

148
23/11/85

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**EL SUBSUELO Y LA PRACTICA DE
CIMENTACIONES EN LA CIUDAD DE
NOGALES, SONORA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
Alfredo Pérez Mejía



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

EL SUBSUELO Y LA PRACTICA DE CIMENTACIONES EN LA CIUDAD
DE NOGALES, SONORA

CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCION	1
2 DESCRIPCION DEL LUGAR	2
2.1 <u>Localización y clima</u>	3
2.2 <u>Topografía e Hidrografía</u>	5
3 GEOLOGIA	11
3.1 <u>Fisiografía</u>	11
3.2 <u>Geología</u>	11
3.3 <u>Litología</u>	12
4 ZONIFICACION DEL SUBSUELO	16
4.1 <u>Zona I. Aluviones y rellenos artificiales</u>	17
4.2 <u>Zona II. Lomas</u>	19
4.3 <u>Zona III. Afloramiento de Roca</u>	21
4.4 <u>Manto freático</u>	23
5 INGENIERIA DE CIMENTACIONES	25
5.1 <u>Práctica común</u>	25
5.2 <u>Estudios de Mecánica de Suelos</u>	29
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38

FOTOGRAFIAS	43-47
BIBLIOGRAFIA Y CREDITOS	48

CAPITULO 1

INTRODUCCION

En este trabajo se presenta un panorama general de las características del subsuelo, de la aplicación de la ingeniería de cimentaciones en la localidad y el comportamiento que éstas han presentado.

El desarrollo del trabajo se apoya básicamente en la información recabada en el lugar, complementándose con los datos de los pocos estudios de mecánica de suelos que fue posible reunir y la información general incluida en publicaciones existentes.

En los capítulos siguientes se presenta información general del sitio. Se describe la Topografía, Hidrografía y Geología de la localidad, aspectos que imponen condiciones especiales al criterio de las obras civiles. También se propone una zonificación de suelos de la ciudad, en base a los estudios que han realizado y se comenta brevemente la aplicación que hace la práctica local en el diseño y construcción de cimentaciones, corte, rellenos y muros de contención. Presentándose un resumen de los estudios de mecánica de suelos realizados en la ciudad de Nogales.

Finalmente, las conclusiones del trabajo y algunas recomendaciones que se consideran pertinentes se incluyen en el último capítulo.

CAPITULO 2

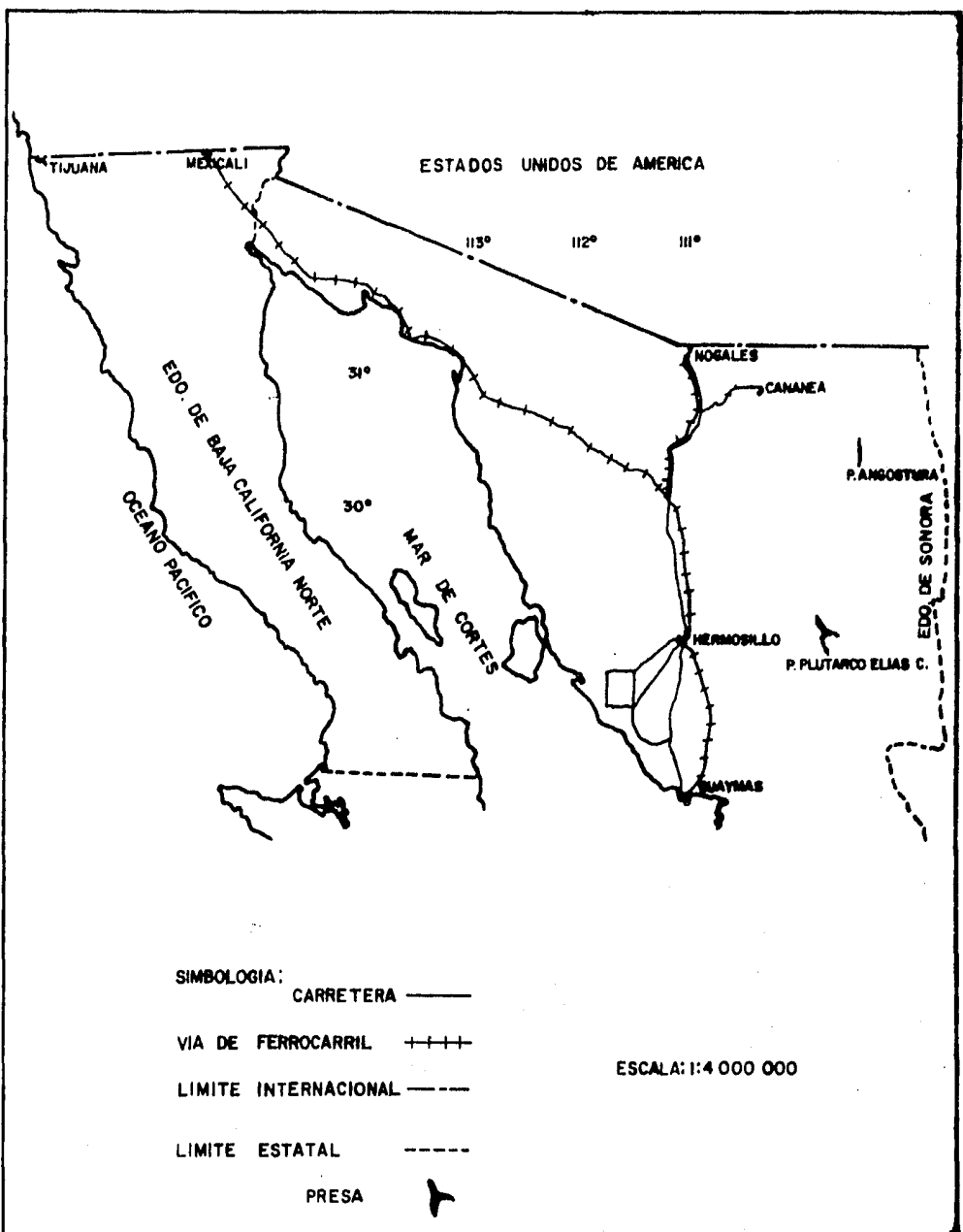
DESCRIPCION DEL LUGAR

2.1 Localización y Clima. La ciudad de Nogales se localiza al norte del estado de Sonora, en la frontera con Estados Unidos de Norteamérica. Su posición geográfica está definida por el paralelo $31^{\circ} 20'$ de latitud norte y el meridiano $110^{\circ} 57'$ de longitud oeste, la parte céntrica de la ciudad tiene una altura media de 1180 msnm.

El clima de la región es del tipo semiseco templado, con temperatura media anual de 18° C, máxima de 41° C y mínima de $- 10^{\circ}$ C.

La precipitación media anual es de 450 mm, con valores extremos de 285 y 810 mm.

Nogales se comunica al sur con la ciudad de Hermosillo a una distancia de 290 km por la carretera federal No. 15 y por ferrocarril; al sureste se comunica con la ciudad de Cananea por F.F.C.C. Al norte está delimitada por la frontera y la ciudad de Nogales, Arizona (E.E.U.U.) Plano 1.



PLANO No 1 LOCALIZACION DE LA CIUDAD DE NOGALES, SONORA.

En los últimos 15 años la ciudad ha presentado un crecimiento acelerado, reflejo de una explosión demográfica producida por las maquiladoras que proporcionan la mayoría de empleos en la ciudad.

La población actualmente es de 250 000 habitantes. Un crecimiento urbano semejante trae consigo una serie de problemas de difícil control y solución, principalmente en lo que a construcción de viviendas y servicios municipales se refiere. La escasez de vivienda y la baja potencialidad económica de los demandantes, hacen florecer la auto construcción de aquéllas, fuente principal de los problemas señalados.

La gran mayoría de las construcciones existentes son de uno y dos pisos, estructuradas a base de muros de carga, sin castillos generalmente. Un número reducido son estructuras de tres o más pisos, resueltas con elementos de concreto o acero. Las construcciones modernas más importantes corresponden a naves industriales de grandes claros, resueltas con estructuras de acero que concentran cargas altas en sus columnas.

En todos los casos las cimentaciones son del tipo superficial, zapatas corridas, aisladas y en pocos casos losas de cimentación. Es de mencionar que no existe

ninguna cimentación profunda en la ciudad. En la autoconstrucción de casas habitación, es práctica muy común que el relleno que sirve para nivelar el terreno sirva como cimentación de la misma. Problema ya bastante grande en la actualidad por la falta de conocimiento de la gente.

2.2 Topografía e Hidrografía. Desde el punto de vista topográfico, la ciudad de Nogales se desarrolla en un valle alargado y estrecho de dirección norte-sur, que se define dentro de un sistema de cerros bajos. Estos alcanzan alturas relativas, con respecto al valle de unos 250 m los situados al poniente y de 500 m los del oriente.

La pendiente de los cerros es de media a alta y dando lugar a una topografía abrupta. En la fotografía No 1 se observa un aspecto de la ciudad.

La forma del área urbana es alargada en el sentido del valle, cubriendo actualmente una longitud del orden de 9 km, desde la línea fronteriza hasta el límite del valle, distancia en la cual se presenta un desnivel aproximado de 70 m, con pendiente descendente hacia el norte. En el sentido transversal la ciudad se extiende en forma irregular según se lo permiten las condiciones topográficas de las

laderas y cimas vecinas. En estas zonas altas, la topografía impone la necesidad de realizar cortes y rellenos de diversas magnitudes que en su mayoría requieren de muros de contención, Fotografía No 2. Sin embargo, son muy pocos los muros de contención o revestimientos que se han hecho.

La topografía en general es más abrupta del lecho del arroyo Nogales hacia el este y más extendida hacia la parte oeste, donde se localiza el periférico.

Las edificaciones más viejas se encuentran en el valle. Ahí se realizaron los pocos estudios de mecánica de suelos que se mencionan más adelante. El crecimiento de la ciudad ha sido hacia los lados, en forma muy irregular, lo que ha ocasionado problemas de servicios urbanos, muy grandes por la falta de planeación en el crecimiento de la ciudad.

Hasta la fecha no se aplica en la ciudad ningún reglamento que incluya normas para el diseño y construcción de obras, éstas se realizan conforme al criterio y experiencia personal del constructor responsable de cada obra.

En el valle corre de sur a norte el Arroyo Nogales, conocido también como Arroyo del Potrero. Esta

corriente pertenece a la región Hidrológica No 7 y es de tipo torrencial, tributaria de la vertiente interior del río Sta. Cruz. Dentro de la ciudad recibe la aportación de varios arroyos y escurrimientos, siendo los principales los siguientes. En la margen izquierda: los arroyos Heredia o de la Chimenea, Cinco de Febrero, Vázquez y Reforma; sobre la margen derecha: los arroyos Jesús García, Cinco de Mayo, Celaya, Héroes y Buenos Aires. En la planta topográfica del plano No 2 puede observarse la localización de los cauces dentro del área urbana.

Las cuencas de todos ellos son pequeñas, con pendiente topográfica transversal fuerte que drenan rápidamente y provocan tiempos de concentración pequeños. Sus cauces son estables y bien definidos, con grandes pendientes longitudinales hasta llegar al valle, donde disminuyen rápidamente, poco antes de su descarga en el arroyo.

Dada su gran pendiente longitudinal la componente de erosión vertical es mucho mayor que la horizontal, definiendo cauces con sección transversal en V. En el valle dentro del área urbana, los cauces son limpios y poco sinuosos, siendo la tendencia de las corrientes la de depositar, sin distinguirse zonas importantes de socavación local. En esta parte los cauces se encuentran bien definidos,

las áreas de depósito fuera de ellos son angostas.

No se obtuvieron datos detallados del funcionamiento hidráulico de los arroyos; sin embargo, los informes recabados coinciden en señalar que las avenidas máximas, ordinarias y extraordinarias, son de corta duración; que en alguno de ellos, como el Heredia, han llegado a ocurrir con tirantes máximos de 2 m y que prácticamente todos los casos el área hidráulica ha sido suficiente, durante las avenidas el gasto de sólidos es grande, llegando a depositarse en los cauces del valle espesores del azolve hasta de 0.5 m.

Los cauces secundarios son utilizados como calles y vías de acceso a las colonias que están a los lados del valle, ninguno de ellos, salvo tramos muy cortos dentro del valle, ha sido rectificado. Sólo existen pequeñas obras de protección en la parte exterior de las curvas horizontales. En un tramo corto del arroyo Reforma existe una obra de entubamiento pequeña, dos tubos de 0.6 m de diámetro, cuya finalidad es captar los escurrimientos pequeños que ocurren en época de lluvias, el caudal de avenidas escurre superficialmente.

Es de especial mención el cauce del arroyo Nogales, colector principal del área. El arroyo tiene una obra hidráulica con la doble finalidad de entubar las

aguas del arroyo y alojar el gran eje vial de la ciudad (Av. Rufz Cortines). La obra de entubamiento comprende los últimos tres kilómetros del cauce, hasta la frontera internacional, y se extiende un kilómetro más dentro del territorio de los E.E.U.U., la primera parte del entubamiento fue construida en 1938 y es de mampostería, comprende aproximadamente 500 m de la línea fronteriza hacia el sur. El tramo restante fue construido en 1963 y es de concreto. La sección es cuadrada, de aproximadamente 4 m de plantilla por 2m de altura, Fotografía No 3.

Originalmente la obra tenía rejillas protectoras en la entrada, pero en noviembre de 1983 estas se taparon y se desbordó el río, ocasionando socavación en varias cimentaciones de obras pequeñas, localizadas a las orillas del cauce y derribo algunas de ellas, en la Fotografía No 4 se puede apreciar el nivel que alcanzó el agua. En esta inundación el entubamiento viejo se rompió y provocó daños en el pavimento de las calles cercanas al arroyo. A la fecha no se han detectado afectaciones a las cimentaciones por las fugas subterráneas.

El nivel freático en el lecho del río en época de estiaje, se encuentra a una profundidad mayor de 2m y en época de lluvias hasta 50 cm se localiza. La ciudad se

abastece de agua potable por galerías filtrantes situadas en el río Sta Cruz a 20 km al oriente de la ciudad y una serie de pozos a 8 km, al este. En la ciudad hay varios pozos que sólo abastecen agua en época de recarga. Sin embargo, como se comenta más adelante, en las excavaciones del edificio del IMSS, se encontró un acuífero que durante los meses que duró la construcción abasteció de agua a las colonias vecinas.

CAPITULO 3

GEOLOGIA

3.1 Fisiografía. La orografía de la región se constituye por sierras y valles sensiblemente paralelos, en general los valles son estrechos en relación a las zonas montañosas que los rodean.

El valle de Nogales es un valle aluvial que separa a las sierras graníticas principalmente, que aparecen como testigos de erosión en el área. Además existen una serie de cañadas prácticamente perpendiculares a dicho valle. La tectónica que dió origen a "Horts" y "Gravens", y el volcanismo terciario, son los principales responsables de la distribución actual de los elementos orográficos.

3.2 Geología. El área está compuesta por rocas ígneas, intrusivas y extrusivas que conforman el medio serrano más alto; así como una gran extensión de sedimentos areno-conglomeráticos y conglomeráticos, derivados de las rocas preexistentes. Los batolitos que se encuentran formando las rocas ígneas, están sujetos a erosión fluvial principalmente.

La región tiene una serie de rocas que se inician en la escala estratigráfica más baja, con el Cretácico (K) y lo forman granitos (gr); le sigue en forma ascendente las unidades de riolitas (R), areniscas-conglomerados (ar-cg) y conglomerados (cg), todas éstas del período terciario (T). Culmina con el depósito reciente de aluviones (al) de edad cuaternaria (Q). Plano No 2.

3.3 Litología. GRANITO T (gr). El granito es una roca ígnea intrusiva, que en la región se encuentra constituida con variaciones a granodioritas. Su textura varía de fanerítica a porfirítica y en algunas localidades hay zonas pegmatíticas y en otras tiene metamorfismo incipiente o muy somero. En la zona de estudio el granito tiene un color rosado, fuerte fracturamiento y un intemperismo muy profundo. Corresponde a las intrusiones Batolíticas del Cretácico Superior.

Se encuentra formando los núcleos de grandes montañas, al suroeste y sureste de la ciudad de Nogales, Plano No 2. Localmente, en el área de estudio, las unidades graníticas quedan localizadas en la margen izquierda del arroyo Nogales, cuyos contactos irregulares están limitados aproximadamente al norte por la Calle 5 de Febrero, y al sur llega hasta los patios de Ferrocarril con el contacto casi para

lelo al arroyo Heredia. En la margen derecha la unidad esta delimitada al norte por Calle R. Cárdenas y al sur, por el Fraccionamiento Lomas de Nogales.

RIOLITA T (R). La Riolita es una roca ignea extrusiva, cuya textura varia de afanítica a porfirística y su color de gris claro a gris obscuro. Se encuentra formando sierras altas. En el área de Nogales esta unidad se encuentra hacia el noreste de la ciudad y queda limitada por la margen derecha del arroyo Nogales; al norte se extiende hacia los E.E.U.U., y al sur lo limita sensiblemente la Calle R. Cárdenas. En esta última área se observa de manera irregular el contacto con la unidad de granito. Plano No 2.

ARENISCA-CONGLOMERADO T (ar-cg). Es una roca de origen sedimentario. En la región predominan las areniscas, se encuentra representada por formas topográficas suaves y su afloramiento en el área se inicia en la margen izquierda del arroyo Nogales, en la dirección de los patios del Ferrocarril delimitada al norte por la unidad de granito y al sur por el conglomerado. Plano No 2.

CONGLOMERADO T (cg). Es una roca de origen sedimentario formada por fragmentos de rocas unidas por algún cementante. En el área de Nogales engloba a los sedi-

mentos gravosos depositados desde el inicio del Terciario a principios del Cuaternario. El conglomerado lo tenemos en el noroeste de la ciudad, limitando por la margen izquierda del arroyo Nogales, al norte se extiende hacia el territorio norteamericano y al sur lo delimita la roca granítica, hacia el arroyo 5 de Febrero. Hacia el sur y separado por el arroyo Nogales se observan dos afloramientos. En la margen derecha su extensión norte llega a parte del Fraccionamiento Lomas de Nogales, donde cubre al granito. En la margen izquierda, limita al granito también y en ambos casos su extensión al sur sale del área de estudio. El conglomerado de la región es medianamente compacto siendo la tendencia a disgregarse, por intemperismo con fragmentos poco redondeados y matriz arenosa. Plano No 2.

ALUVION Q (al). Son depósitos de suelos transportados por corrientes fluviales. Representan el evento sedimentario más reciente. La ciudad de Nogales ocupa aproximadamente el 50 % del valle aluvial. El aluvión se extiende, además del arroyo Nogales, sobre los arroyos; Reforma, Vázquez, 5 de Febrero y Heredia, en la margen izquierda. En la margen derecha en los arroyos Buenos Aires, Niños Héroe, Celaya, 5 de Mayo y Jesús García. En todos los casos se encuentra cubriendo las unidades de roca por la que cruzan los arroyos. Plano No 2.

En el arroyo Nogales, el aluvión queda definido aproximadamente por la Av. Rufz Cortines hacia el lado derecho, desde la frontera hasta la carretera a Hermosillo hacia el sur. En el lado izquierdo del arroyo el contacto es irregular y de un ancho variable. Este límite se define con más detalle en la zonificación de la ciudad. (Capítulo 4).

CAPITULO 4

ZONIFICACION DEL SUBSUELO

Debido a la naturaleza del subsuelo, se distinguen tres zonas en las que se presentan propiedades diferentes. Estas zonas son: Zona I, de aluviones y rellenos artificiales; Zona II, de lomas y ; Zona III, de afloramiento de roca.

La información disponible es insuficiente para delimitar dichas zonas con la precisión deseada. Sin embargo, la misma naturaleza de los materiales y el relieve topográfico permiten establecer una zonificación gruesa, útil para el proyecto de obras. En los siguientes incisos se hace una descripción general de cada zona, señalando sus características de interés y agregando al final, algunos valores de las propiedades determinadas en los pocos estudios del subsuelo que se han realizado. Cabe advertir que dado el reducido número de determinaciones, extrapolación a otros sitios, aún de la misma zona, no se justifica y puede ser peligroso. La finalidad de presentarlos sólo es la de proporcionar una idea del orden de magnitud. Con idéntica finalidad,

también se comentan algunos detalles geométricos de taludes en cortes, rellenos y otros de carácter constructivo.

4.1 Zona I. Aluviones y Rellenos Artificiales. Está comprendida en el fondo del valle y se representa por la unidad de aluvión del arroyo Nogales y los distintos depósitos de escurrimientos en la margen izquierda del mismo. Dentro de esta zona se han realizado siete estudios de mecánica de suelos, en los sitios localizados en el Plano No 3. Con base en sus resultados y en algunos datos, de sitios aislados, recabados en el lugar, se hace la descripción general y se reportan los valores de algunas propiedades, en los resúmenes correspondientes del subcapítulo 5.2.

Los rellenos artificiales se han colocado principalmente sobre los depósitos fluviales y, ocasionalmente, con espesor reducido sobre la roca. Su espesor lógicamente es errático, en las excavaciones realizadas y en los sondeos de los estudios arriba citados se ha observado un espesor medio de 0.5 m y máximo de 2.3 m. En las obras de entubamiento del arroyo Nogales y en pequeños tramos rectificados de los cauces de otros arroyos, el espesor debe ser mayor, tal es el caso del sitio E cuyo estudio reporta un valor probable de 6 m.

Los rellenos están constituidos por: fragmentos de roca, de tamaño variable que pueden ser hasta boleos; grava-arena, con fragmentos chicos y medianos, debilmente cementados; suelos finos arcillosos de plasticidad media; materiales de demolición y diferentes rellenos.

Su colocación, salvo en la obra de entubamiento, ha sido hecha sin control de calidad, razón por la cual su compacidad relativa debe ser errática aún en un mismo sitio.

Los depósitos de río casi siempre están cubiertos por los rellenos descritos. Su espesor, composición y características son irregulares. En algunos puntos cercanos al lecho del arroyo Nogales, antes de su entubamiento su espesor se determinó en 11 m, en un sondeo de 15 m de longitud, sitio E, no se alcanzó a detectar su horizonte inferior. En términos generales, está constituido por arena y gravas empacadas en suelos finos, que ocasionalmente contiene boleos de diámetro pequeño, 10 a 15 cm. También en forma aislada y discontinua, típica de depósitos cruzados de corrientes fluviales, presenta lentes o capas delgadas intercaladas de suelos arcillosos y limosos.

Los suelos arenosos presentan una buena graduación, su compacidad relativa es baja a media, su resistencia a la penetración estándar (medida en 22 sondeos) es de 5 a 20 golpes, salvo en depósitos con alto contenido de grava donde esa medida fue de 20 a 50 golpes, valores no representativos de su compacidad dado el tamaño de las partículas. El contenido natural de agua es bajo, menor que 15 %, y más bajo el de los lentes de limo y arcilla, donde el valor alcanza el 35 %; en éstos la resistencia a la penetración es baja, 5 a 10 golpes.

4.2 Zona II de Lomas. Esta zona se localiza al noroeste de la ciudad, de reciente desarrollo urbano, en un lomerío fuerte que define un buen drenaje superficial. Comprende unidades de conglomerado con algunos depósitos de aluvión; en el sur del área de estudio también comprende unidades conglomeráticas y un contacto corto con arenisca. La formación geológica que la constituye aflora en una superficie muy amplia, que se extiende hacia el poniente y al norte en territorio norteamericano.

Siendo reciente el desarrollo urbano en esta zona, la información del subuselo es escasa. La que aquí se presenta se apoya en las observaciones directas he--

chas durante una visita al sitio y en un estudio de mecánica de suelos hecho para el conjunto habitacional PIMA. (Plano - No 3, sitio A).

El subsuelo está formado por un espesor potente de suelos gruesos, grava y arena, de forma subangular, con bajo contenido de fragmentos de roca (tamaño máximo 15 cm), con un 15 % de arcilla de plasticidad media que le proporciona una cementación variable. Este estrato se halla cubierto por un espesor delgado de unos 0.4 m de espesor de suelo vegetal.

En los cortes del camino, con altura máxima del orden de 15 m, la formación presenta una estructura masiva, sin estratificación definida. Los cortes, hechos con taludes casi verticales, han mostrado ser estables, observándose sólo pequeños desprendimientos de los materiales sueltos de sus paredes. Las obras de drenaje superficial de la urbanización han proporcionado una buena protección contra la erosión, muy activa en esta formación, según se observa en otros sitios donde los cortes y rellenos, no están protegidos por el espesor del suelo vegetal ni dotados de obras de drenaje. En el estudio realizado se determinó la siguiente composición granulométrica: 10 % de fragmentos de roca (tamaño máximo 15 cm); 35 % grava; 40 % arena y 15 % de suelos finos.

4.3 Zona III Afloramientos de Roca. Se denomina así a los lomeríos y cerros donde la roca aflora o se encuentra bajo espesores delgados de suelos residuales. Se excluye la parte de lomerío fuerte localizado al noroeste del valle, por corresponder a la zona II.

Su topografía es abrupta, excepto al sur de la ciudad donde se vuelve de lomerío suave. En el fondo del valle las rocas afloran aisladamente en superficies sensiblemente planas.

La zona está constituida principalmente por rocas graníticas, cuyo grado de intemperismo es grande en general y es generado principalmente por los cambios de temperatura y la oxidación de los feldespatos. En los cortes se aprecia una capa delgada de roca intemperizada que, sin embargo, permite distinguir sus estructura secundaria. Así, por ejemplo, en algunos cortes de la Av. Ruiz Cortines y otros cercanos, se aprecia un sistema de fracturamiento preferente que define planos paralelos con diaclasamiento de unos 45° , que buza hacia el oriente, es decir ladera adentro; en sentido perpendicular se observa un fisuramiento fino, no siendo apreciable la existencia de juntas o fracturas importantes.

El intemperismo forma una capa superficial de suelos residuales, arena y grava empacados en suelos finos poco plásticos, cuyo espesor es errático. En las ci--mas generalmente es delgado, de unos 0.5 m, en cambio en los lomeríos bajos, su espesor aumenta. En este caso es difícil cuantificar, por lo general se encuentra cubiertos por sue--los de la misma naturaleza, que han sido transportados de las laderas, por acción de la gravedad y de las aguas broncas. Cabe señalar que la roca alterada que yace bajo los suelos precedentes, es fácilmente disgregable y el contacto puede pasar desapercibido, dependiendo del método de exploración.

Dado lo abrupto de la topografía, el primer problema que enfrenta la construcción de una obra en esta zona es la preparación y nivelación del predio, operación que demanda la realización de cortes y rellenos. Salvo las obras viales, los cortes regularmente son de altura reducida y quedan alojados en los suelos y el espesor de roca alterada. Normalmente, para su ejecución se emplea herramienta ma--nual en los predios pequeños y maquinaria pesada, tractor D6 a D9, en las superficies extensas. Son pocos los cortes bajos en los que se ha requerido el uso de explosivos, estos se han empleado en algunas lomas bajas, al sur de la ciudad, constituidas por un granito de cristales más finos y menos intemperizable.

En algunas obras viales se han realizado cortes altos hasta de 20 m, que al afectar roca sana o poco intemperizada, su construcción ha requerido del uso de explosivos. El material de los taludes se intemperiza rápidamente, se fragmenta y origina desprendimientos superficiales que con el tiempo se estabilizan, excepto en época de lluvias en que se presentan derrumbes superficiales que con el tiempo también se estabilizan, excepto en época de lluvias en que se presentan derrumbes superficiales muy localizados, que ocasionalmente contienen bloques hasta de 2 m de diámetro. Se han presentado fallas de talud por deslizamiento de capas de roca definidas por el fracturamiento. Uno de estos ocurrió en el cruce de las calles Vázquez y Abasolo, afectando una superficie aproximada de 1000 m² que albergaba una casa ligera, construida sobre un terraplén en balcón, la inestabilidad se generó por un corte al pie del talud, con inclinación paralela a las capas de roca. Como medida correctiva se retiró material de la parte superior, solución no apropiada, ya que al limpiar el pie del talud éste puede haber quedado en un estado crítico fácil de romper.

4.4 Mano Freático. En las zonas de lomas, II y III, el nivel de aguas freáticas se encuentra siempre a mucho mayor profundidad que aquella afectada por las

cimentaciones. En la zona I su posición es variable y está sujeta a los cambios estacionales; En la parte más baja del valle la variación llega a ser de 3 m, en otros sitios se ha medido entre 2 y 2.5 m.

En algunos lugares bajos localizados al norte de la ciudad, cerca de la frontera, el manto freático ha llegado a definir un espejo de agua sobre la superficie del terreno. Durante los trabajos de campo realizados en época de estiaje, la profundidad del nivel freático se determinó en los distintos sondeos entre 3.6 y 7.1 m. Es importante señalar que, en virtud de la alta permeabilidad del subsuelo, las excavaciones con profundidad mayor que la del nivel freático requieren de un sistema de bombeo adecuadamente diseñado, que a la vez de permitir una superficie seca de trabajo evite inestabilidad en las paredes y fondo de los cortes.

CAPITULO 5

INGENIERIA DE CIMENTACIONES

5.1 Práctica Común. En la ciudad de Nogales el diseño y construcción de cimentaciones, no es el problema único de geotecnia que tiene que resolver el ingeniero, en la zona de lomas también debe resolver el proyecto de realización de cortes, rellenos y estructuras para contener a estos últimos, Fotografía No 5. Tal diversidad de problemas, más frecuentes que en la generalidad de los centros de población, obedece a las condiciones topográficas que en aquellas zonas, impone la condición de preparar la superficie de los predios que alojarán a las obras. Esos problemas han sido satisfactoriamente resueltos, en la gran mayoría de las obras a cargo de técnicos capacitados en la construcción.

En obras pequeñas que son ejecutadas directamente por los propietarios, autoconstrucción de viviendas primordialmente, se han presentado con frecuencia comportamientos indeseables, principalmente por asentamientos diferenciales.

Cabe señalar que en la localidad son es casas las edificaciones importantes, de tres o más niveles, los cortes existentes más grandes, corresponden a obras via les proyectadas en base a estudios especiales. La baja magnitud de las solicitaciones impuestas al subsuelo por el peso de las construcciones comunes, casas de uno o dos pisos, ha contribuido a conseguir un comportamiento satisfactorio que en estos casos no justifica el costo de un estudio det llado del subsuelo.

Caso especial es el conjunto habitacio-
nal Villa Sonora, que está constituido por varios cientos
de casas habitación de uno o dos pisos, con muros de carga
y zapatas corridas. El conjunto se ubica al sureste de la
ciudad, en la zona II, la nivelación del terreno se realizó
con el material de los cortes de las lomas y pequeños cerros
en el área, sin embargo, no se controló la compactación y
se han presentado fallas en los muros de las casas por asen
tamientos diferenciales, han ocurrido varios casos e inclu-
sive se han desalojado las casas habitación por la magnitud
de los agrietamientos. Fotografía No 6.

Los estudios de mecánica de suelos solo
han sido realizados para siete proyectos, de los cuales cu
tro destacan por su magnitud, área de construcción, número

de edificaciones o cargas impuestas para la cimentación. No existe ninguna cimentación profunda en la ciudad, todos son del tipo superficial e incluyen: Losas de Cimentación, utilizadas en tres de los edificios más pesados; Las Zapatas aisladas en pocos casos ligadas con contratrabes, son de concreto armado; Las Zapatas corridas se construyen de mampostería o de concreto ciclópeo y llevan una dala de distribución de concreto armado, salvo en casas de autoconstrucción donde no solo llega a omitirse este elemento, sino también la misma cimentación. Existen casas habitación de esta naturaleza, en las laderas de los cerros graníticos y en los merios de conglomerado, cuyo muros están desplantados directamente sobre la superficie del terreno o escapa profundidad, buen número de las cuales presentan deformaciones de diversa importancia.

La autoconstrucción en laderas o cimas es un riesgo que puede traer consecuencias a futuro, ya que al momento de las obras los linderos de las casas se encontraban a varios metros de la roca intemperizada, con el tiempo el espesor se reduce y actualmente el intemperismo llega a los límites de la cimentación e inclusive en algunos casos va degradando el suelo por abajo, Fotografía No 7. Se conoció de una barda sin cimentación que durante largo tiempo observó buen comportamiento, cuando se pretendió incrementar su altura falló por corte, penetrando a 0.5 m en el

suelo de cimentación, lo anterior evidencia que puede haber cimientos trabajando cerca del límite de su capacidad de carga.

A semejanza de otras localidades comprendidas en alguna zona asísmica del país, en Nogales no es práctica común el confinamiento vertical de los muros con elementos de concreto armado - castillos - Fotografía No 8, solo en algunas obras con muros de bloque hueco de cemento se coloca algún refuerzo vertical, varillas de acero aisladas, cuyo funcionamiento estructural es dudoso. En la región la única carga horizontal de tipo accidental que considera el diseño estructural es la debida al viento, asignando a este velocidades de 100 a 125 km/h o bien, analizando la estructura para una presión horizontal de 70 kg/m².

En relación con las bajas temperaturas, hasta -10⁰ C, que llegan a ocurrir, no hay noticias de problemas causados por efecto de las heladas, aún en los pavimentos de las calles que tienen una estructura más cerrada que la del subsuelo granular del valle. Quizá la ausencia de tales efectos obedezca en las zonas altas al rápido drenaje superficial del agua de lluvia, y en la parte baja a la alta permeabilidad del suelo que permite su pronta infiltración, además en la época de estiaje, cuando la temperatura

ra baja, el nivel freático se encuentra profundo. De hecho, las bajas temperaturas sólo obligan en la dosificación del concreto al uso de aditivos que aceleren su fraguado inicial.

5.2 Estudio de Mecánica de Suelos. A continuación se presentan los únicos estudios realizados de mecánica de suelos en la ciudad, se trata de siete proyectos de diferente magnitud y alcance, estos son: Conjunto habitacional Pima, Edificio de aduana, Edificios fronterizos, Sala de exposiciones, Cortes efectuados en la Avenida Ruiz Cortines, Edificio de la Puerta de México y Nueva clínica del IMSS. Plano No 3.

A) conjunto Habitacional Pima. Unidad habitacional de edificios de cuatro o cinco niveles, construidos a base de muros de carga, la superficie del predio es de 9.6 ha y se localiza al noreste de la ciudad. Fotografía No 9.

El estudio consta de siete cortes y un sondeo de pozo a cielo abierto. De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio el perfil del suelo de la zona está constituido de la forma siguiente:

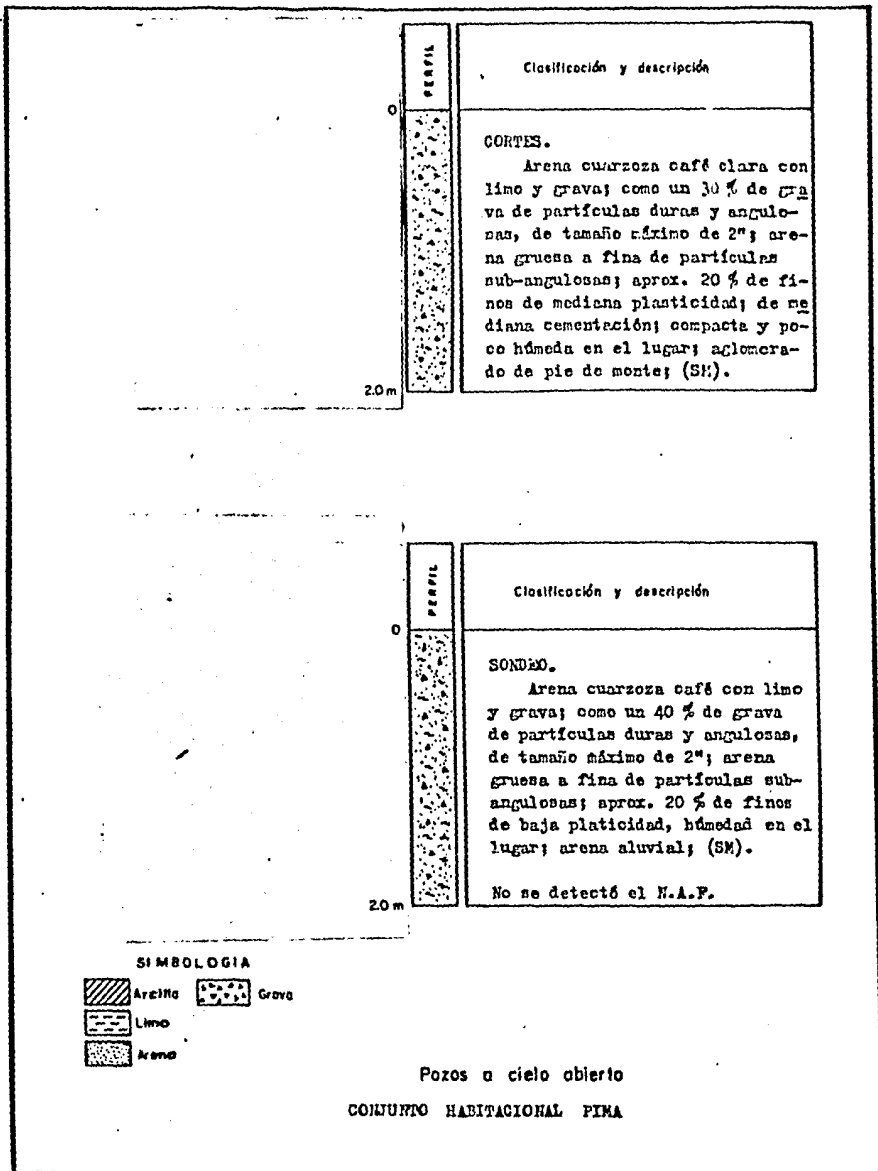
Superficialmente se tiene un pequeño estrato de 0.40 m constituido por arenas arcillosas, mediana-

mente compacto y ligero contenido de materia orgánica, subyaciendo el estrato anterior se tiene un estrato constuido por grava arena, con fragmentos chicos y medianos, las partículas se encuentran débilmente cementadas por finos arcillosos de plasticidad mediana. La cementación se reduce apreciablemente con el incremento de la humedad, todas las partículas son angulosas y constituyen un aglomerado de apariencia maciza sin estratificaciones ni grietas.

La granulometría de la zona es la siguiente aproximadamente: Grava 35 %, Arena 40 % y Finos 15 %.

Recomendaciones. De acuerdo al estudio, para anchos de zapatas menores a dos metros, el criterio que gobierna es el de capacidad de carga y para anchos mayores el criterio de asentamiento es el recomendado. Se podrían utilizar capacidades de carga mayores a las permitidas por el asentamiento de 2.5 cm pero los asentamientos resultantes son difíciles de ser previstos y serían repentinos.

Se recomienda desplantar las zapatas a profundidades de 0.5 y 1.0 m. el ancho de la zapata se considera de 1.5 m con capacidad de carga de 3 kg/cm². Todos los taludes deberán ser zampeados para evitar erosiones.



El análisis anterior se efectuó sin tomar en cuenta los perfiles topográficos, localización de los apoyos, cargas inclinadas y efectos de sismo, ya que para esto se requiere los datos definitivos del proyecto. (Se presentan los cortes y sondeos).

B) Edificio de Aduana. forma parte del conjunto de obras que se localiza en la línea fronteriza; Los sondeos realizados de penetración estándar confirman la presencia de depósitos arenosos y areno-limosos de baja compacidad relativa, que se extienden hasta 5 m de profundidad, a partir de los cuales la arena es compacta. La roca se encuentra aproximadamente a 10 m de profundidad.

Se efectuaron excavaciones a 3.20 m para alojar zapatas aisladas. Por lo tanto resulta un espesor de casi 2 m de arena de baja compacidad que, de 10 golpes en 30 cm de penetración estándar, para esta condición, la capacidad de carga permisible para asentamientos máximos de 3 cm es de 7.5 t/m².

D) Sala de Exposiciones. Queda alojada en un terreno diferente al descrito en el inciso anterior, no obstante que la separación es reducida. La roca intemperizada aflora en varios puntos del predio, en los sondeos se encuentra a una

profundidad menor de 2 m; el producto del intemperismo de esta roca es arena con pequeñas cantidades de fino, este suelo residual se encuentra en estado compacto. La capacidad de carga recomendable es de 20 t/m², siempre que las zapatas se desplanten 50 cm dentro de la roca.

E) Cortes efectuados en la Avenida Rufz Cortines. El objeto de los cortes fue el investigar las condiciones y los factores que podían afectar la estabilidad de las laderas adyacentes a la Av Rufz Cortines (Eje vial).

Los cortes han sido efectuados en cerros de granito, en todos se observó que la roca está en proceso de intemperización, el cual se acelera cerca de la superficie al exponerse la roca a la acción de la intemperie. El producto de la descomposición del granito es arena gruesa y mediana con bajo contenido de finos.

Los factores que aceleran el intemperismo después de la excavación de los cortes son dos: la oxidación de los feldespatos y la pérdida de humedad del material en contacto con el aire. Respecto a este hecho, hubo la oportunidad de verificar visualmente el desprendimiento de una capa de aproximadamente 40 cm de espesor, 2m de ancho y 4 m de altura. El desprendimiento se efectuó en una super-

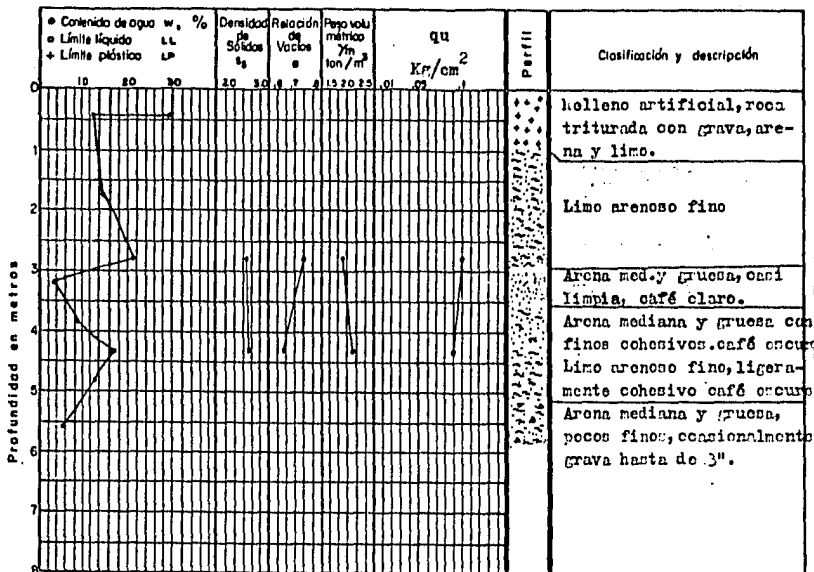
ficie formada por varios planos de fisuras.

El espesor de suelos superficiales es reducido, no excede de 50 cm.

La pendiente de las laderas hace que el agua de lluvia escurra rápidamente, sin embargo, el frente de los cortes carece de protección haciendo que parte del agua escurra también sobre el propio corte. Aún cuando la roca está intemperizada, sus parámetros de resistencia al corte estimado con base en los de un suelo granular de buena graduación y bajo contenido de finos, proporciona seguridad contra deslizamientos para las condiciones de los cortes.

F) Edificio de la Puerta de México. Edificio tipo arco de dos niveles, Fotografía No 10, se localiza en una zona de acareos, de espesor variable. La exploración se apoyó en tres pozos a cielo abierto; en dos de ellos abundan los suelos arenosos de partículas medianas y gruesas que contienen poca grava; el pozo 2 se excavó hasta 5.4 m de profundidad, presentó derrumbes y hubo necesidad de ademarlos. en el tercer pozo, aparte de los suelos arenosos se observaron suelos limoarenoso, ligeramente cohesivos, que predominan hasta los 6 m, posición en la que se encontró el nivel freático.

EDIFICIO PUERTA DE MEXICO



Arcilla } F
 Limo }
 Arena: S
 Grava: G
 Relleno

Estratigrafía y propiedades del subsuelo en el pozo PCA
 NAP: -6.0 m.
 PROGRAMA NACIONAL FRONTERIZO NOGALES SONORA.

co. Los suelos limoarenosos mantuvieron estables las paredes del pozo y no hubo necesidad de ademarlos.

De acuerdo con las propiedades del subsuelo, se analizan dos alternativas para cimentar por superficie, empleando zapatas desplantadas en el terreno natural, penetrando por lo menos 0.50 m en él. Se considerará que no se modifican las condiciones naturales de los depósitos arenosos. Tomando en cuenta el estado suelo de la arena, la capacidad de carga que limitaría los asentamientos a 2.5 cm (1") es de 7.5 t/m², para zapatas de 5 x 5 m. También se recomendaron zapatas desplantadas en terreno mejorado, mejorándolo por compactación, la que se haría utilizando estacones de madera de 3 m de longitud hincados abajo de la elevación -3 m, cuyo objeto sería aumentar la compacidad relativa de la arena. Mediante este procedimiento podría aumentarse la capacidad de carga, empleando las zapatas diseñadas originalmente con una presión de contacto de 11.5 t/m².

Sin embargo, el mejoramiento del terreno por compactación requiere un procedimiento constructivo y un control cuidadoso para que sea eficiente.

G) Nueva Clínica del IMSS. El proyecto considerado se compone de un área de sótano y varios cuerpos constructivos de

uno, dos o tres niveles. En estas condiciones se supuso una descarga máxima a la subestructura de 130 t por columna para el análisis de cimentación.

El terreno está localizado en la parte baja de una serie de lomas que drenan por pequeños arroyos, dos de los cuales atraviesan el predio. La topografía en el sitio es accidentada, presentado desniveles máximos del orden de 11 m.

La exploración del subuselo consistió en 9 sondeos de tipo mixto, de longitudes variables entre 8.25 y 15 m. En su ejecución se emplearon el muestrador estándar o tubo partido en los suelos y el barril muestreador doble rígido de diámetro BX en la roca y suelos duros.

En todos los sondeos se efectuaron pruebas de penetración estándar y todas las muestras de suelo se clasificaron en el laboratorio según los procedimientos manuales y visuales del SUCS. En general el subsuelo en este sitio es muy uniforme en su composición y origen, más no así en sus propiedades.

Superficialmente en toda el área aparece una capa de 20 a 30 cm, constituida por arena cuarzosa

gruesa y media poco arcillosa de color café grisáceo, conteniendo raicillas y residuos vegetales.

Bajo esta capa superficial se tienen gravillas y arenas cuarzosas, empacadas en suelos arcillo--sos. Todos los suelos mencionados descansan sobre un grani--to en estado de intemperización muy avanzado.

El espesor de la capa de suelos es muy variable, siendo casi nulo en las partes altas. El espesor de los suelos reportado en los perfiles estratigráficos de los sondeos es aproximado, debido a que al ser muestreado el granito se disgrega en suelos muy similares a los que lo cubren. El nivel freático no se encontró en ninguna de las exploraciones.

El contenido natural de agua de los sue--los que yacen sobre el granito varió entre 1 y 21 %, las de--terminaciones de límites de consistencia permiten clasifi--car a la porción fina de estos suelos como arcilla de alta y baja compresibilidad.

considerando que la descarga a la sub--estructura es relativamente baja de 130 t por columna y que el subuselo presenta características aceptables de resisten--

cia al corte y compresibilidad para soportarla, se propone el empleo de una cimentación superficial a base de zapatas aisladas. en la nivelación del terreno se puede emplear como relleno el material producto de los cortes, compactado adecuadamente.

En estas condiciones, las zapatas aisladas podrán diseñarse para una presión de contacto con el terreno de 35 t/m^2 . Los cimientos se desplantarán por lo menos a 1 m de profundidad sobre la losa de piso de sótano o planta baja, apoyándose sobre la roca intemperizada o materiales naturales o de relleno en estado compacto, después de verificar las propiedades de estos últimos. Se estima que los asentamientos experimentados por los cimientos serán de baja magnitud y ocurrirán rápidamente a medida que avance la construcción de la estructura.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Zonas II y III. Aún cuando las propiedades del subsuelo difieren de una zona a otra, estas se tratan en conjunto por aplicarse soluciones similares en ambas.

En la Zona III, dependiendo del grado de alteración de la roca, los cimientos llegan a diseñarse con una presión de 100 t/m^2 o según la mínima dimensión constructible. La profundidad de desplante se fija en 0.4 a 0.6 m, según el grado de dificultad para excavar en la costra superficial de roca. Cuando el espesor de suelos residuales es grande, se aplica en el diseño una presión de 10 t/m^2 .

En predio localizados en cimas o lade--ras es necesario nivelar el terreno con cortes y rellenos que tratan de compensarse localmente, durante la colocación del relleno se cuida su compactación ya que parte de los cimientos quedarán en él. Los muros de retención que llegan

a requerirse en muchos casos se aprovechan como elementos de cimentación, desplantandolos como mínimo 0.5 m dentro del terreno natural. En las casas habitación los cortes y rellenos casi siempre son de poca altura.

En el Parque Industrial, de reciente desarrollo, localizado en lomerios suaves al sur de la ciudad, se han construido grandes naves industriales en terrenos cuya nivelación se hizo con cortes y terraplenes hasta de 4 m de altura. Los rellenos de granito intemperizado se colocaron con equipo vibratorio en capas de 30 cm, hasta alcanzar un grado de compactación de 100 a 105 % de la prueba proctor SOP. Las estructuras de acero, con claros de 10 m y 18 m, se cimentaron con zapatas aisladas diseñadas con 5 t/m^2 , independientemente de su localización en terreno natural o relleno.

En los ejes transversales los dados de las columnas quedaron ligados con tensores, para tomar el coceo.

En general la ciudad de Nogales no tiene problemas desde el punto de vista de mecánica de suelos, ya que estos son bastante buenos en lo que ha capacidad de carga se refiere, además no son compresibles. El problema que hay que enfocar es lo que respecta a las compactaciones

debidas a rellenos por suelos o granitos intemperizados.

El intemperismo tan grande en las zonas graníticas es un problema que tienen que enfocar las autoridades correspondientes, ya que puede ocasionar accidentes muy grandes por la autoconstrucción indiscriminada por los habitantes del lugar. Al formarse planos de deslizamiento en las grietas rellenas por los suelos y lubricarse con el agua, puede ocasionar daños graves en las construcciones de los cerros, tanto en las partes superiores como en las laderas, caso muy general en la margen derecha del arroyo Nogales, donde la topografía es más abrupta.

Es necesario un reglamento local para controlar la planeación urbana y hacer mención de los detalles por sismo que deben hacer en las obras.

En la Zona II las construcciones son recientes, en ella se sigue un criterio semejante al aplicado en la Zona III. Los cimientos se dimensionan para presiones de contacto de 5 a 10 t/m². En la preparación de los predios se utilizan los mismos procedimientos, solo que debe señalarse que los suelos no son igualmente compactables que el granito. Hay casos de asentamientos por movimientos diferenciales, al fallar los cimientos en los rellenos, co-

mo ocurrió en el fraccionamiento Villa Sonora. Se tiene el caso de una estructura muy ligera en que se aprovechó un muro de contención de corta altura como cimiento perimetral, el suelo de cimentación cedió en toda la longitud del muro; la estructura no resultó seriamente afectada debido a que la poca longitud de rellenos, en la dirección perpendicular al muro y sentido casa adentro, permitió a las dalas de cimentación trabajar como un catilíver muy corto que tomó la carga dejada por el muro. En los casos citados en este párrafo las obras eran reciente y los asentamientos ocurridos inmediatamente después de las primeras lluvias de la temporada, lo anterior hace presumir que los rellenos que soportaban esos cimientos no fueron debidamente compactados y las partículas de suelo se acomodaron por efecto del agua infiltrada.

Los muros de contención abundante en ambas zonas, son analizados y construidos en base a los criterios y teorías usuales en la ingeniería. Algunos que son producto de la autoconstrucción, en ocasiones mayorés de 4 ó 5 m, se revisan en la oficina municipal de Obras Públicas, cuando su construcción se denuncia a tiempo. La revisión es simple ya que dicha oficina cuenta con patrones establecidos para diferentes alturas, analizados y diseñados para el tipo de material de rellenos más desfavorable. Los muros

se construyen de mampostería o concreto armado.

Respecto a su comportamiento, se obtuvieron informes de algunas fallas por cimentación inadecuada. Se conoció de otras provocadas por el mal diseño estructural o por falta de drenaje adecuado; de hecho solo se dejan tubos cerca del pié y en alturas intermedias, pero no se les dota de filtro alguno en el respaldo. El agrietamiento y deformación que se nota en algunos muros, es probable que sea consecuencia de este defecto y es de suponerse que si no han fallado es porque la precipitación pluvial es escasa y aislada.

En cuanto a los cortes se refiere, sus taludes se eligen en base a la experiencia adquirida de la estabilidad de los existentes. Los taludes generalmente son muy escarpados y su altura llega a ser grande, principalmente los de las obras viales. En éstas se han protegido, Fotografía No 5, con muros zampeados y obras de drenaje superficial. Han ocurrido algunas fallas de taludes no protegidos y de otros cuyo proyecto no consideró las características de la estructura secundaria de la roca.



Fotografía No 1. Se observa la topografía general de la ciudad.



Fotografía No 2. Muros de contención en la Av. Ruiz Cartinez.



Fotografía No 3. Cauce del arroyo Nogales, se observa la sección del entubamiento.



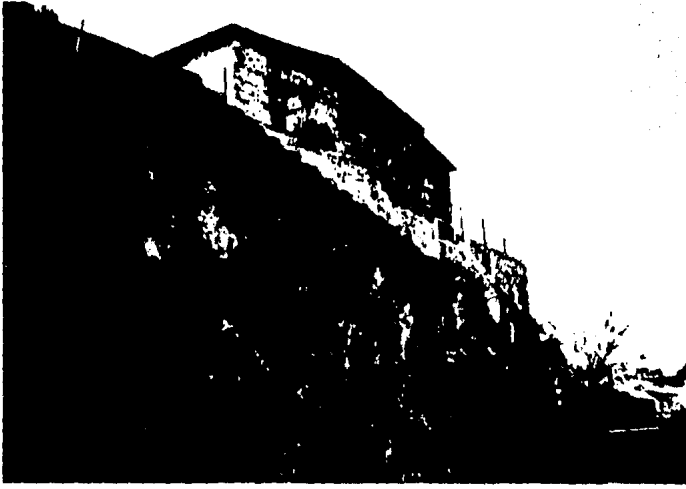
Fotografía No 4. Socavación del arroyo Nogales, vista aguas - abajo.



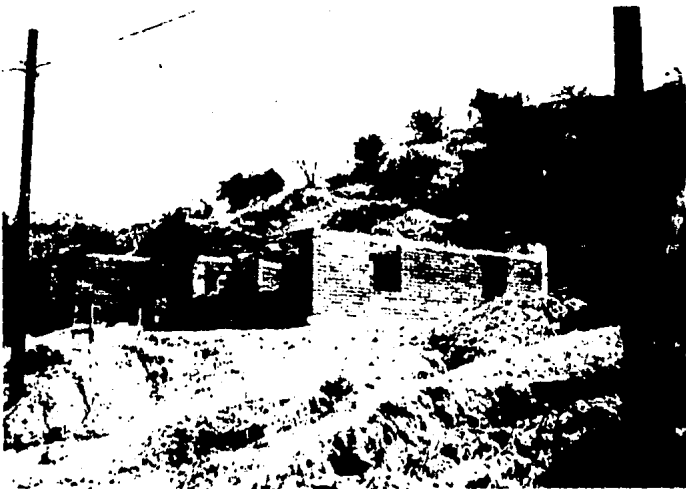
Fotografía No 5. Cortes y Revestimiento de la Zona granfítica en la Av. Ruiz cortines.



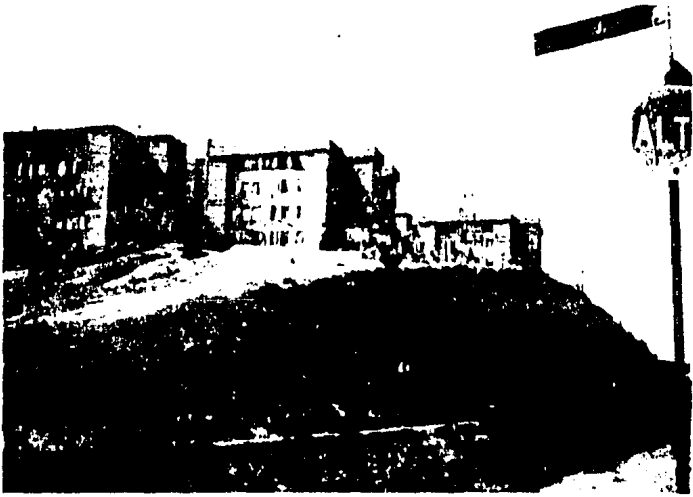
Fotografía No 6. Grieta causada por asentamiento diferencial en el Conjunto Habitacional Villa Sonora.



Fotografía No 7. Degradación del suelo por el intemperismo.



Fotografía No 8. Construcción sin Castillos.



Fotografía No 9. Conjunto Habitacional Pima.



Fotografía No 10. Edificio de la Puerta de México.

BIBLIOGRAFIA Y CREDITOS

MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS
CIVILES

COMISION FEDERAL DE ELEC-
TRICIDAD.

MECANICA DE SUELOS
ED. LIMUSA, 1978.

JUAREZ BADILLO - RICO RO-
DRIGUEZ

ESTUDIOS DEL SUBSUELO, PARA
LA CIMENTACION DE LOS EDIFI-
CIOS DEL PROGRAMA NACIONAL
FRONTERIZO, 1963

DISEÑO DE INGENIERIA
CIVIL AP.

ESTUDIO DE MECANICA DE SUE-
LOS, PARA LA CLINICA DEL --
IMSS NOGALES, SONORA, 1972

GEOTEC, S.A.

ESTUDIO DE MECANICA DE SUE-
LOS, PARA LA CIMENTACION
DEL CONJUNTO HABITACIONAL
PIMA, 1973

SOP

CARTA TOPOGRAFICA: ESC:
1:50 000, ESC: 1:250 000
Y ESC: 1:1000 000

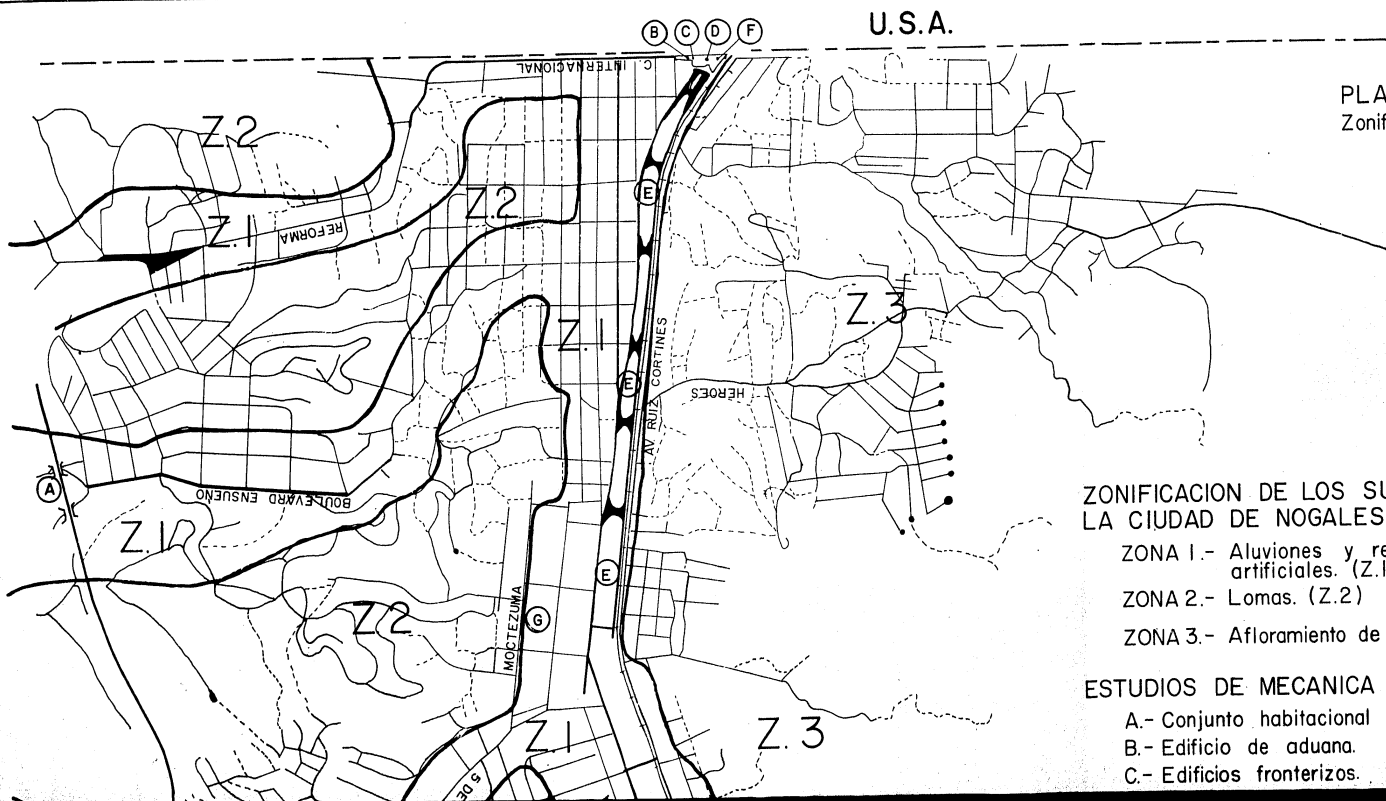
DIRECCION DE GEOGRAFIA
DEL TERRITORIO NACIONAL

CARTA GEOLOGICA, ESC:
1:50 000

DIRECCION DE GEOGRAFIA
DEL TERRITORIO NACIONAL

CARTA DEL USO DEL SUELO,
ESC: 1:50 000

DIRECCION DE GEOGRAFIA
DEL TERRITORIO NACIONAL



U.S.A.

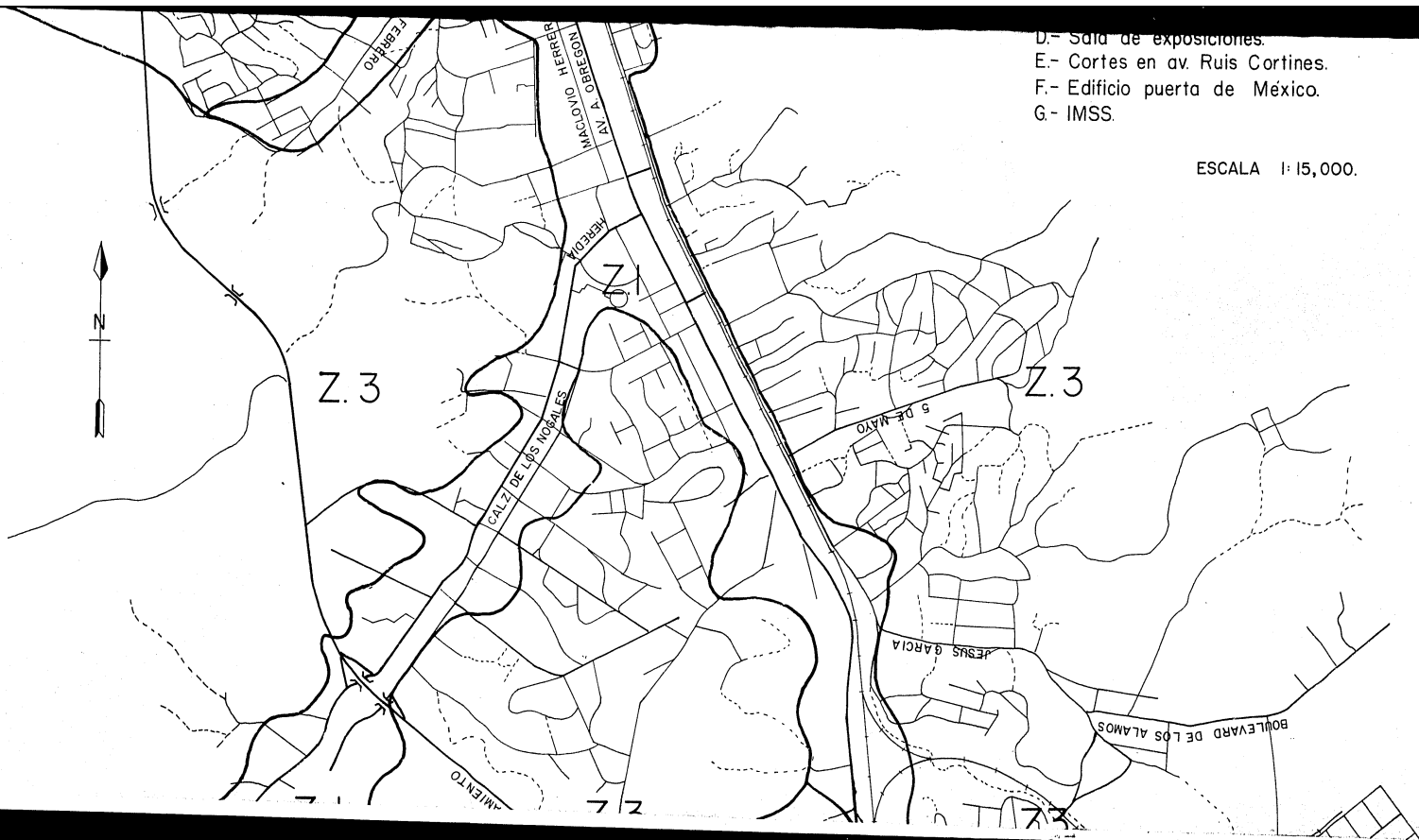
PLANO 3
Zonificación.

ZONIFICACION DE LOS SUELOS DE LA CIUDAD DE NOGALES SON.

- ZONA 1.- Aluviones y rellenos artificiales. (Z.1)
- ZONA 2.- Lomas. (Z.2)
- ZONA 3.- Afloramiento de roca. (Z.3)

ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS

- A.- Conjunto habitacional Pima.
- B.- Edificio de aduana.
- C.- Edificios fronterizos.



- D.- Salida de exposiciones.
- E.- Cortes en av. Ruis Cortines.
- F.- Edificio puerta de México.
- G.- IMSS.

ESCALA 1:15,000.

