho deseable sería 7.0 m por las mismas razones citadas anteriormente.

El ancho mínimo de un arroyo de sentido único con un carril de circulación y uno de estacionamiento, es de 6.4 m pero el deseable es de 7.0 m. Con estacionamiento en los dos lados, el ancho se incrementa para 9.6 m mínimo y 10.5 deseable.

El ancho de un arroyo de doble sentido y sin estacionamiento puede ser, en casos extremos, tan reducido como 6.4 m, siempre y cuando ya exista en la ciudad un programa eficaz de vigilancia. En caso contrario, debe de proporcionársele no menos de 7.0 m de ancho. Si se permite el estacionamiento, se incrementarán los valores de ancho 3.2 m (mínimo) ó 3.5 m (deseable) por cada carril de estacionamiento permitido.

#### **Ancho de Camellones.**

El ancho requerido para un camellón central depende de sus funciones:

- ❖ Si pretende crearse aperturas para retornos en U y, los volúmenes de tránsito en la dirección opuesta fueran no muy altos (no más que 300 vehículos / hora) se puede considerar como una opción mínima un ancho que permita el retorno entre el carril interior y el exterior del sentido opuesto. En el caso de la construcción de una nueva vialidad en áreas de la periferia urbana, o en el caso de volúmenes en el sentido contrario, se debe de proporcionar un ancho suficiente para que el vehículo de proyecto realice completamente su retorno del carril interior al carril interior del sentido contrario.
- ❖ Si se prohíben los retornos en U, pero se requieren carriles protegidos para las vueltas a la izquierda, el ancho debe de ser suficiente para acomodar un carril de 3.2 m y una faja separadora de no menos de 0.5 m (mínimo) o 0.8 m (deseable).
- ❖ Si se prohíben tanto las vueltas a la izquierda como los retornos en U, el ancho mínimo sería de 0.5 m y de 1.0 m, deseable.

### Pendientes Transversales.

Además de la sobre elevación requerida para mantener la estabilidad del vehículo, se requiere también una pendiente transversal mínima para garantizar el drenaje de las aguas pluviales del pavimento. Ésta pendiente mínima de bombeo depende en la superficie de rodamiento, tal y como se describe en la Tabla 5.7.

### Espacio Libre Lateral.

Una colisión a 25 km/h entre un vehículo compacto y el tronco de un árbol de 10 cm de grueso puede matar a los ocupantes del automóvil. Para que los camellones sirvan a su función principal, que es de seguridad, debe de evitarse la plantación de árboles dentro del área de espacio libre en los camellones separadores, de acuerdo con las cifras listadas en la Tabla 5.7.

Elemento	Valor Mínimo	Valor Deseable
<b>Ancho de Carriles</b>		
estacionamiento de frente y de vueltas	3.2m	3.5m
<b>Ancho de Arroyo</b>		
Sentido Unico		
sin estacionamiento	5.0m	6.4m
con estacionamiento un lado	6.4m	7.0m
con estacionamiento ambos lados	9.6m	10.5m
Doble Sentido		
sin estacionamiento	6.4m	7.0m
con estacionamiento un lado	9.6m	7.0m
con estacionamiento ambos lados	12.8m	15.m
<b>Ancho de Camellones Centrales</b>		
Con Retornos en U, Permitidos		
Vehículo de proyecto DE610 *	16.0	20.0m
Vehículo de proyecto DE1220 *	15.0	18.0m
Vehículo de proyecto DE1525 *	18.0	21.0m
Sin Retornos, con Vueltas Izquierda	3.7m	4.0m
Sin Retornos y Vueltas	0.5m	1.0m
<b>Pendiente de Bombeo</b>		
Concreto asfáltico y hidráulico	1.5 a 2.0	
Tratamiento y riego de sello	2.0 a 2.5	
Revestimiento de grava	3.0 a 4.0	
<b>Espacio Libre Lateral</b>		
de todo tipo obstáculo físico o visual	0.5m	0.7m
de obstáculos con diámetro > 10cm	6.0m	10.0m

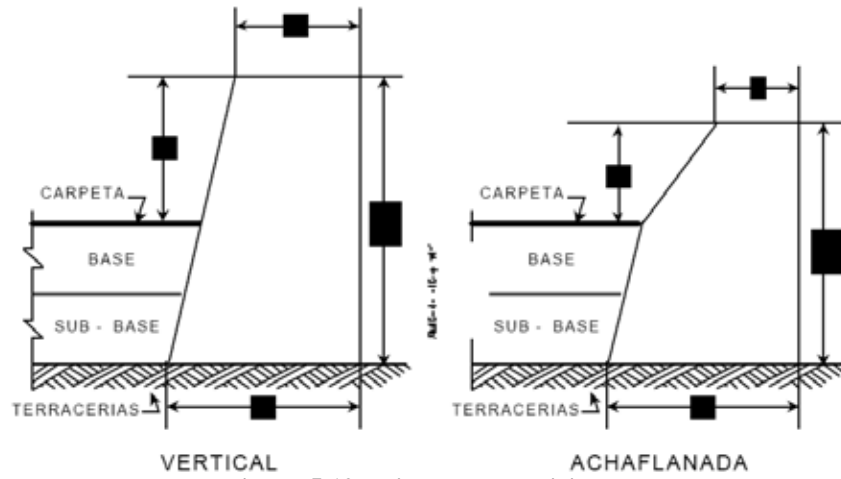
**Tabla 5.7.- Parámetros de diseño de camellones separadores.**

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991

### Guarniciones.

Existen dos tipos básicos de guarniciones: verticales y achaflanadas (ver la Figura 5.12). La de tipo vertical sirve para separar el arroyo de circulación vehicular de la banqueta, mientras que la de tipo achaflanada permite que los vehículos suban a la guarnición fácilmente.

Si la orilla del arroyo de circulación consiste en una banqueta (zona peatonal) o en un área de plantación de arbustos o flores, debe de colocarse una guarnición tipo vertical para su protección contra la intrusión de vehículos. La única ocasión en que debe de usarse una guarnición achaflanada es cuando quieren definirse las orillas de isletas de canalización.



**Figura 5.12.- Tipos de guarniciones.**

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991

**Banquetas.**

La Tabla 5.8 enlista los anchos mínimos y deseables de banquetas, de acuerdo con la zona urbana de que se trate.

ZONA	MÍNIMO (m)	DESEABLE (m)
Centro	1.5	2 o más
Subcentro	1.2	1.75
Áreas periféricas y suburbanas	1.0	1.5

**Tabla 5.8.- Ancho de Banquetas.**

## **APLICACIÓN AL TRABAJO DE TESIS.**

### **V.7 DIMENSIONAMIENTO DEL PAVIMENTO RÍGIDO.**

#### **Diseño del Pavimento Rígido.**

Para el dimensionamiento del espesor de losas de un pavimento rígido la Asociación de Cemento Portland (Portland Cement Association, PCA) ha elaborado dos métodos para el cálculo del espesor de pavimentos rígidos, el método de capacidad y el método simplificado.

- ❖ Método de capacidad. Es el procedimiento de diseño aplicado cuando hay posibilidades de obtener datos de distribución de carga por eje de tránsito. Este método asume datos detallados de carga por eje, que son obtenidos de estaciones representativas.
- ❖ Método simplificado. Éste es aplicado cuando no es posible obtener datos de carga por eje, y se utilizan tablas basadas en distribución compuesta de tráfico clasificado en diferentes categorías de carreteras y tipos de calles (Ver Tabla II). Las tablas de diseño están calculadas para una vida útil proyectada del pavimento de veinte años y se basan solamente en el tránsito estimado en la vía.

Este método sugiere un diseño basado en experiencias generales de comportamiento del pavimento, hechos a escala natural, sujetos a ensayos controlados de tráfico, la acción de juntas y hombros de concreto. Este método asume que el peso y tráfico de camiones en ambos carriles varía de 1 a 1.3 según sea el uso de la carretera, para prevenir sobrecarga de los camiones.

#### **Método Simplificado de la Asociación del Cemento Portland (PCA).**

La secuencia de cálculo para el dimensionamiento del espesor de losas de un pavimento rígido es la siguiente:

- 1) Determinar la categoría de la vía según los criterios de la tabla 5.9.
- 2) Establecer el tipo de junta por utilizar (tipo dovela o de trabe por agregado).
- 3) Decidir incluir o excluir hombros o bordillos en el diseño.
- 4) Determinar el módulo de ruptura del concreto. Se recomienda utilizar un módulo de ruptura de 42 kg/cm<sup>2</sup> (600 PSI) o bien de 45 kg/cm<sup>2</sup> (650 PSI).
- 5) Determinar el módulo de reacción *k* de la sub-rasante. Se puede encontrar un valor aproximado a través del porcentaje de CBR, en la figura 5.20. El valor aproximado de *k*, cuando se utiliza una base, se puede obtener de las tablas 5.15, bases granulares y bases de suelo-cemento, respectivamente.
- 6) Determinar el volumen de tránsito promedio diario de camiones o su porcentaje del tránsito promedio diario de vehículos, según la tabla 5.9.
- 7) Determinar el espesor de losa según las tablas 5.16.1, a la tabla 5.16.7 de diseño, determinado con los parámetros anteriores.

El método simplificado, incluye en el análisis solamente al tráfico promedio diario de camiones (TPDC), el cual incluye solo camiones de seis llantas y unidad simples de tres ejes, excluyendo *pick-ups*, paneles y otros tipos livianos. Sólo se utiliza el número de ejes simples o tandem esperado para la vida útil del proyecto.

Además el método simplificado de la PCA permite el uso o no, de hombros o bordillos. El uso de hombros o bordillo de concreto es recomendable por el hecho de ser útil en reparación o prevención de accidentes en la carretera, además de reducir el espesor de la losa en algunos casos de una pulgada o más. La función del bordillo es servir como viga lateral para aumentar la resistencia del concreto a esfuerzos de flexión, disminuyendo grandemente el efecto de la tensión en el concreto.

Desarrollaremos cada uno de los puntos anteriores para utilizar el método simplificado de la PCA y obtener un primer espesor de losa de concreto hidráulico, valor que tomaremos como pivote para el siguiente análisis por el método de la AASHTO, y tener un mayor criterio de decisión para el espesor final de diseño de la losa para el pavimento.

- 1) Para el diseño del espesor del pavimento rígido, la categoría 2 de la tabla 5.9, es la que mejor se adapta a los estudios realizados y también al tránsito diario promedio anual (TDPA), obtenido de acuerdo al aforo realizado en el mes de Agosto en una calle principal de san Bernardino Tlaxcalancingo (Cuauhtémoc). Como el aforo vehicular solo se realizó de Lunes a Viernes y en horarios de mayor demanda se emplean dos métodos para obtener el TDPA de la zona; método aritmético y el método de factores de expansión, resultados que se muestra en la tabla 5.10.

CATEGORÍAS DE TRÁFICO EN FUNCIÓN DE CARGA POR EJE						
Categoría por Eje		TDPA	TPPD		Carga Máxima por Eje	
Cargados	Descripción		%	Por Día	Eje Sencillo	Eje Doble
1	Calles residenciales, carreteras rurales y secundarias (medio)	200 - 800	1 - 3	Hasta 25	22	36
2	<b>Calles colectoras, carreteras rurales y secundarias (altas), carreteras primarias y calles arteriales(bajo)</b>	<b>700 - 5000</b>	<b>5 - 18</b>	<b>40 - 1000</b>	<b>26</b>	<b>44</b>
3	Calles arteriales, carreteras primarias (medio), súper carreteras o interestatales urbanas o rurales (bajo y medio)	3000 – 12000 en dos carriles. 3000 – 5000 en cuatro carriles	8 - 30	500 - 1000	30	52
4	Calles arteriales, carreteras primarias, súper carreteras (alto), interestatales urbanas y rurales (alto y medio)	3000 – 20000 en dos carriles. 3000 – 150000 en cuatro carriles o más.	8 - 30	1500 - 8000	34	60

Tabla 5.9.-Categorías de carga por eje.

Alto, medio y bajo se refiere al peso relativo de las cargas por eje para el tipo de calle o carretera.

TPPD.- Tránsito promedio pesado diario. Camiones de dos ejes.

Fuente.- Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. Salazar Rodríguez Aurelio.

Fuente.- Salazar Rodríguez Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos, Pág.148

SÍNTESIS SEMANAL

TIPO DE VEHÍCULO							
H.M.D	Ap	Ac	B	C2	C3	SUMA	PROMEDIO
8.00-9:00	643	190	53	80	10	976	195.2
14:00-15:00	<b>696</b>	<b>241</b>	<b>41</b>	<b>85</b>	<b>6</b>	<b>1069</b>	<b>213.8</b>
18:00-19:00	606	108	24	47	0	785	157
<b>TOTAL=</b>						<b>2830</b>	566
MÉTODO DE ARITMÉTICO						<b>TDPA = 566</b>	<b>(vehiculos/dia)</b>
MÉTODO DE AASHTO						<b>TDPA = 859</b>	<b>(vehiculos/dia)</b>
<b>VEHÍCULOS LIGEROS</b>		<b>VEHÍCULOS PESADOS</b>					
	1945	539	118	212	16		
PORCENTAJE	68.73	19.05	4.17	7.49	0.57	<b>100.00</b>	
PORCENTAJE		87.77	12.23			<b>100.00</b>	

Tabla 5.10.- Aforo vehicular en la calle de Cuauhtémoc. Tránsito diario promedio anual (TDPA).

Fuente.- Elaboración Propia.

- 2) Las juntas longitudinales son perpendicular al eje longitudinal del pavimento. Estas juntas se colocarán con pasadores sobre la su-base, con una

longitud de 0.80m de largo, con 0.40m a cada lado del carril. La separación entre juntas longitudinales es de 1 m y estarán al final del ancho de carril (3.8m), figura 5.13. La profundidad de la ranura superior de esta junta, será de 1/3 del espesor de la losa (figura 5.14).

Las barras de unión serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$  y diámetro de 0.0032m, debiendo quedar ahogadas en las losas exactamente a 1/2 del espesor del pavimento, las barras estarán montadas sobre canastillas, suministradas por la empresa Mecosa Metal Construcciones.

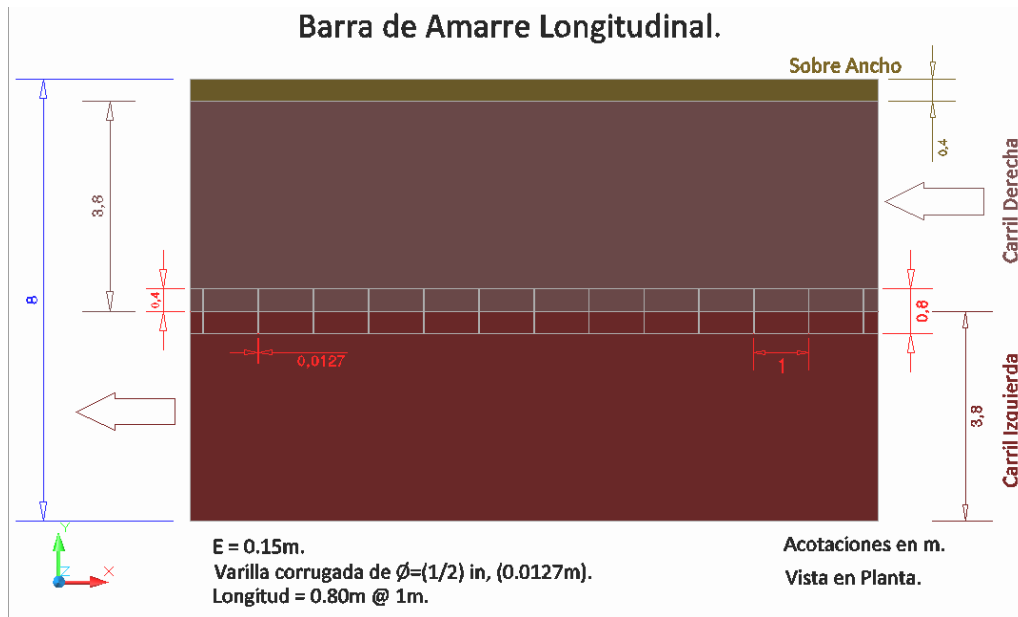


Figura 5.13.- Barras de amarre longitudinal.

Fuente.- Elaboración propia

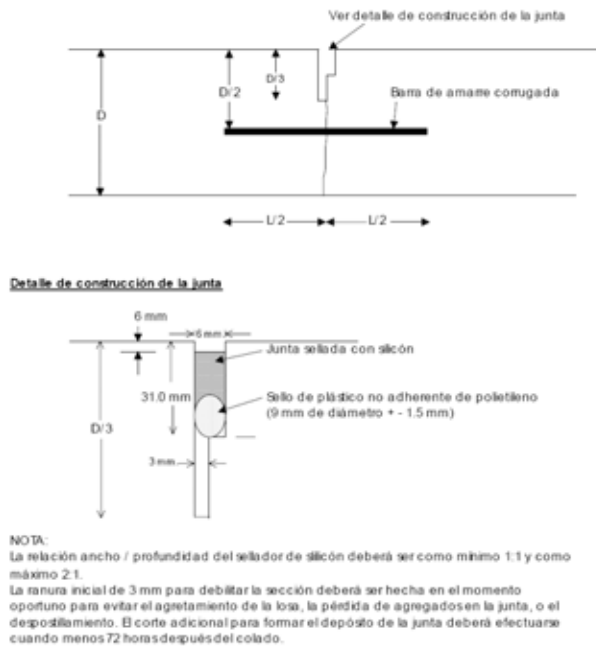


Figura 5.14.- Detalle de construcción de la junta.

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991



### Juntas Transversales

La sección de cada junta transversal se ubicará a cada 5m. Tendrán un largo de 0.46m, con separación de 0.30m y con un ancho de de 3.30m (Tabla5.11). Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa (figura 5.15). Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá tener  $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ , y deberá ser recubierta con grasa o cualquier otro medio que impida la adherencia del acero con el concreto. Las pasajuntas podrán ser instaladas con canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma (figura 5.16 y 5.17), suministradas por la empresa Mecosa Metal Construcciones, la configuración del acero transversal y longitudinal del pavimento será como el mostrado en la figura 5.18.

ESPESOR DE LOSA		BARRA PASAJUNTAS					
		Diámetro		Longitud		Separación	
cm	in	mm	in	cm	in	cm	in
13-15	5-6	19	¾	41	16	30	12
15-20	6-8	25	1	46	18	30	12
20-30	8-12	32	1 ¼	46	18	30	12
30-43	12-17	38	1.½	51	20	38	15
43-50	17-20	45	1 ¾	56	22	46	18

Tabla 5.11.- Diámetros y longitudes recomendadas en pasajuntas.

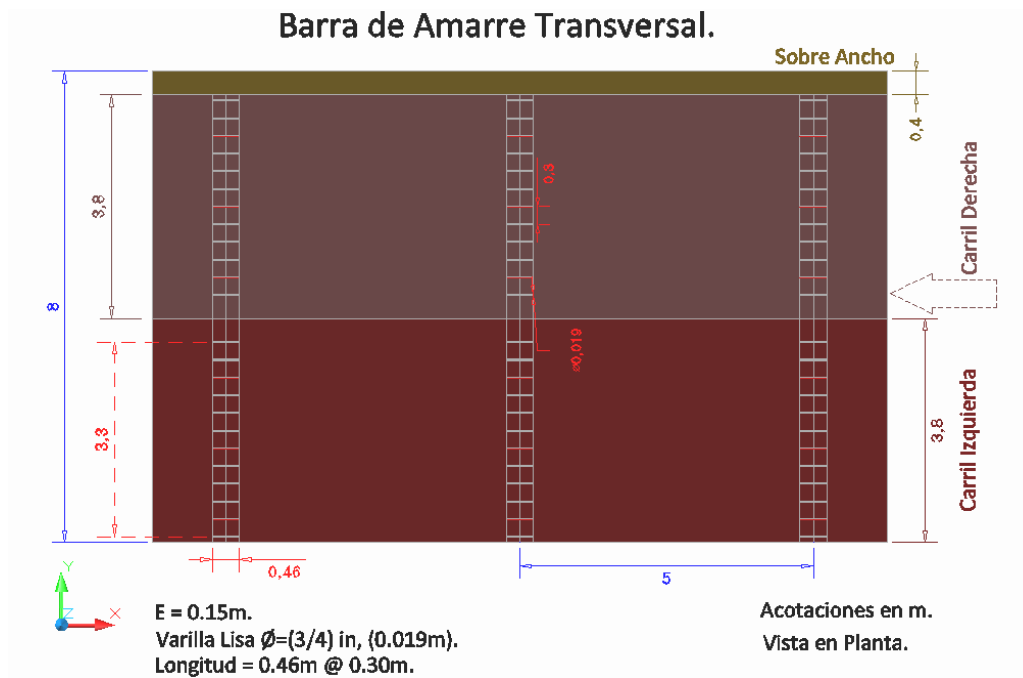


Figura 5.15.- Barras de amarre transversal.

Fuente.- Elaboración propia



NOTA:  
 La relación ancho / profundidad del sellador de sílicón deberá ser como mínimo 1:1 y como máximo 2:1.  
 La ranura inicial de 3 mm para debilitar la sección deberá ser hecha en el momento oportuno para evitar el agrietamiento de la losa, la pérdida de agregados en la junta, o el desplazamiento. El corte adicional para formar el depósito de la junta deberá efectuarse cuando menos 72 horas después del colado.

Figura 5.16.- Detalle de construcción de la junta.

Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991

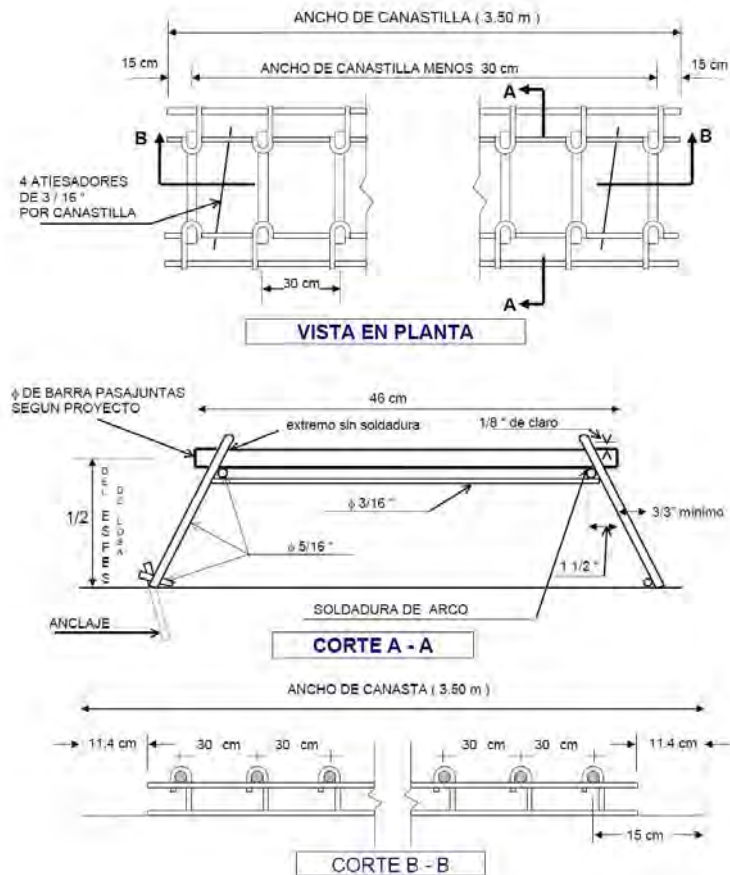


Figura 5.17.- Canastilla pasajuntas.

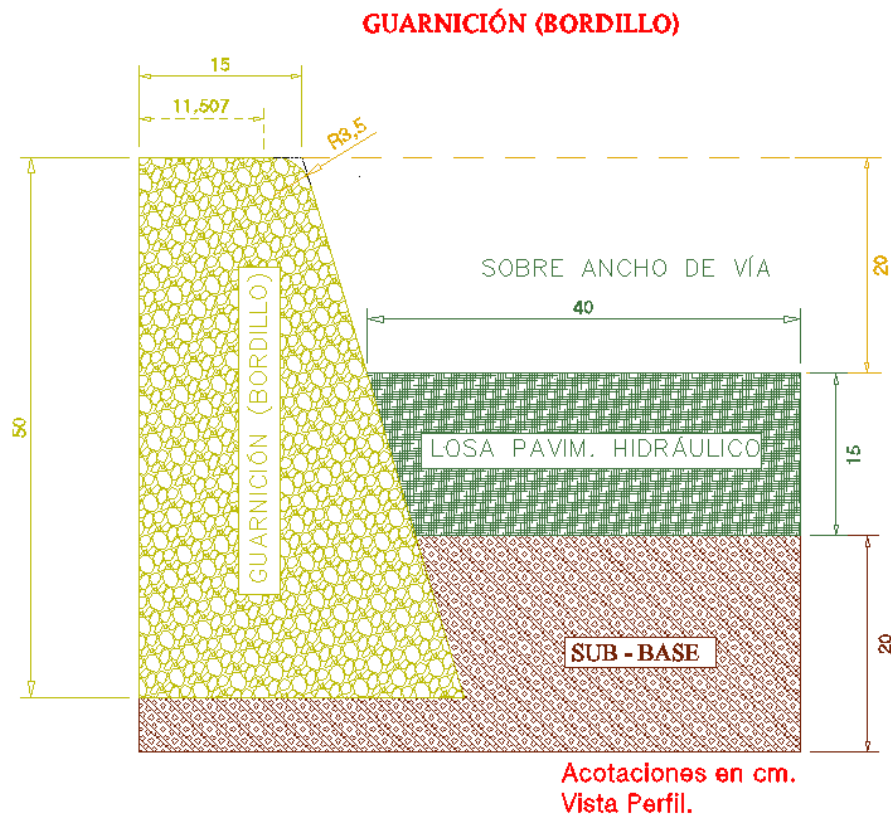
Fuente.- Manual de Proyectos Geométricos de Carreteras, SCT, 1991



**Figura 5.18.- Configuración de las barras de refuerzo longitudinal y transversal.**

Fuente.-Mecosa Metal Construcciones

- 3) En el diseño del pavimento hidráulico se instalarán guarniciones (hombros o bordillos) en ambos sentidos de la vía al final del sobre ancho de la carretera, con las siguientes características: forma trapecial, con base mayor de 0.30m y base menor de 0.15m, altura de 0.50m en línea vertical y achaflanada hacia el lado del carril con una curva de 0.035m, a una altura sobre el nivel de la losa del pavimento de 0.20m. Como Se muestra en la figura 5.19.



**Figura 5.19.- Diseño de guarnición, hombros o bordillos.**

Fuente.- Elaboración propia

- 4) Para el dimensionamiento de la losa de concreto hidráulico, se ha establecido un módulo de ruptura del concreto de  $42 \text{ kg/cm}^2$  ( $MR=42 \text{ kg/cm}^2 = 600 \text{ PSI}$ ), y la resistencia nominal a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$  (4000 PSI) a los veintiocho días.
- 5) Sub-rasante.- Por el estudio de mecánica de suelos efectuado, se sabe que el material existente en el lugar del proyecto, sirve para una sub-rasante por tratarse de arena en un 70% y arcilla de baja plasticidad en un 30% (Estrato 2, tabla 4.19), por lo cual la parte de suelo fina cumple con las especificaciones que marca las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, Tabla 5.12). Los primeros 0.60m de profundidad deberán removerse en su totalidad, capa vegetal (0.20m) y estrato 1 (0.40m), y a partir de los 0.60m encontramos el estrato 2 con un espesor de 0.40m, el cual tiene las propiedades adecuadas para sub-rasante.

Una vez retirados los rellenos del lugar, la superficie descubierta se escarificará en sus primeros 0.40m, los cuales se mezclarán en seco con mortero a una proporción del 5% en peso con respecto al material del estrato 2 con el objeto de uniformizar, mezclar, homogenizar y estabilizar la sub-rasante. Por medio de motoconformadora, el material se extenderá parcialmente y se procederá a la incorporación de agua por riegos y mesclados sucesivos, a fin de alcanzar la humedad óptima.

Como el espesor a compactar es de 0.30m, el material debe ser colocado, tendido, extendido y compactado en dos capas, de 0.15m, con un contenido de humedad dentro de  $\pm 3\%$  de la humedad óptima, hasta lograr el 95% de su peso volumétrico seco máximo. Se establece una tolerancia en  $\pm 3\%$  respecto al porcentaje de compactación especificado, para aceptación de la capa sub-rasante. Se darán riegos superficiales de agua durante el tiempo que dure la construcción, únicamente para compensar la pérdida de humedad por evaporación.

La superficie se terminará conforme al proyecto de rasantes y respetando lo indicado en el plano de secciones y perfil longitudinal que no se incluye en esta tesis.

Para terminar la construcción de esta capa, se verificará que el alineamiento, sección, compactación, espesores y acabados sean los correctos de acuerdo a la tabla 5.13 de tolerancias.

CONCEPTO	UNIDAD
Nivel de superficie	$\pm 2.5 \text{ cm.}$
Pendientes, diferencia con respecto a las de proyecto en alineamiento longitudinal.	$\pm 0.5 \%$
Profundidad de las depresiones, observadas en una regla de 3m de longitud en forma paralela y normal al eje de construcción, valor máximo.	$\pm 2 \text{ cm.}$
Captación en cuando menos 80% de valores determinados en un mínimo de 20 puntos de control, fijados mediante el criterio de números aleatorios, respecto al grado de compactación especificado en el proyecto.	$\geq 90\%$
Sobre ancho en la caja de los cortes.	10 cm. Máx.

**Tabla 5.13.- Tolerancias.**

Fuente.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Determinaremos un valor aproximado del módulo de reacción  $k$  de la sub-rasante a través del porcentaje de CBR, de la figura 5.20. El cual nos da un valor de 250 (PCI),  $6.9 \text{ E}^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ , valor muy aproximado con el de la tabla 5.14 que es de 220(PCI), por lo tanto usaremos un módulo de reacción  $k = 200(\text{PCI})$ .

DATOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUCS					
ESTRATO	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L	I.P.
1	1.21	52.72	46.06	29.25	11.74
<b>2</b>	<b>0.18</b>	<b>71.78</b>	<b>28.05</b>	<b>30.12</b>	<b>10.62</b>
3	0	12.73	87.26	73.08	38.89
4	0	15.98	84.02	50.74	20.30

Tabla 4.19.- Resumen de los límites y granulometría en los diferentes estratos.

Fuente.- Elaboración Propia.

CARACTERÍSTICA	CALIDAD		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Granulometría Tamaño máximo(mm)	<b>76</b>	76	76
% Finos (Materia<0.074)	<b>25 máx.</b>	35 máx.	40 máx.
Límite Líquido (%LL)	<b>30 máx.</b>	40 máx.	50 máx.
Índice Plástico (%IP)	<b>10 máx.</b>	20 máx.	25 máx.
Compactación (% AASHTO Est.1)	<b>100 mín.</b>	100 ± 2	100 ± 2
V.R.S. (%Comp. dinámica, 2)	<b>30 mín.</b>	20 mín.	15 mín.

(1)Con humedad de compactación hasta %3 mayor de la óptima.

(2)El porcentaje de compactación indicado y con contenido de agua recomendable la del material en el banco, a 1.5m de profundidad.

Tabla 5.12.- Valores de calidad para materiales de la capa sub-rasante.

Fuente.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K (PCI)
Suelos de grano fino en el cual el tamaño de partículas de limo y arcilla predominan.	Bajo	75 - 120
Arenas y mezclas de arena con grava, con una cantidad considerable de limos y arcilla.	Medio	130 – 170
<b>Arenas y mezclas de arena con grava y pocos o relativamente libre de finos.</b>	<b>Alto</b>	<b>180 – 220</b>
Sub-base tratada con cemento.	Muy alto	250 - 400

Tabla 5.14.- Tipos de suelo de sub-rasante y valores aproximados de K.

Fuente.- Salazar Rodríguez Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. Pág. 149

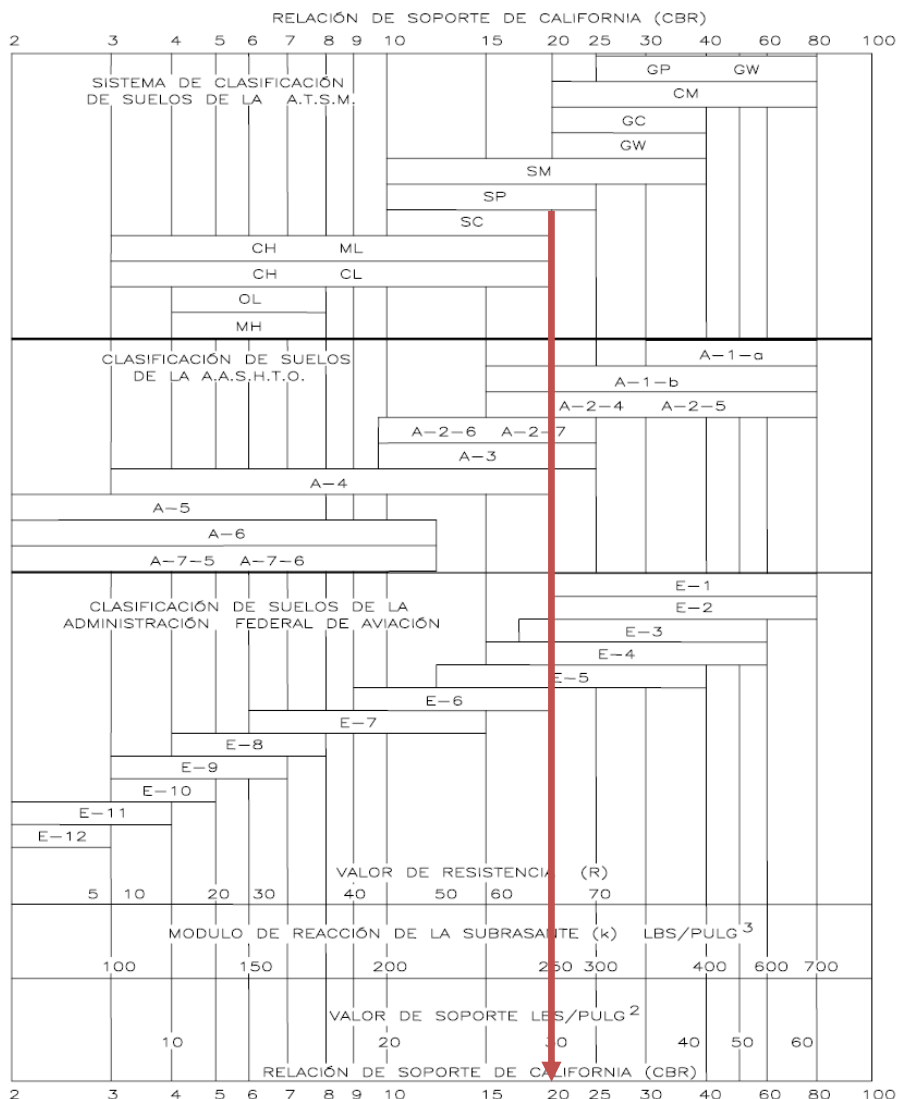


Figura 5.20.- Relación aproximada de las clasificaciones de suelos y los valores de soporte.

Fuente.- Salazar Rodríguez Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. Pág. 5

**Sub base.**

Para el diseño de pavimento rígido se ha establecido la utilización de una sub base tipo granular tratada con cemento, con un espesor de 0.20 m. La capa de sub base deberá conformarse, ajustándose a los alineamientos y secciones típicas de pavimentación y compactarse en su totalidad, hasta lograr el 95% de su peso volumétrico seco máximo. La sub base estará conformada de la siguiente forma, un 80% de grava, 15% de arena y un 5% de finos adicionada con cemento en una proporción del 5% en peso con respecto al material de la sub base.

Como el espesor a compactar es de 0.20m, el material debe ser colocado, tendido y compactado en dos o más capas, de 0.10m. Se establece una tolerancia en menos del 3% respecto al porcentaje de compactación especificado, para aceptación de la capa base.

Determinaremos un valor aproximado del módulo de reacción k de la sub base a través del valor del módulo de reacción k de la subrasante y apoyándonos en la tabla 5.15. El cual nos da un valor de 640 (PCI),  $17.7 E^6$  (kg/m<sup>3</sup>).

<b>a) SUB BASES GRANULARES SIN TRATAM.</b>				
Valores k de la subrasante (PCI)	Valores k de la sub base (PCI)			
	4 in	6 in	9 in	12 in
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430
<b>b) SUB BASES TRATADAS CON CEMENTO</b>				
Valores k de la subrasante (PCI)	Valores k de la sub base (PCI)			
	4 in	6 in	9 in	12 in
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
<b>200</b>	470	<b>640</b>	830	----

**Tabla 5.15.- Valores de k de diseño para sub bases sin tratamiento y tratadas con cemento.**

Fuente.- Adaptado de Roger G. Packard, Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, Portland Cement Association, Skokie, III, 1984

- 6) Determinaremos el espesor de la losa con los datos obtenidos del punto uno al cinco y de acuerdo al método sencillo de la Asociación de Cemento Portland (PCA). Basándonos en las tablas 5.16.1 a la tabla 5.16.7. Presentaremos la tabla 15.16.2 que cumple con los datos de diseño y las demás se pueden consultar en el anexo del capítulo 5.

	SIN HOMBRO DE CONCRETO O BORDILLO				CON HOMBRO DE CONCRETO O BORDILLO						
	Espesor de losa (in).	Soporte		Subrasante		Sub base.					
		BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO		
<b>MR = 650 PSI</b>	5.5			5		5	5.5	42	9	42	120
	6	59		4	12	6	6.5	93	380	970	
	6.5	9		43	120	6.5	710	2600			
	7	80		320	840	7	4200				
	7.5	490		1900							
8	2500										
<b>MR = 600 PSI</b>	6	11				5	5.5	8	1	8	23
	6.5	110		8	24	5.5	98	19	84	220	
	7	15		70	190	<b>6</b>	<b>810</b>	<b>160</b>	<b>620</b>	<b>1500</b>	<b>5200</b>
	7.5	750		440	1100	<b>6.5</b>	<b>160</b>	<b>620</b>	<b>1500</b>	<b>5200</b>	
8	590		2300		7	1000	3600				
8.5	2700										
<b>MR = 550 PSI</b>	6.5			4		5.5	17			3	
	6	59		4	12	6	160		14	41	
	6.5	9		43	120	6.5	29	120	320	1100	
	8	120		470	1200	7	210	770		1900	
	8.5	560		2200		7.5	1100	4000			
9	2400										

**Tabla 5.16.2. TPDC permisible, carga por eje categoría 2. Pavimentos con juntas doveladas.**

Nota.- El diseño controla el análisis por fatiga

TPPD excluye camiones de dos ejes y cuatro llantas, de manera que el número de camiones permitidos será mayor

Fuente.- Salazar Rodríguez Aurelio. Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. Pág. 150

Para el dimensionamiento de la losa de concreto hidráulico, se ha establecido un módulo de ruptura del concreto de  $42 \text{ kg/cm}^2$ , y la resistencia nominal a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$  a los veintiocho días.

Se ha definido la categoría de la carretera (tabla 5.9), como categoría 2, ya que el TDPA es de una carretera rural. El módulo de reacción (k), de la sub-rasante en combinación con la base, tiene un soporte de alto a muy alto y se ha decidido por las características geométricas de pavimentos la utilización de bordillos a ambos lados de la carretera para encauzar el agua pluvial a las alcantarillas.

De la tabla 15.16.2, se obtuvo que el espesor de la losa es de concreto de 6" (15.24 cm), que redondearemos en 0.15m. Se utilizarán juntas transversales y las juntas serán de acero liso sobre dovelas de  $0.46\text{m} @ 0.30\text{m}$ , en secciones de 5 metros y las juntas longitudinales, instaladas en el centro de la calle de  $0.80$  de acero corrugado @ 1m, a todo lo largo del eje medio de la vía.

### Método de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO).

Comprobaremos este diseño de espesor de losa por medio del método de la Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes (AASHTO).

La fórmula general a la que llegó la AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, basada en los resultados obtenidos de la prueba AASHTO es la siguiente:

1986-93 Ecuación de Diseño de Pavimentos Rígidos.

$$\log_{10}(E18) = \left[ Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.45}}} \right] + (4.22 - 0.32 \times p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times D^{0.75} - 1.132}{215.63 \times J \times D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}}} \right]$$

Ecuación 5.1.- Diseño de pavimentos rígidos.

Fuente.- Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, Cap. 1, Pág. 990

En donde:

- I.  $W_{18}$  = Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (ESAL's  $W_{18}$ , 80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular.
- II.  $Z_r$  = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R.
- III.  $S_o$  = Desviación estándar de todas las variables.
- IV.  $D$  = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.
- V.  $\Delta \text{PSI}$  = Pérdida de serviciabilidad.
- VI.  $P_t$  = Índice de serviciabilidad o servicio final.
- VII.  $M_r$  = Resistencia media del concreto (en MPa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en el tercio medio).
- VIII.  $C_d$  = Coeficiente de drenaje.
- IX.  $J$  = Coeficiente de transmisión de carga en las juntas.



- X.  $E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, en MPa.
- XI.  $K$  = Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, sub base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

Obtendremos cada una de las variables de la fórmula anterior:

- I) Número de cargas de ejes simples equivalentes de 18 kips (80 kN) calculadas conforme el tránsito vehicular ( $W_{18}$ ), tabla 5.17.

**CÁLCULO DE ESAL's**

PERIODO DE DISEÑO= 25 años  
 ESPESOR DE LOSA (D)= 6 in 0.15 cm  
 INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (P<sub>f</sub>) = (4.5-2.0) = 2.5

VEHÍCULOS LIGEROS		VEHÍCULOS PESADOS		
1945	539	118	212	16
389	107.8	23.6	42.4	3.2

TIPO DE VEHÍCULO						
H.M.D	Ap	Ac	B	C2	C3	SUMA
(Vehíc/día)	1590.45	440.75	96.49	173.36	13.08	2314.1
T.C.A. (%)	6	4	2	2	2	

	Tipo de Vehículo	Cantidad de vehículos diarios	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño	ESAL's Factor	ESAL's de diseño
Vehículos sencillos	Autos	1590.45	54.86	31847097.57	0.0002	6369.42
	Camionetas	440.75	41.65	6700361.283	0.0012	8040.43
	Autobús	96.49	32.03	1128063.106	0.0153	17259.37
Camiones ejes simples	Camiones dos ejes, cuatro ruedas	173.36	32.03	2026689.648	0.097	196588.90
	Camiones dos ejes, seis ruedas	13.08	32.03	152957.7093	0.155	23708.44
<b>ESAL's DE DISEÑO <math>W_{18}</math> =</b>						<b>251966.56</b>
Millones $W_{18}$ =						0.251966559

FACTOR DE DIRECCIÓN (LD)= 0.5  
 FACTOR DE CARRIL (LC)= 1  
 ESAL's POR CARRIL DE TRÁNSITO ( $W_{18}$ ) = 125983.28

**Tabla 5.17.- Número de cargas de ejes simples equivalentes ESAL's  $W_{18}$ .**

Fuente.-Elaboración propia  
 Nota.- Para mayor detalle de factor ESAL's, consultar anexo B.

- II)  $Z_r$  = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad R, tabla 5.18 y 5.19.

VALORES DE $Z_r$ EN FUNCIÓN DE R	
Confiabilidad R (%)	Desviación Normal Estándar $Z_r$
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.3340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

**Tabla 5.18.- Valores de  $Z_r$  en función de la confiabilidad R (%).**

Fuente.- Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, Cap. 1, Pág. 993

NIVEL DE CONFIABILIDAD R EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CARRETERA		
Tipo de carretera	Urbanas (%)	Rurales (%)
Autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 - 99	75 – 99
<b>Colectoras</b>	80 - 95	<b>75 – 95</b>
Locales	50 - 80	50 - 80

**Tabla 5.19.- Nivel de confiabilidad R en función del tipo de carretera.**

Fuente.- Manual de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales, SIECA, 2, 001.

III) Se recomienda utilizar para  $S_0$  valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

- a. Para pavimentos rígidos 0.30 – 0.40
- b. En construcción nueva 0.35**
- c. En sobre-capas 0.40

Por lo anterior expuesto obtendremos los siguientes valores de cada una de las variables:

Variable	Valor
Confiabilidad R (%)	<b>90</b>
Desviación Estándar $S_0$	<b>0.30</b>

IV) D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros. Tentativamente proponemos un espesor de 150mm (6 in).

V)  $\Delta PSI$  = Pérdida de serviciabilidad.

Serviciabilidad Inicial ( $P_0$ ).– Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Los valores recomendados por AASHTO para este parámetro son:

- a. Para pavimento de Concreto = 4.5**
- b. Para pavimento de Asfalto = 4.2

Usando buenas técnicas de construcción, el pavimento de concreto puede tener una serviciabilidad  $P_0 = 4.7$  ó  $4.8$

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ). - La serviciabilidad final tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil.

Los valores recomendados de Serviciabilidad Final  $P_t$  para el caso de México, son:

- a. Para Autopistas 2.5
- b. Para Carreteras 2.0**
- c. Para Zonas Industriales 1.8
- d. Pavimentos Urbanos Principales 1.8
- e. Pavimentos Urbanos Secundarios 1.5

$$\Delta PSI = P_0 - P_t = 4.5 - 2 = 2.5$$

VI)  $M_r$  = Resistencia media del concreto (en MPa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en el tercio medio).

Tomaremos el valor con el que se realizó el primer cálculo de  $280 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ , igual a 27.47 MPa.

VII)  $C_d$  = Coeficiente de drenaje, tabla 5.20.

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	Más del 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Mediano	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Malo	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy Malo	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	<b>0.80 – 0.70</b>	0.70

Tabla 5.20.- Valores del coeficiente de drenaje  $C_d$ .

Fuente.- Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1, 993

$C_d = 0.70$

VIII)  $J$  = Coeficiente de transmisión de carga en las juntas, tabla 5.21.

Tipo de pavimento	Elemento de transmisión de carga (hombro)			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	si	no	si	No
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	<b>2.5 – 3.1</b>	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	-----	2.3 – 2.9	-----

Tabla 5.21.- Valores de coeficiente de transmisión de carga  $J$ .

Fuente.- Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1, 993

$J = 3.1$

IX)  $E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto, en MPa, tabla 5.22.

Tipo de agregado y origen	Módulo de elasticidad $E_c$ (MPa)	Módulo de elasticidad $E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Grueso Ígneo	$E_c = 5500 * f_c^{1/2}$	$E_c = 17000 * f_c^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4700 * f_c^{1/2}$	$E_c = 15000 * f_c^{1/2}$
Grueso - Sedimentario	$E_c = 3600 * f_c^{1/2}$	$E_c = 11500 * f_c^{1/2}$
Sin información	$E_c = 3900 * f_c^{1/2}$	$E_c = 12500 * f_c^{1/2}$

Tabla 5.22.- Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad  $E_c$ .

$f_c$  = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días en MPa o en kg/cm<sup>2</sup>.

Fuente.- Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1, 993

$$f_c = 280 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 27.47 \text{ (MPa)}$$

$$E_c = 5500 * f_c^{1/2} = 5500 * 27.47^{1/2} = 28826.51 \text{ (MPa)}$$

$$E_c = 28826.51 * 10^6 * \left( \frac{0.0254^2}{9.81 * 0.4535} \right) = 4,180,355.35 \text{ (PSI)}$$

X)  $K$  = Módulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, sub base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

Modulo de reacción de la sub base ( $K$ ) = 640 PSI = 4.4128 (MPa/m)

### XI) Factor de pérdida de soporte $L_s$ , tabla 5.23.

TIPO DE SUB BASE O BASE	Factor de pérdida de soporte $L_s$
Sub base granular tratada con cemento ( $M_r = 1000,000$ a $2000,000$ PSI)	0.0 – 1.0
<b>Sub base de agregados con cemento (<math>M_r = 500,000</math> a <math>1000,000</math> PSI)</b>	<b>0.0 – 1.0</b>
Base asfáltica ( $M_r = 350,000$ a $1000,000$ PSI)	0.0 – 1.0
Sub base estabilizada con material bituminoso ( $M_r = 40,000$ a $300,000$ PSI)	0.0 – 1.0
Mezclas estabilizadas con cal. ( $M_r = 20,000$ a $70,000$ PSI)	1.0 – 3.0
Materiales granulares no aglomerados. ( $M_r = 15,000$ a $45,000$ PSI)	1.0 – 3.0
Suelos finos y subrasantes naturales. ( $M_r = 3,000$ a $40,000$ PSI)	2.0 – 3.0

**Tabla 5.23.- Valores del factor de pérdida de soporte  $L_s$ , por el tipo de sub base o base.**

Fuente.- Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1, 993

### Factor de pérdida de soporte $L_s = 1$

#### XII) Módulo efectivo de reacción de la subrasante (K).

En la determinación de un módulo efectivo de reacción de la subrasante, depende de:

- El efecto de las estaciones del año sobre el módulo de resiliencia de la subrasante.
- El tipo y espesor del material de su base que se use.
- El efecto de la erosión potencial de la sub base.
- Si la cama de roca está a menos de 3.048m (10 ft) de la superficie de la subrasante.

Como no se tiene el estudio adecuado, del efecto de las estaciones del año en el material de la subrasante en la zona de San Bernardino, se utilizará tres fórmulas para obtener un valor aproximado de  $M_r$  (tabla 5.24). Este valor tendrá que ser reducido en un 50%, para tomar en cuenta las malas condiciones climáticas que se pueden presentar a lo largo del año y que pueden dañar o modificar las propiedades iniciales de la subrasante.

Los investigadores Huekelom y Klomp reportaron valores en las correlaciones del valor relativo de soporte y el módulo de resiliencia (usando pruebas de compactación dinámica), mediante la siguiente expresión:

$$M_r (\text{psi}) = 1,500 \times \text{VRS}.$$

Esta expresión es válida para suelos finos y un VRS menor de 10.

El Instituto del Asfalto de USA, ha definido otra expresión, que relaciona al valor de resistencia R, con el módulo de resiliencia:

$$M_r (\text{psi}) = A + B \times (\text{valor de R}).$$

Donde:

$$A = 772 \text{ a } 1,155$$

$$B = 369 \text{ a } 555.$$

Para la metodología AASHTO se puede utilizar la siguiente correlación en suelos finos, en donde  $R = 20$ , o menor.

$$M_r = 1000 + 555 \times (\text{valor de R})$$

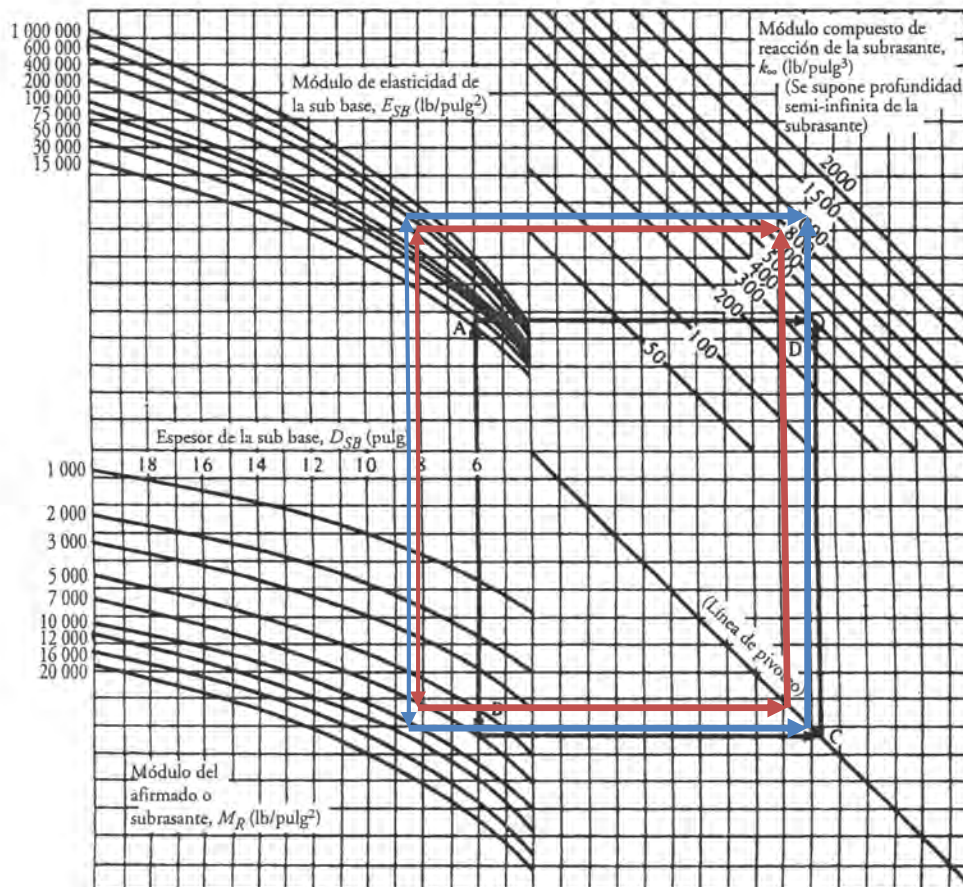
AUTOR	FÓRMULA	VALOR DE Mr
Huekelom y Komp	$Mr (PSI) = 1500 * VRS$	15000
Instituto del Asfalto U.S.A	$Mr (PSI) = A + B * (\text{valor de R})$	17377
AASHTO	$Mr (PSI) = 1000 + 555 * (\text{valor de R})$	25975

**Tabla 5.24.- Fórmulas para obtener el valor de Mr.**

Fuente.- El módulo de resiliencia en las metodologías de diseño, CEMEX, Pág. 22

**Mr = 15000 (PSI)**  
**Mr (50%) = 7500 (PSI)**

Con ese valor entraremos en la gráfica de la figura 5.21, para obtener el módulo compuesto  $K_{\infty}$ .

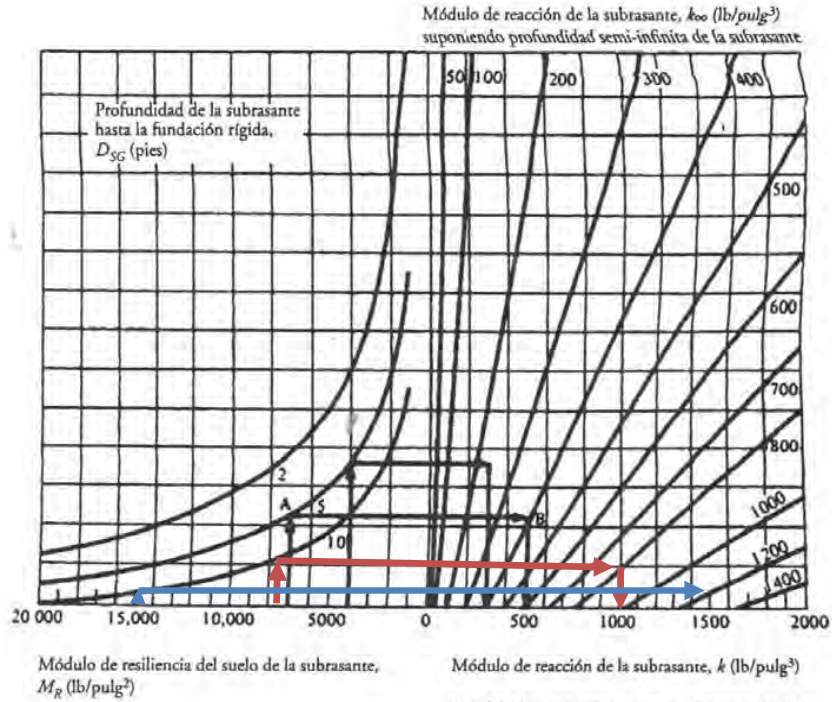


**Figura 5.21.-Gráfica para estimar el módulo compuesto de reacción de la subrasante,  $K_{\infty}$ .**

Fuente.- Copiado de AASHTO Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, 1993.

**Módulo compuesto de reacción de la subrasante,  $K_{\infty} = 1200$  (PCI)**  
**Módulo compuesto de reacción de la subrasante,  $K_{\infty} = 800$  (PCI)**

Ajustaremos  $K_{\infty}$ , por la presencia de roca a menos de 3m de la superficie de la subrasante. Usaremos la gráfica de la figura 5.22.



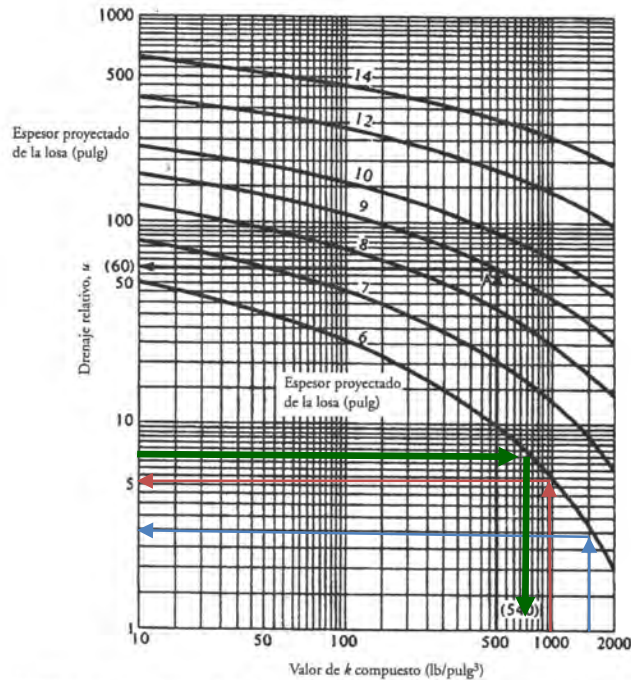
**Figura 5.22.- Gráfica para modificar el módulo de reacción de la subrasante considerando los efectos de cercanía entre la superficie y la fundación rígida a menos de 3m.**

Fuente.- Copiado de AASHTO Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, 1993.

**Módulo de reacción compuesto modificado de la subrasante  $k = 1500$  (PCI)**

**Módulo de reacción compuesto modificado de la subrasante  $k = 1000$  (PCI)**

Determinaremos el módulo efectivo de reacción de la subrasante, mediante la determinación de la suma de los daños. Usaremos la gráfica de la figura 5.23.



**Figura 5.23.- Gráfica para estimar el daño relativo de los pavimentos rígidos con base en el espesor de la losa y la capacidad de soporte subyacente.**

Fuente.- Copiado de AASHTO Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, 1993.

Daño relativo del pavimento  $U_r = 3$

Daño relativo del pavimento  $U_r = 5$

Suma de daño relativo del pavimento  $U_r = 8$

Valor del módulo efectivo de reacción  $K$  compuesto = 850 (PCI)

Ajustaremos el módulo efectivo de reacción de la subrasante, determinado anteriormente, para tener en cuenta la pérdida potencial de soporte de la sub base debido a la erosión, usando la gráfica de la figura 5.24.

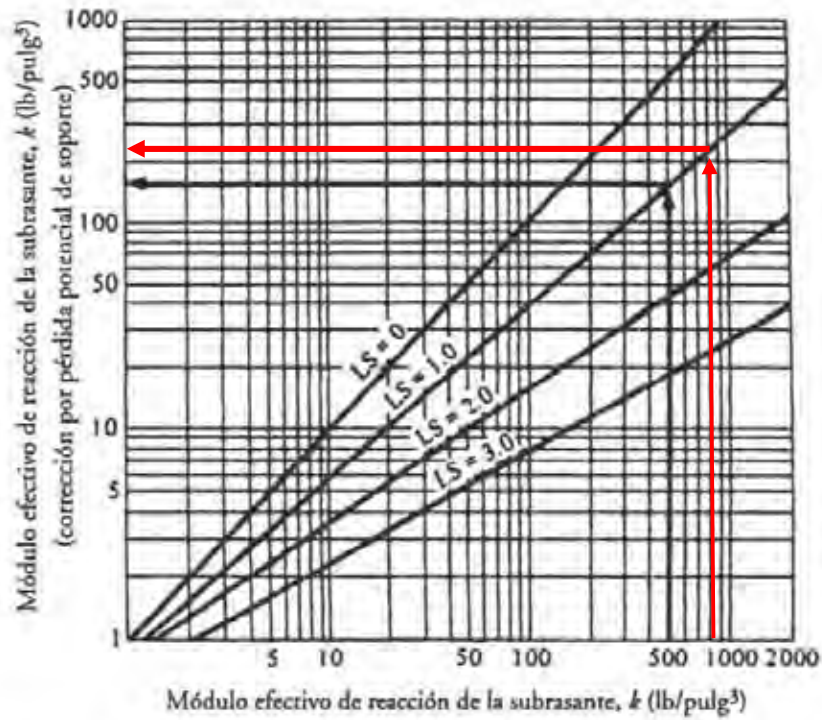


Figura 5.24.- Corrección del módulo efectivo de reacción de la subrasante por pérdida potencial de soporte de la su base.

Fuente.- Copiado de AASHTO Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, 1993.

**Módulo efectivo de reacción de la subrasante  $K_{final} = 230$  (PCI)**

Concentraremos los datos calculados de las diferentes variables en la tabla 5.25.

RESUMEN DE DATOS		
Nombre de la variable	Variable (Unidades)	Valor de la variable
Módulo efectivo de reacción del terreno	$K =$ (PCI)	230
Módulo de ruptura promedio del concreto	$S'_c =$ (PSI)	600
Coefficiente de transferencia de carga	$J =$ Adim.	3.1
Coefficiente de drenaje	$C_d =$ Adim.	0.7
Pérdida de durabilidad de diseño	$\Delta PSI =$ Adim.	2.5
Confiability	$R =$ (%)	95
Desviación estándar general	$S_0 =$ Adim.	0.4
Carga equivalente por eje sencillo	ESAL's = (kip $10^6$ )	0.25

Tabla 5.25.- Resumen del valor de las variables calculadas.

Con los datos de la tabla 5.25, usaremos el nomograma de la figura 5.26, para el cálculo del espesor de la losa.

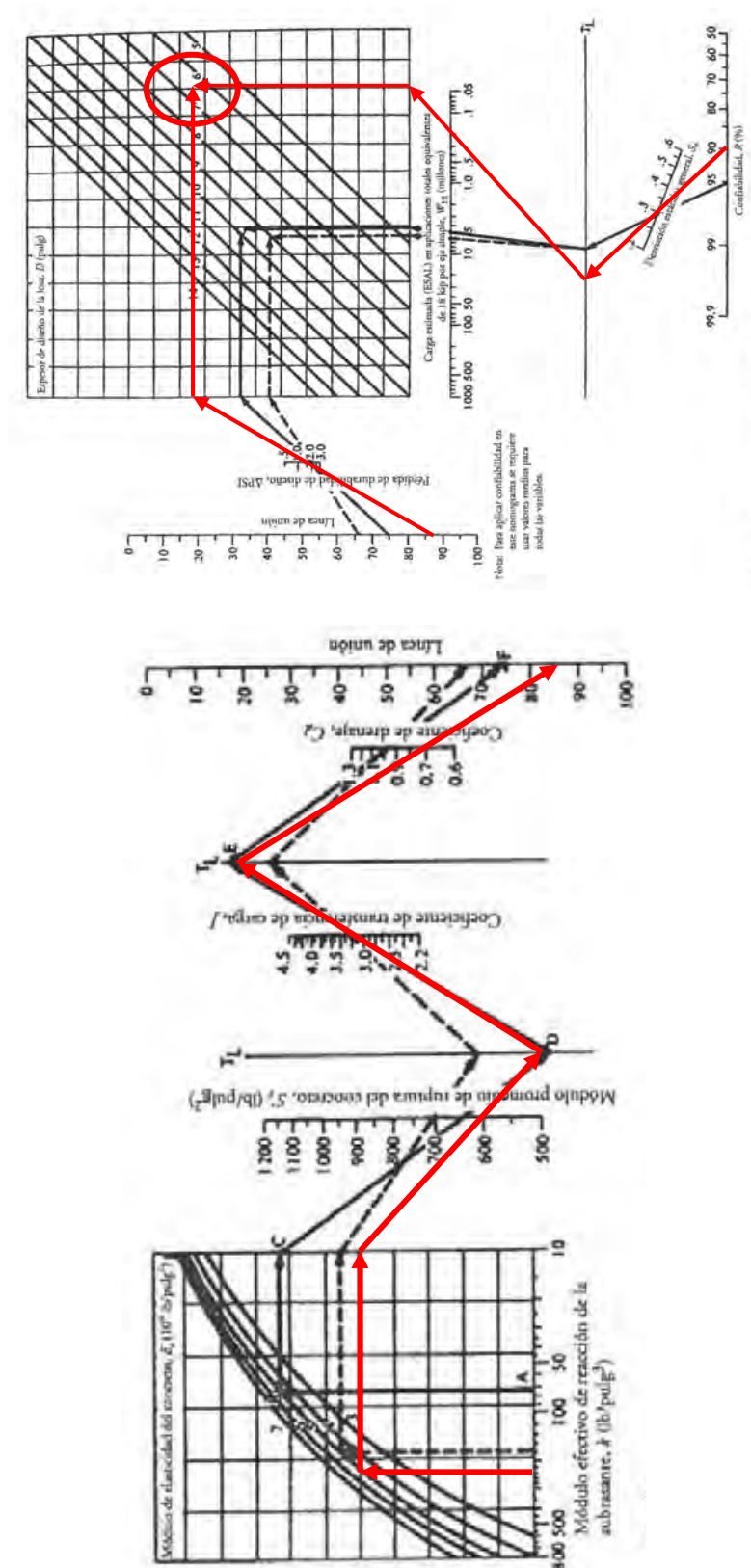


Figura 5.26.-Nomograma para diseñar pavimentos rígidos usando valores para cada variable.  
 Fuente.- Copiado de AASHTO Guide for design of pavement structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, 1993.

ESPELOR DE DISEÑO DE LA LOSA D = 6.5 (in)  
**ESPELOR FINAL DE LA LOSA PARA PAVIMENTO**  
 ESPELOR OBTENIDO DEL NOMOGRAMA DE LA FIGURA 5.26, D = 6 in



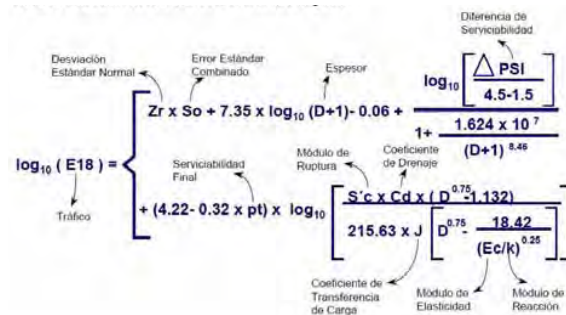
## DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTO RÍGIDO CON LA FÓRMULA DE AASHTO.

Con la ecuación 5.1, se puede calcular el espesor del pavimento (D) en pulgadas, usando un programa de cómputo el cual facilitará las iteraciones necesarias. Utilizaremos una hoja de cálculo de Excel para hacer las iteraciones requeridas, tabla 5.25 y 5.26.

### Iteración N° 1.

DISEÑO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO RÍGIDO

FÓRMULA:



- 1)  $\log_{10}(W18)$   
 $W18 = 251966.56$   
 $\log_{10}(W18) = 5.401342907$   
 $Zr = -1.282$   
 $S0 = 0.3$
- 2)  $Zr * S0 = -0.3846$   
 $7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06$   
 $D = 6 \text{ in}$   
 $(D + 1) = 7 \text{ in}$   
 $\log_{10}(D + 1) - 0.06 = 0.78509804$   
 $7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 = 5.770470594$
- 3)  $(\log_{10}(\Delta PSI / 3)) / (1 + (1.624 * 10^7 / (D + 1)^{8.46}))$   
 $\Delta PSI = 2.5$
- 4)  $(\log_{10}(\Delta PSI / 3)) / (1 + (1.624 * 10^7 / 7^{8.46})) = -0.036812214$   
 $(4.22 - 0.32 * Pt)$   
 $Pt = 2$
- 5)  $(4.22 - 0.32 * Pt) = 3.58$   
 $\log_{10}((Sc * Cd * (D^{0.75} - 1.132)) / (215.63 * J * (D^{0.75} - ((18.42 / (Ec / k)^{0.25}))))))$   
 $\log_{10}((Sc * Cd * (D^{0.75} - 1.132)))$   
 $Sc = 600 \text{ (PSI)}$   
 $Cd = 0.7$   
 $(Sc * Cd * (D^{0.75} - 1.132)) = 1134.696623$   
 $18.42 / (Ec / k)^{0.25}$   
 $Ec = 4180355.35 \text{ PSI}$   
 $k = 640 \text{ PSI} \quad 4.41 \text{ MPa/m}$   
 $18.42 / (Ec / k)^{0.25} = 2.048949805$   
 $215.63 * J * (D^{0.75} - ((18.42 / (Ec / k)^{0.25}))))$   
 $J = 3.1$   
 $215.63 * J * (D^{0.75} - ((18.42 / (Ec / k)^{0.25})))) = 1192.993965$
- 6)  $\log_{10}((Sc * Cd * (D^{0.75} - 1.132)) / (215.63 * J * (D^{0.75} - ((18.42 / (Ec / k)^{0.25})))))) = -0.021758485$

**IGUALDAD DERECHA      IGUALDAD IZQUIERDA**  
**5.40134291      =      5.27116301**

**Tabla 5.25.-Tabla de iteración, basándonos en la ecuación básica de la guía de diseño AASHTO de 1986, para espesores de pavimentos.**

**Iteración N° 2.**

$$\begin{aligned}
 &1) \quad \log_{10}(W_{18}) \\
 &\quad W_{18} = 251966.56 \\
 &\quad \log_{10}(W_{18}) = 5.401342907 \\
 &\quad Z_r = -1.282 \\
 &\quad S_0 = 0.3 \\
 &2) \quad Z_r * S_0 = -0.3846 \\
 &\quad 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 \\
 &\quad \mathbf{D = 6.449 \text{ in}} \\
 &\quad (D + 1) = 7.449 \text{ in} \\
 &\quad \log_{10}(D + 1) - 0.06 = 0.812097974 \\
 &\quad 7.35 * \log_{10}(D + 1) - 0.06 = 5.968920111 \\
 &\quad (\log_{10}(\Delta PSI/3)) / (1 + (1.624 * 10^7 / (D + 1)^{8.46})) \\
 &\quad \Delta PSI = 2.5 \\
 &4) \quad (\log_{10}(\Delta PSI / 3)) / (1 + (1.624 * 10^7 / 7^{8.46})) = -0.04712606 \\
 &\quad (4.22 - 0.32 * Pt) \\
 &\quad Pt = 2 \\
 &5) \quad (4.22 - 0.32 * Pt) = 3.58 \\
 &\quad \log_{10}((S_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)) / (215.63 * (J * (D^{0.75} - ((18.42 / (E_c / k)^{0.25})))))) \\
 &\quad \log_{10}((S_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132))) \\
 &\quad S_c = 600 \text{ (PSI)} \\
 &\quad C_d = 0.7 \\
 &\quad (S_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)) = 1224.245514 \\
 &\quad 18.42 / (E_c / k)^{0.25} \\
 &\quad E_c = 4180355.35 \text{ PSI} \\
 &\quad k = 640 \text{ PSI} \quad 4.41 \text{ MPa/m} \\
 &\quad 18.42 / (E_c / k)^{0.25} = 2.048949805 \\
 &\quad 215.63 * (J * (D^{0.75} - ((18.42 / (E_c / k)^{0.25})))) \\
 &\quad J = 3.1 \\
 &\quad 215.63 * (J * (D^{0.75} - ((18.42 / (E_c / k)^{0.25})))) = 1335.51593 \\
 &6) \quad \log_{10}((S_c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)) / (215.63 * (J * (D^{0.75} - ((18.42 / (E_c / k)^{0.25})))))) = \\
 &\quad -0.037780551 \\
 &\quad \mathbf{IGUALDAD DERECHA \quad IGUALDAD IZQUIERDA} \\
 &\quad \mathbf{5.40134291 \quad = \quad 5.40193968}
 \end{aligned}$$

**Tabla 5.26.-Tabla de iteración, basándonos en la ecuación básica de la guía de diseño AASHTO de 1986, para espesores de pavimentos.**

**ESPESOR FINAL DE LA LOSA PARA PAVIMENTO  
ESPESOR OBTENIDO DE LA ITERACIÓN DE LA FÓRMULA 5.1, D = 6.4 in**

**Con la iteración de la fórmula comprobamos, que el espesor de losa obtenido con el nomograma de la figura 5.26, es el correcto para nuestro diseño de carretera con concreto hidráulico, demostrando que 0.15m (6 in) es el espesor final de diseño.**

**BIBLIOGRAFÍA.**

- 1) Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras*, 1991
- 2) American Association of State Highway and Transportation Officials, *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 1990
- 3) Institute of Transportation Engineers, *Guidelines for Urban Major Street Design*, 1984 National Cooperative Highway Research Program Report No. 279 - *Intersection Channelization Design Guide*, 1985
- 4) Fondo Nacional de Transporte Urbano (Venezuela), *Manual de Administración de Tránsito*; Relación Preliminar, Manual Técnico de Ingeniería de Tránsito (enero 93) y Manual Técnico de Diseño de Sistema Vial Urbano (enero 93)
- 5) AASHTO (1993). *Guide for Design of Pavement Structures* [Guía para el diseño de estructuras pavimentadas] (1993), 589 Págs.
- 6) Hammitt, G. M. (1970). *Thickness Requirement for Unsurfaced Roads and Airfields, Bare Base Support*, Project 3782-65. [Espesor requerido para carreteras y pistas de aterrizaje no pavimentados, soporte de base descubierta, Proyecto 3782-65]. Informe técnico S-70-5, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss., 135 Págs.
- 7) Huang, Y.H. (1993). *Pavement Analysis and Design* [Análisis y diseño de pavimentos]. Prentice Hall, 805 Págs.
- 8) Milligan, G.W.E., Jewell, R.A., Houlsby, G.T. y Burd, H.J. (1989a). *A New Approach to the Design of Unpaved Roads .Part I*. [Un nuevo enfoque para el diseño de carreteras no pavimentadas. Parte I]. Ground Engineering, Abril, 25-29.
- 9) Milligan, G.W.E., Jewell, R.A., Houlsby, G.T. y Burd, H.J. (1989b). *A New Approach to the Design of Unpaved Roads . Part II*. [Un nuevo enfoque para el diseño de carreteras no pavimentadas . Parte II]. Ground Engineering, Noviembre, 37-42.
- 10) Yoder, E.J. y Witczak, M.W. (1975). *Principles of Pavement Design*, Second Edition [Principios de diseño de pavimento, Segunda Edición], John Wiley & Sons, Inc., 711 Págs.
- 11) Wright Paul H., Paquette Radnor J (1993). *Ingeniería de Carreteras*, Primera Edición, Editorial Limusa S.A. de CV., 865 Págs.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

En la época actual, la construcción de todo tipo de obra civil demanda un buen control de calidad en todas sus etapas; limpieza, trazo, nivelación, pre diseño, diseño, construcción, operación y abandono. Lo que implica el conocimiento de las propiedades de los distintos materiales involucrados, las técnicas y el comportamiento del suelo ante las diferentes solicitudes de carga que va a tener que soportar no solo en los inicios de su operación si no a lo largo de su vida útil.

Los suelos son el material de construcción más antiguo y complejo, debido a su gran diversidad y a sus características mecánicas las cuales se ven afectadas directamente por factores externos, presentes en el lugar donde se localiza la obra.

La mecánica de suelos, es la ciencia mediante la cual se integran de forma sistemática y organizada los estudios que nos permiten obtener datos firmes y confiables del suelo. Estos datos proveen al ingeniero civil una concepción razonablemente exacta de las propiedades físicas del suelo, para ser consideradas en las distintas etapas de un proyecto.

**EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**, es el medio por el cual se obtiene este conjunto de datos. En una primera fase se llevo a cabo la clasificación, la cual nos ayudo a definir el problema que se presentaba, y a partir del cual se definió las pruebas requeridas para determinar las características de deformación y resistencia a los esfuerzos del suelo (Tabla 6.1). Es responsabilidad del ingeniero civil, el estudio de dicho comportamiento así como la interacción del suelo con cualquier tipo de estructura.

DATOS PARA LA CLASIFICACIÓN SUCS						
ESTRATO	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	L.L	I.P.	CLAS. SUCS
1	1.21	52.72	46.06	29.25	11.74	SC
2	0.18	71.78	28.05	30.12	10.62	SC
3	0	12.73	87.26	73.08	38.89	CH
4	0	15.98	84.02	50.74	20.30	MH

Tabla 6.1.- Resumen de los límites y granulometría en los diferentes estratos.

Nota.- Los cálculos para la tabla 19 se encuentran en el anexo A.

La ingeniería garantiza la fuerza y durabilidad en una estructura. Establece cualitativa y cuantitativamente la capacidad de servicio de una construcción. Esta serie de requisitos involucran, principalmente, el cálculo de la resistencia que tiene el suelo (Fórmula 6.1), las propiedades y el comportamiento del material usado en el Conjunto Habitacional San Bernardino.

$$q_R = C_U * N_C * F_R + P_V = 1.65 \left( \frac{kg}{cm^2} \right) * 7.801 * 0.70 + 0.3663 \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$q_R = 9.376 \left( \frac{kg}{cm^2} \right) = 93.76 \left( \frac{Ton}{m^2} \right)$$

**Fórmula 6.1.- Capacidad de carga del suelo en San Bernardino.**

Actualmente se cuenta con programas, modelos y métodos de investigación que están a la vanguardia del desarrollo científico y tecnológico de un mundo cada vez más globalizado, para el cual la velocidad en la solución de un problema es lo más importante, por ello la aplicación de software especializado en campos de la ingeniería

es cada vez mayor, uno de ellos se refiere al diseño estructural del Conjunto Habitacional y el otro el diseño estructural de pavimentos, entendido como la capacidad de cálculo de las fuerzas actuantes (solicitaciones) y las fuerzas resistentes (suelo).

A la par del crecimiento demográfico, la urbanización de los espacios es cada vez más numerosa, más rápida y más innovadora, para dar respuesta a las múltiples necesidades que la población de hoy demanda, las cuales tienen que ser cubiertas lo antes posible, empleando el menor costo y generando el mayor confort para un nivel de vida digno, exige el uso de recursos más racionales, técnicas más evolucionadas, diseños más creativos y una armonía con el medio ambiente para dejarlo igual o en mejor condición de cómo lo encontramos.

El Plan Maestro Estatal de Desarrollo que señala el respeto por el medio ambiente como una actividad primordial, considera a San Bernardino Tlaxcalancingo una zona particularmente apta para este tipo de proyecto, que brinda la oportunidad de convivencia con la naturaleza y el medio ambiente; capitalizando su potencial en la zona, coadyuvando a la protección del medio ambiente y la ecología del área, de tal forma que se minimicen los deterioros ambientales durante el proceso de construcción del Conjunto Habitacional.

Por otra parte, en cuanto a los suministros de los servicios básicos en el área del proyecto no representa un problema mayor, debido a la proximidad de la Capital del Estado, ya que cuenta con abastecimientos permanentes de productos alimenticios y servicios de toda índole. Los servicios públicos básicos existentes en la región son suficientes para satisfacer las demandas del proyecto durante su vida útil, además, existen cuatro tipos de vías de acceso al sitio del proyecto.

Del análisis de las variables del sistema ambiental actual y de las actividades del proyecto, se concluye que el grado de afectación a producir se puede mitigar y compensarse mediante la correcta ejecución de las medidas descritas en esta manifestación y en la normatividad ambiental aplicable.

La presente manifestación de impacto ambiental se desarrolló empleando las mejores técnicas, métodos e información especializada disponibles para lograr una valoración adecuada de los impactos que se producirán sobre los componentes ambientales del sistema.

Debe considerarse que cualquier actividad que se realice en un sistema natural es susceptible de provocar el deterioro de las condiciones naturales del paisaje y lo importante es minimizar la magnitud de los diversos impactos producidos y evitar que éstos se conviertan en impactos sinérgicos significativos. Por tanto, es necesario que se realicen en tiempo y forma las medidas de prevención, mitigación y compensación de los impactos.

El proyecto se considera ambientalmente procedente en consideración a su ubicación, niveles de impacto existentes y características actuales del paisaje; condicionado a la aplicación de medidas preventivas en un diseño amigable con la naturaleza y la mitigación o compensación de los impactos generados en cada etapa del proyecto habitacional. De acuerdo con la matriz de Leopold modificada no existen alteraciones al medio con daños significativos, y todos los impactos son mitigables. Por lo anterior expuesto el proyecto del Conjunto Habitacional San Bernardino **ES AMBIENTALMENTE VIABLE.**

Dadas las nuevas exigencias, el hombre ha requerido de técnicas y materiales idóneos para cumplir con las necesidades de las vías de comunicación del mundo contemporáneo. Gracias a las infinitas posibilidades que ofrece en cuanto a diseño y utilidad -entre distintos materiales- el concreto es el que ha permitido soluciones más viables.

La clasificación tradicional de los pavimentos distingue dos tipos principales: los flexibles o asfálticos, y los rígidos o de concreto hidráulico. En el caso particular de estos últimos, el pavimento propiamente dicho está constituido por losa, apoyada sobre una sub base.

El tipo de suelo determina en gran medida la estructura del pavimento a construir. Así, en muchos de los casos, por condiciones de trazo geométrico, topografía y calidad de los suelos de apoyo por donde pasará un camino, es necesario colocar una capa de transición sobre la cual se construyan las losas de concreto. Esta capa deberá contar con mejores características de resistencia que las de los suelos existentes en la zona. La subrasante es la capa de cimentación de nuestra losa de concreto hidráulico, que será según los estudios de mecánica de suelos el material encontrado en el estrato dos, a una profundidad de aproximadamente 0.60m, la cual será reacondicionada con mortero para mejorar sus propiedades y compactada de acuerdo a especificaciones del proyecto (Figura 6.1).

### SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO RÍGIDO

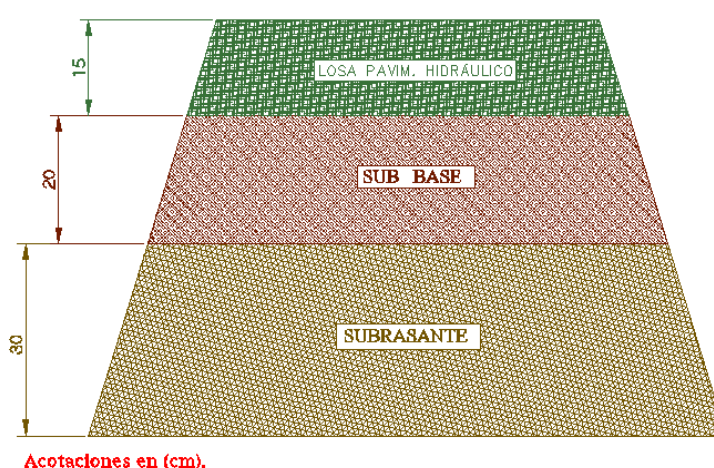


Figura 6.1.- Sección transversal del pavimento rígido.

Fuente.- Elaboración propia.

En la época actual, **PAVIMENTO RÍGIDO** es sinónimo de servicio y durabilidad. Tanto en los caminos rurales como en las grandes pistas para la aviación comercial, o en la enorme diversidad de pisos y plataformas, el uso del concreto se ha extendido por casi todo el mundo proporcionando seguridad, comodidad y economía.

Debe reconocerse que el problema del diseño de los pavimentos flexibles y rígidos no está hoy teóricamente resuelto de manera satisfactoria. Los métodos que utilizamos son los dos más ampliamente difundidos, el de la Asociación de Cemento Portland (Portland Cement Association, PCA) y el método de la Asociación Americana de Oficiales del Estado en Carreteras y Transportes (AASHTO). En las tecnologías de la ingeniería civil, la falta de desarrollos teóricos confiables ha de suplirse en dos ámbitos distintos: la experimentación en el laboratorio y la instrumentación de prototipos para obtener directamente normas de comportamiento. Ambos procedimientos de adquisición de información válida son ampliamente utilizados en la actualidad, tanto en México como en el resto del mundo. Ambos han rendido frutos satisfactorios, pero están sujetos a la compleja problemática del comportamiento de los pavimentos, dependiente de un número de factores particulares de cada caso, todos muy influyentes; de carácter climático, de naturaleza de materiales, de topografía, de geología, de carácter del

tránsito, etc., y están sujetos también al hecho básico de la carencia de un esquema teórico que permita considerar ordenadamente todos esos factores.

La información experimental obtenida hasta la fecha se ha utilizado fundamentalmente de tres formas. Se obtienen parámetros de comportamiento de los materiales, que introducidos en alguna relación previamente obtenida, que a su vez contenga alguna ecuación, permitan efectuar cálculos útiles para resolución de una pregunta específica. Una segunda utilización estriba en ir obteniendo un sentimiento experimental variado en relación a los fenómenos estudiados, con la finalidad de ir obteniendo conclusiones de carácter cada vez más general. Existe además una tercera manera de utilizar la información generada en el laboratorio, que es particularmente frecuente en la actual tecnología de pavimentos. Se trata de correlacionar la respuesta experimental de un material manipulado con una tecnología de laboratorio, con el comportamiento observado de estructuras construidas en las obras reales, de manera que un cierto valor específico obtenido al aplicar la tecnología de laboratorio se pretende relacionar con un cierto nivel de comportamiento de una obra o parte de ella en el campo de la realidad, tratando inclusive de establecer correspondencia entre la escala de esos valores en el laboratorio y en la obra.

Un ejemplo de este proceder se tiene, en el caso de la prueba de Valor Relativo de Soporte, en la que una maniobra especial de penetración ejecutada en el laboratorio por un pistón presionado contra una muestra de suelo, se correlaciona con el futuro comportamiento de una capa de ese mismo suelo dispuesta en una carretera. Correlaciones de este mismo estilo se tienen en la utilización del estabilómetro de Hevem, de ciertas modalidades de pruebas triaxiales, etc.

En otros casos la correlación entre la manipulación de laboratorio y el comportamiento del material se refiere a otros aspectos; por ejemplo en las pruebas del índice de plasticidad (límite líquido, límite plástico) se correlaciona la correspondiente manipulación de laboratorio con propiedades de comportamiento más generales, como la compresibilidad u otras. Sin saber que las propiedades del material cambia con el simple hecho de ser extraído y se toman como representativos de todo un suelo o estrato de suelo, pero de alguna manera tiene que empezar una investigación para conocer la constitución de los suelos, yendo más allá de su naturaleza, encontrando el comportamiento ante los diferentes efectos climáticos a los que se ve sometido durante el transcurso de su vida útil. Aunque la respuesta de los materiales y el comportamiento de los suelos de apoyo no pueden pronosticarse con precisión, las cargas de tráfico real, las condiciones climáticas locales, la temperatura y la interacción de los diversos factores de deterioro son variantes que deben considerarse al proyectar la construcción de un camino.

Debe mencionarse también que en este momento existe a nivel mundial una profunda preocupación, que se está traduciendo en esfuerzos concertados de investigación internacional, a todo lo cual México no es indiferente, por encontrar tecnologías de laboratorio que traten de informar sobre el comportamiento de los materiales en relación directa a propiedades fundamentales o a circunstancias específicas que afectan a los pavimentos reales. Estos esfuerzos están haciendo aparecer tecnologías de laboratorio generadas por procedimientos más razonables, pero aún no del todo confrontados con la realidad de las obras, por lo que es difícil justipreciar cual va a ser el nivel de su éxito. Lo que parece fuera de duda es que se observa una inquietud de los investigadores en el campo de los pavimentos, que produce una actividad creciente que no dejará de generar resultados favorables.

## ANEXO A

### RELACIÓN VOLUMÉTRICAS Y GRAVIMÉTRICAS.

#### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL Y PESO VOLUMÉTRICO

##### DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL DE LAS MUESTRAS

Muestra	Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo (gr.)	Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	Peso del Agua (gr.)	Peso de la Cápsula (gr.)	Peso del Suelo Seco (gr.)	Contenido de Agua (%W)
Estrato 1	214.15	203.2	11.3	91.5	111.7	10.11638317
Estrato 2	203	181.4	21.6	101.8	79.6	27.13567839
Estrato 3	210	171.3	38.7	94.3	77	50.25974026
Estrato 4	218.3	187	31.3	101.8	85.2	36.7370892

##### DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO DE LAS MUESTRAS

Material	Diámetro (m)	Altura (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)	Peso Volumétrico (Ton/m <sup>3</sup> )
Estrato 1	0.0383	0.083	9.56239E-05	0.135	1.41178067
Estrato 2	0.0383	0.082	9.44718E-05	0.132	1.397242007
Estrato 3	0.0383	0.085	9.79281E-05	0.168	1.715544197
Estrato 4	0.0383	0.083	9.56239E-05	0.143	1.495441747

### PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS. EXPANSIÓN VOLÚMETRICA.

#### DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE SÓLIDOS

Material	Estrato 3 CH	Estrato 4 MH
W <sub>fw</sub> (gr.)	725	727.29
Temperatura (°C)	21	21
W <sub>fw</sub> (gr.)	675.8	675.8
W <sub>s</sub> (gr.)	84.12	80.401
S <sub>s</sub>	2.408934708	2.780983017

W<sub>fsw</sub> = Peso del matraz + agua + muestra del suelo

W<sub>fw</sub> = Peso el matraz + agua

W<sub>s</sub> = Peso del suelo seco

S<sub>s</sub> = Peso específico relativo de sólidos

$$S_s = \left( \frac{W_s}{(W_s + W_{fw}) - W_{fw}} \right)$$

#### PRUEBA DE EXPANSIÓN VOLÚMETRICA ESTRATO 3

Material	
Cantidad (gr.)	5348.1
Humedad Óptima (%)	20
Cantidad de Agua (ml)	1156
Altura del Molde (cm)	17.5
Diámetro (cm)	15.4
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	3259.64562
Nota.- El espécimen fue	

Tiempo (min)	Lectura (cm)	Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	% Expansión Volumétrica.
0	1.16	3259.64562	0
1440	1.598	3341.229893	2.502857143
2880	1.719	3363.768014	3.194285714
4320	1.89	3395.619409	4.171428571
5760	1.985	3413.314628	4.714285714



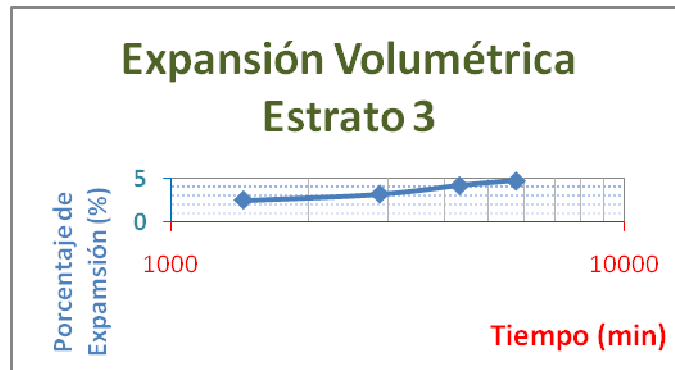


Figura A.1.- Expansión volumétrica estrato 3.

LÍMITE DE CONTRACCIÓN.

EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE DE CONTRACCIÓN

PRUEBA DE EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA ESTRATO 4

Estrato	Volumen Inicial V <sub>1</sub> (cm <sup>3</sup> )	Peso Inicial W <sub>1</sub> (gr.)	Volumen Seco V <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	Peso Seco W <sub>s</sub> (gr.)	Límite de Contracción (%L.C.)
3	48.89	80.19	31.21	56.31	11.01047771
4	48.89	84.54	38.15	58.76	25.59564329

Material	
Cantidad (gr.)	5780
Humedad Óptima (%)	20
Cantidad de Agua (ml)	1156
Altura del Molde (cm)	17.5
Diámetro (cm)	15.4
Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	3259.64562
Nota.- El espécimen fue sumergido en agua durante un periodo cuatro días	

$$\%LC = \left( \frac{W_1 - W_s - (V_1 - V_2) * \gamma_w}{W_s} \right) * 100$$

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE VACÍOS

Tiempo (min)	Lectura (cm)	Volumen de la Muestra (cm <sup>3</sup> )	% Expansión Volumétrica.
0	1.187	3259.64562	0
1440	1.397	3298.761367	1.2
2880	1.509	3319.623099	1.84
4320	1.781	3370.287306	3.394285714
5760	1.828	3379.041782	3.662857143

Estrato	Volumen de la Muestra V <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> )	Volumen Seco V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	Volumen Seco V <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	Relación de vacíos e <sub>v</sub>
3	9.79281E-05	31.21	0.00003121	2.137715781
4	9.56239E-05	38.15	0.00003815	1.506524737

$$e = (V_v / V_s) ; V_v = V_m - V_s$$

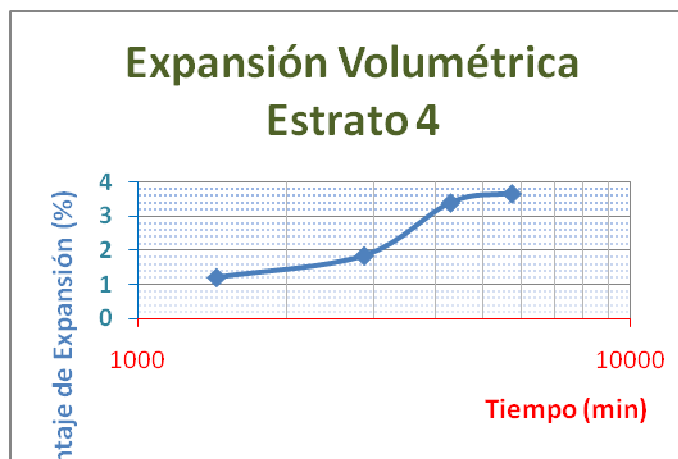
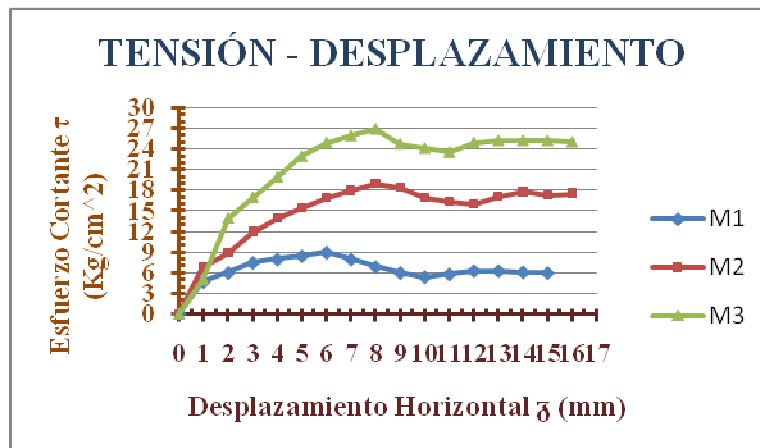


Figura A.2.- Expansión volumétrica estrato 4.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA LAS 3 MUESTRAS**

DESPLAZA	ESFUERZOS		
	M1	M2	M3
0	0	0	0
1	4.7	6.8	5
2	6	9	14
3	7.5	12	17
4	8	14	20
5	8.5	15.5	23
6	9	17	25
7	8	18	26
8	6.9	19	27
9	6	18.4	24.8
10	5.4	17	24.2
11	5.8	16.4	23.6
12	6.3	16	25
13	6.3	17.1	25.3
14	6.1	17.8	25.3
15	6	17.4	25.3
16		17.6	25.1

**Tabla A.1.- Datos obtenidos de las tres muestras ensayadas.**



**Figura A.3.- Gráfica de la tabla A.1**

## ANEXO B

### FACTORES DE CARGA PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples,  $P_t = 2,5$**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.012	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	0.039	0.035	0.033	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032	0.032
10	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.080	0.080	0.080	0.080
12	0.203	0.189	0.181	0.176	0.175	0.174	0.174	0.173	0.173
14	0.376	0.360	0.347	0.341	0.338	0.337	0.336	0.336	0.336
16	0.634	0.623	0.610	0.604	0.601	0.599	0.599	0.599	0.598
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59
22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41
24	3.16	3.10	3.22	3.36	3.45	3.50	3.53	3.54	3.55
26	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95	5.01	5.04	5.05
28	6.05	5.76	5.92	6.29	6.61	6.81	6.92	6.98	7.01
30	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14	9.35	9.46	9.52
32	10.8	10.1	10.1	10.7	11.4	12.0	12.3	12.6	12.7
34	14.1	13.0	12.9	13.6	14.6	15.4	16.0	16.4	16.5
36	18.2	16.7	16.4	17.1	18.3	19.5	20.4	21.0	21.3
38	23.1	21.1	20.6	21.3	22.7	24.3	25.6	26.4	27.0
40	29.1	26.5	25.7	26.3	27.9	29.9	31.6	32.9	33.7
42	36.2	32.9	31.7	32.2	34.0	36.3	38.7	40.4	41.6
44	44.6	40.4	38.8	39.2	41.0	43.8	46.7	49.1	50.8
46	54.5	49.3	47.1	47.3	49.2	52.3	55.9	59.0	61.4
48	66.1	59.7	56.9	56.8	58.7	62.1	66.3	70.3	73.4
50	79.4	71.7	68.2	67.8	69.6	73.3	78.1	83.0	87.1

**Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes tándem,  $P_t = 2,5$**

Carga p/eje (kips)	Espesor de losa D (en pulgadas)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
4	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
8	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
10	0.015	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
12	0.031	0.028	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
14	0.057	0.052	0.049	0.048	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
16	0.097	0.089	0.084	0.082	0.081	0.081	0.080	0.080	0.080
18	0.155	0.143	0.136	0.133	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
20	0.234	0.220	0.211	0.206	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203
22	0.340	0.325	0.313	0.308	0.305	0.304	0.303	0.303	0.303
24	0.475	0.462	0.450	0.444	0.441	0.440	0.439	0.439	0.439
26	0.644	0.637	0.627	0.622	0.620	0.619	0.618	0.618	0.618
28	0.855	0.854	0.852	0.850	0.850	0.850	0.849	0.849	0.849
30	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14
32	1.43	1.44	1.47	1.49	1.50	1.51	1.51	1.51	1.51
34	1.82	1.82	1.87	1.92	1.95	1.96	1.97	1.97	1.97
36	2.29	2.27	2.35	2.43	2.48	2.51	2.52	2.52	2.53
38	2.85	2.80	2.91	3.03	3.12	3.16	3.18	3.20	3.20
40	3.52	3.42	3.55	3.74	3.87	3.94	3.98	4.00	4.01
42	4.32	4.16	4.30	4.55	4.74	4.86	4.91	4.95	4.96
44	5.26	5.01	5.16	5.48	5.75	5.92	6.01	6.06	6.09
46	6.36	6.01	6.14	6.53	6.90	7.14	7.28	7.36	7.40
48	7.64	7.16	7.27	7.73	8.21	8.55	8.75	8.86	8.92
50	9.11	8.50	8.55	9.07	9.68	10.14	10.42	10.58	10.66
52	10.8	10.0	10.0	10.6	11.3	11.9	12.3	12.5	12.7
54	12.8	11.8	11.7	12.3	13.2	13.9	14.5	14.8	14.9
56	15.0	13.8	13.6	14.2	15.2	16.2	16.8	17.3	17.5
58	17.5	16.0	15.7	16.3	17.5	18.6	19.5	20.1	20.4
60	20.3	18.5	18.1	18.7	20.0	21.4	22.5	23.2	23.6
62	23.5	21.4	20.8	21.4	22.8	24.4	25.7	26.7	27.3
64	27.0	24.6	23.8	24.4	25.8	27.7	29.3	30.5	31.3
66	31.0	28.1	27.1	27.6	29.2	31.3	33.2	34.7	35.7
68	35.4	32.1	30.9	31.3	32.9	35.2	37.5	39.3	40.5
70	40.3	36.5	35.0	35.3	37.0	39.5	42.1	44.3	45.9
72	45.7	41.4	39.6	39.8	41.5	44.2	47.2	49.8	51.7
74	51.7	46.7	44.6	44.7	46.4	49.3	52.7	55.7	58.0
76	58.3	52.6	50.2	50.1	51.8	54.9	58.6	62.1	64.8
78	65.5	59.1	56.3	56.1	57.7	60.9	65.0	69.0	72.3
80	73.4	66.2	62.9	62.5	64.2	67.5	71.9	76.4	80.2
82	82.0	73.9	70.2	69.6	71.2	74.7	79.4	84.4	88.8
84	91.4	82.4	78.1	77.3	78.9	82.4	87.4	93.0	98.1
86	102.	92.	87.	86.	87.	91.	96.	102.	108.
88	113.	102.	96.	95.	96.	100.	105.	112.	119.
90	125.	112.	106.	105.	106.	110.	115.	123.	130.

### CLASIFICACIÓN DE EJES DE ACUERDO A LA SCT.

**Peso por eje** Reducir el peso por eje que genera menor daño a pavimentos al bajar el peso por eje, para cada tipo de camino.



EJE	LLANTAS	TIPO DE CARRETERA								
		ET y A		B		C		D		
		VIG.	NVA.	VIG.	NVA.	VIG.	NVA.	VIG.	NVA.	
	SENCILL O	2	6.50	6.50	6.50	6.00 -0.50	5.50	5.50	5.00	5.00
	SENCILL O	4	10.00	10.00	10.00	9.50 -0.50	9.00	8.00	8.00	7.00 -1.00
	MOTRIZ SENCILL O	4	11.00	11.00	11.00	10.50 -0.50	10.00	9.00 -1.00	9.00	8.00 -1.00
	MOTRIZ DOBLE	6	15.50	15.00 -0.50	15.50	13.00 -2.50	14.00	11.50 -2.50	12.50	11.0 -1.50
	DOBLE O TANDEM	8	18.00	17.00 -1.00	18.00	15.00 -3.00	16.00	13.50 -2.50	14.00	12.00 -2.00
	MOTRIZ DOBLE	8	19.50	18.00 -1.50	19.50	17.00 -2.50	17.50	14.50 -3.00	15.50	13.50 -2.00
	TRIPLE O TRIDEM	12	22.50	23.50 -1.00	22.50	22.50	20.00	20.00	18.00	NA -16.0

### PESO DE VEHÍCULOS DE CARGA DE ACUERDO A LA SCT.

**Peso Bruto Vehicular (PBV).** Reducción del PBV se da en función de la capacidad de los pavimentos (peso por eje) y puentes (formula puente) por cada tipo de carretera



TIPO DE VEHICULO	TIPO DE CARRETERA							
	ET y A		B		C		D	
	VIG.	NVA. PROP.	VIG.	NVA. PROP.	VIG.	NVA. PROP.	VIG.	NVA. PROP.
	26.00	24.50 -1.50	26.00	23.00 -3.00	23.00	20.00 -3.00	20.50	18.50 -2.00
	54.00	51.50 -2.50	54.00	47.50 -6.50	48.00	0.00 48.00	NA	NA
	44.00	41.50 -2.50	44.00	38.00 -6.00	39.00	33.50 -5.50	NA	NA
	56.00	54.50 -1.50	56.00	51.50 -4.50	50.00	0.00 -50.00	NA	NA
	66.50	66.50	66.50	66.00 -0.50	58.00	0.00 -58.00	NA	NA

## VEHÍCULOS DE PROYECTO.

## Propuesta de vehículos de proyecto

CARACTERÍSTICAS	VEHÍCULO DE PROYECTO							
	DE-335	DE-620	DE-750	DE-760	DE-1890	DE-1980	DE-2545	DE-2970
Longitud total del vehículo (L), cm	580	1200	1360	1209	2088	2241	2740	3166
Distancia entre ejes extremos del vehículo (DE), cm	335	620	749	762	1890	1982	2545	2971
Vuelo delantero (VD), cm	92	236	240	127	122	122	119	119
Vuelo Trasero (VT), cm	153	344	371	320	76	137	76	76
Ancho total del vehículo (A), cm	214	255	260	244	259	259	259	259
Entrevía del vehículo (EV), cm	183	230	230	244	244	244	244	244
Longitud del remolque (Lr), cm	-	-	-	-	1463	1615	1006	1219
Altura total del vehículo (Ht), cm	167	354	380	410	410	410	410	410
Altura de los ojos del conductor (Hc), cm	107	212	232	250	250	250	250	250
Altura de los faros delanteros (Hf), cm	61	81	110	112	112	112	112	112
Altura de las luces posteriores (Hi), cm	61	154	140	100	100	100	100	100
Angulo de la desviación del haz de los faros	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	1°
Radio de giro mínimo, cm	732	1267	1359	1572	1372	1372	1372	1572
Relación Peso/Potencia, kg/HP	15	180	210	210	210	210	210	210
Vehículos representados por el proyecto	Vehículos ligeros	Autobuses		Camión unitario de carga	Combinación de tractor con semirremolque		Combinación de tractor con dos remolques	

## DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA.

## Comparativa de las distancias de visibilidad de parada (DVP) en la normativa mexicana vigente contra los valores recomendados

VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	DVP en la normativa vigente (m)	DVP recomendados (m)	Valores requeridos por los vehículos de carga con frenos convencionales (m)
30	30	30	40
40	40	45	65
50	55	65	90
60	75	85	125
70	95	110	160
80	115	140	205
90	135	170	245
100	155	205	290
110	175	240	340