



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
SECCIÓN INGENIERÍA CIVIL

FUERZAS DE DISEÑO Y CONTROL DE  
DESPLAZAMIENTOS EN LA NORMA PERUANA  
DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

*Alejandro Muñoz Peláez*

COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA  
DE EDIFICACIÓN E-050, SUELOS Y  
CIMENTACIONES

*Manuel A. Olcese Franzero  
Jorge V. Zegarra Pellanne*

*DI-98-01, DI-98-02  
Lima, febrero 1998*



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**Departamento de Ingeniería**  
**Sección Ingeniería Civil**

**FUERZAS DE DISEÑO Y CONTROL DE  
DESPLAZAMIENTOS EN LA NORMA PERUANA DE  
DISEÑO SISMORRESISTENTE**

*Alejandro Muñoz Peláez*

**COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE  
EDIFICACIÓN E-050, SUELOS Y CIMENTACIONES**

*Manuel A. Olcese Franzero*  
*Jorge V. Zegarra Pellanne*

**DI-98-01, DI-98-02**

**Lima, febrero 1998**

## PRESENTACION

Durante el año 1997 se aprobaron las Nuevas Normas Técnicas E-050 "Suelos y Cimentaciones" y E-030 "Diseño Sismorresistente". En su elaboración participaron destacados especialistas que, con sus valiosos aportes, permitieron que se cuente con Normas actualizadas.

En el Comité Técnico Especializado para la Norma E-030 participaron como representantes de la PUCP, los ingenieros Alejandro Muñoz P., Daniel Torrealva D. y Juan Bariola B., y como representante del CIP, el ingeniero Luis Zegarra C., todos ellos profesores de la Sección Ingeniería Civil del Departamento de Ingeniería de la PUCP.

En el caso de la Norma E-050, participaron, por parte de la PUCP, los ingenieros Manuel Olcese F. y Jorge Zegarra P.

La sección Ingeniería Civil presenta en esta publicación los trabajos titulados "Fuerzas de Diseño y Control de Desplazamientos en la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente" y "Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E-050 Suelos y Cimentaciones". Estamos seguros que la divulgación de estudios como los que acá se presentan, servirán para un mejor entendimiento de las Nuevas Normas, así como una correcta aplicación de ellas.

Juan Antonio Montalbetti S.  
Coordinador de la Sección  
Ingeniería Civil



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**Departamento de Ingeniería**  
**Sección Ingeniería Civil**

**COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE  
EDIFICACIÓN E-050, SUELOS Y CIMENTACIONES**

*Manuel A. Olcese Franzero*  
*Jorge V. Zegarra Pellanne*

**Lima, febrero 1998**  
**DI-98-02**

# Comentarios a La Norma Técnica de Edificación E-050, “Suelos y Cimentaciones”

Manuel A. Olcese Franzero<sup>1</sup>  
Jorge V. Zegarra Pellanne<sup>2</sup>

El 30 de enero de 1,997, fue publicada en el diario oficial El Peruano la Resolución Ministerial 048-97-MTC/15VC promulgando la Norma Técnica de Edificación E-050, “Suelos y Cimentaciones” y se incorporó al Reglamento Nacional de Construcciones. Esta Norma, cuyo cumplimiento es obligatorio, reemplaza al Título VI del Reglamento Nacional de Construcciones, de 1,970. A pesar de haber transcurrido casi un año desde su promulgación, creemos que es importante presentar algunos comentarios sobre esta Norma por su carácter de obligatoria en el ámbito nacional.

No es la intención de este artículo comentar ni resumir en forma detallada cada punto de la citada Norma, sino presentar algunos comentarios que consideramos novedosos o relevantes y que podrán ser profundizados en posteriores artículos. Se espera que en el futuro se publiquen los comentarios de esta Norma en que se incluyan algunos ejemplos numéricos de la aplicación de la misma.

Es evidente que como cualquier Norma, ésta refleja el estado del conocimiento en el momento en que fue elaborada y requiere revisiones periódicas con la finalidad de concordarla con las nuevas normas que se van aprobando y con el desarrollo de las investigaciones a nivel mundial. En este sentido es fundamental la concordancia con las Normas Peruanas E.030 “Concreto Armado” y E.060 “Diseño Sismorresistente”.

## Objetivos

Esta Norma tiene tres grandes objetivos:

- reducir los costos en la cimentación de las edificaciones,
- establecer los contenidos mínimos y la metodología que debe seguirse para la ejecución de un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) e
- indicar que normas son aplicables para la ejecución de los procedimientos de investigación de campo y de laboratorio.

### *REDUCCIÓN DE LOS COSTOS EN LA CIMENTACIÓN DE LAS EDIFICACIONES*

El primer objetivo y más importante es reducir los costos de la cimentación de las edificaciones, a partir de establecer los procedimientos técnicos que permitan realizar diseños económicos así como el empleo adecuado de las diferentes alternativas de

---

<sup>1</sup> Profesor Principal PUCP, Decano de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la PUCP, delegado de la PUCP ante el Comité Técnico de Suelos y Cimentaciones

<sup>2</sup> Profesor Asociado PUCP, Jefe del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la PUCP, delegado de la PUCP ante el Comité Técnico de Suelos y Cimentaciones

cimentación en los distintos tipos de suelos que existen en nuestra variada geomorfología nacional. Esto último es de vital importancia en obras de interés social o en obras de infraestructura educativa en las que los ahorros que se consiguen con un cabal conocimiento de los suelos permiten obtener soluciones de cimentación que por la repetición usual en este tipo de obras resultan de gran importancia ya que con el mismo monto de inversión se pueden construir mas viviendas o más aulas escolares.

Está de más resaltar el hecho de los estudios de suelos ejecutados de acuerdo a estas normas darán a las edificaciones la seguridad requerida, sobre todo durante la ocurrencia de sismos, ya que la nueva norma contiene indicaciones específicas para el tratamiento de este fenómeno natural que ocurre con cierta frecuencia y muchas veces con devastadoras consecuencias

#### ***CONTENIDO MÍNIMO Y METODOLOGÍA DE UN EMS***

Un segundo objetivo de la Norma vigente establece con claridad la metodología y los contenidos mínimos que debe tener un EMS, y como novedad se incluye una hoja de resumen, que debe ser transcrita literalmente en el plano de cimentación. Este "Resumen de las Condiciones de Cimentación" refleja los resultados del EMS e indica con claridad todas las recomendaciones que deben seguirse para la correcta ejecución de las obras de cimentación. La razón por la que se exige que este resumen sea transcrito en el plano de cimentación, es evitar las involuntarias omisiones que en algunas obras ocurrían cuando a pesar que el Estudio de Suelos recomendaba tomar alguna precaución especial, al no tener el constructor a la mano en el momento de efectuar las obras de cimentación el EMS se omitía involuntariamente, causando problemas de diversa gravedad en las obras luego de construidas.

La metodología exigida en la Norma E.050 limita las involuntarias omisiones que en algunos casos se presentaban cuando frente a un problema de suelos el Estudio correspondiente no tomaba en cuenta la existencia de problemas tales como: la expansión o el colapso de los suelos, el efecto agresivo del suelo a la cimentación por sulfatos o la evaluación del fenómeno de licuefacción. La Norma E.050 exige que el especialista se pronuncie al respecto, y son temas que obligatoriamente deben ser tratados en un EMS.

Por otro lado, la Norma E.050 es clara al indicar el contenido mínimo de un EMS, y se exige al especialista presentar la memoria de cálculo y la justificación de los parámetros físico-mecánicos del suelo.

Otro de los aspectos saltantes relativos al EMS es la adecuación de la metodología de cálculo para cimentaciones con cargas excéntricas o inclinadas que normas modernas como la Norma DIN 4017 y los procedimientos de diseño de la marina norteamericana (NAVFAC DM7) contemplan.

#### ***NORMAS APLICABLES PARA LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO Y DE LABORATORIO***

Otra de las dificultades que se presentaba frecuentemente en el campo de la geotecnia era establecer el programa de investigación de campo tanto en lo referente a la cantidad

de sondajes como a la profundidad de los mismos. Era usual en nuestro medio que dos especialistas presentaran dos propuestas para resolver un problema determinado de cimentación de una edificación con números muy diferentes en la cantidad y profundidad de sondajes, hecho que incidía de una manera muy importante al momento de comparar las propuestas y traía como consecuencia muchas veces que se seleccionara una propuesta con un número reducido de sondajes o profundidad insuficiente, efectuándose un EMS en que la incertidumbre en el conocimiento de los suelos traía como consecuencia una solución de cimentación más costosa debido a la falta de conocimiento preciso de los suelos y sus propiedades.

La Norma E.050 establece los procedimientos que deben seguirse para investigar el suelo y para determinar en el campo las propiedades del mismo. Es un error conceptual y lamentablemente frecuente en nuestro medio emplear un ensayo destinado al control de compactación de las capas que componen la estructura de un pavimento, para definir las características físico-mecánicas de los suelos destinados a soportar una cimentación; nos referimos en este caso a los ensayos de densidad de campo con el cono de arena u otros similares como el balón de jebe o los métodos nucleares. Este ensayo que nos proporciona la densidad natural de los suelos no puede emplearse para diseñar una cimentación ya que no refleja las propiedades de las que depende la presión admisible de los suelos granulares tales como la presión de tapada, la angularidad de los suelos, la eventual cementación de los mismos, la historia de cargas, el coeficiente de los suelos en reposo  $K_0$ , el efecto de la napa freática, la densidad relativa o la influencia de la fracción fina; como si lo representan otros ensayos adecuados, destinados para estos fines específicos, que son muy conocidos y usados en nuestro país, como el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), la auscultación dinámica con el cono alemán o el cono tipo Peck.

Dentro de los procedimientos de campo se establecen como deben ser tomadas las muestras de suelos y como deben ser protegidas, con la finalidad de evitar el problema frecuente de la llegada de muestras a los laboratorios en envases inadecuados, los que no permiten la ejecución de los ensayos previstos por la alteración o contaminación que sufren al ser llevadas del campo al laboratorio.

## **Contenido**

La norma está en seis capítulos:

1. Generalidades
2. Estudios
3. Análisis de las condiciones de cimentación
4. Cimentaciones superficiales
5. Cimentaciones profundas
6. Problemas especiales en cimentación

### **GENERALIDADES**

Dentro de este capítulo es importante resaltar dos aspectos: el relativo al ámbito de aplicación y la determinación de los casos en los cuales es obligatorio o no la ejecución de un EMS.

El ámbito de aplicación de la Norma E.050 comprende a todo el territorio nacional y las exigencias de esta norma son mínimas, siendo en consecuencia responsabilidad del ingeniero civil que efectúe el estudio de suelos ampliarlas en los casos que a su juicio así se requiera.

Se establece con claridad a que tipo de edificación y otras obras es obligatoria la aplicación de la norma.

Entre los casos en que existe obligatoriedad de efectuar un EMS, cabe resaltar:

- locales que alojen gran cantidad de personas, equipos costosos o peligrosos: colegios, universidades, hospitales y clínicas, estadios, cárceles, auditorios, templos salas de espectáculos, museos, centrales telefónicas, estaciones de radio y televisión, estaciones de bomberos, centrales de generación de electricidad, sub-estaciones eléctricas, silos, tanques de agua y reservorios, archivos y registros públicos;
- edificaciones (viviendas, oficinas, consultorios y locales comerciales) de uno a tres pisos, que ocupen individual o conjuntamente más de 500 m<sup>2</sup> en planta;
- edificaciones (viviendas, oficinas, consultorios y locales comerciales) de cuatro o mas pisos de altura, cualquiera que sea su área;
- estructuras industriales, fábricas, talleres, o similares;
- edificaciones especiales cuya falla, además del propio colapso, representen peligros adicionales importantes;
- cualquier edificación que requiera el uso de pilotes, pilares o plateas de fundación.
- cualquier edificación adyacente a taludes o suelos que puedan poner en peligro su estabilidad.

En los casos en que no exista obligatoriedad de realizar un EMS, la presión admisible, la profundidad de cimentación y cualquier otra consideración adoptada, deberán figurar en un recuadro en el plano de cimentación con la firma del Profesional Responsable que efectúe la estimación, quedando bajo su responsabilidad la información proporcionada. La Norma es clara en indicar que el Profesional Responsable no puede delegar a terceros dicha responsabilidad, quedando de esta manera prohibida por la Norma la costumbre de colocar en los planos una nota con la indicación sobre la presión admisible del terreno y luego verificar en obra. En caso que la estimación indique la necesidad de usar cimentación profunda o por platea, se deberá efectuar un EMS.

La Norma establece que el profesional responsable que debe firmar el EMS es un ingeniero civil registrado en el Colegio de Ingenieros del Perú.

Asimismo se establece con claridad que la entidad encargada de otorgar la ejecución de las obras es la responsable del cumplimiento de esta Norma. Dicha entidad no autorizará la ejecución de las obras, si el proyecto no cuenta con un EMS, para el área y tipo de

obra específico. Es evidente que en este caso la Norma se refiere a los municipios y a las entidades estatales que autorizan la ejecución de obras tanto públicas como privadas, quienes al omitir esta exigencia legal se convierten en corresponsables de los eventuales problemas que pueden ser ocasionados por la falta de un EMS o por no efectuarse en concordancia con la Norma vigente.

### **ESTUDIOS**

En este capítulo la Norma clasifica la obra a cimentar de acuerdo a su importancia, al número de pisos, al tipo de estructura y a la distancia entre apoyos, con la finalidad de establecer la exigencia de la investigación requerida. La Tabla 1, que reproduce la Tabla 2.1.2 de la Norma permite clasificar a las edificaciones según este criterio. Al igual que en la Norma E.030, las edificaciones Tipo A, son más importantes que las B, y éstas que las C, sin embargo corresponden a criterios distintos y no son equivalentes.

TIPO DE ESTRUCTURA	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS * (m)	N° DE PISOS (Incluidos sótanos)			
		≤ 3	4 a 8	9 a 12	> 12
Aporticada de acero	< 12	C	C	C	B
Pórticos y/o muros de concreto	< 10	C	C	B	A
Muros portantes de albañilería	< 12	B	B**	--	--
Tanque elevados y similares	< 10	B	A	A	A
Bases de máquinas y similares	Cualquiera	A	--	--	--
Estructuras especiales	Cualquiera	A	A	A	A
Otras estructuras	> 10	B	A	A	A
* Cuando la distancia sobrepasa a la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior.					
** De 4 a 5 pisos.					

**Tabla 1.- Tipo de Edificación**

En este capítulo se describen las técnicas de investigación de campo estableciendo cuando son aplicables y las limitaciones de cada una de ellas indicando procedimientos de aplicación recomendada, de aplicación restringida y de aplicación no permitida.

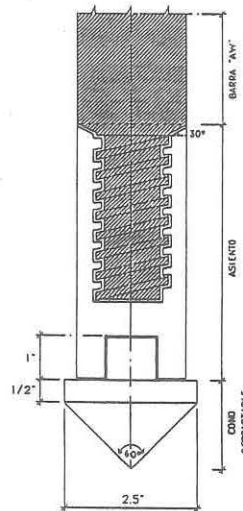
Las técnicas de investigación de campo citadas en la Norma E.050, son:

- Pozos o calicatas y trincheras
- Perforaciones manuales y mecánicas: mediante espiral mecánico. y por lavado con agua.

- Ensayo de Penetración Estándar (ASTM D 1586) (SPT)
- Auscultación Semi-Estática (ASTM D 3441) (CPT)
- Auscultación Dinámica con el Cono Tipo Peck (ACP)
- Auscultación Dinámica (DIN 4094) (DP)
- Ensayos de Resistencia al Corte con Veleta (ASTM D 2573 y ASTM D 4648)
- Pruebas de carga (ASTM D 1194)

Para todos los procedimientos se indica la Norma norteamericana, alemana o británica aplicable. Mención especial merece la Auscultación Dinámica con el Cono Tipo Peck, procedimiento muy usado y extendido en nuestro medio, y que no cuenta con ninguna de las Normas referidas, por lo que la Norma E.050 lo estandariza.

La auscultación con cono dinámico consiste en la introducción en forma continua de una punta cónica como la mostrada en la Figura 1. El equipo que se emplea para introducir la punta cónica en el suelo es el mismo que el empleado en el Ensayo de Penetración Estándar (SPT, ASTM D 1586), en el que se reemplaza la cuchara estándar por un cono de 6,35 cm (2,5 pulgadas) de diámetro y 60° de ángulo en la punta. Este cono se hinca en forma continua en el terreno. El registro de la auscultación se efectúa contando el número de golpes para introducir la punta cónica cada 15 cm. El resultado se presenta en forma gráfica indicando el número de golpes por cada 30 cm de penetración.



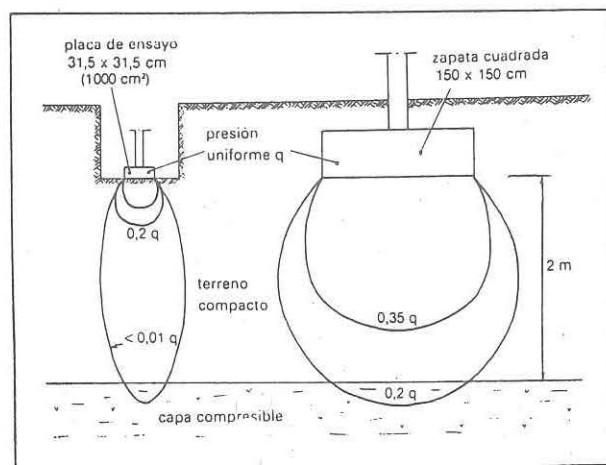
**Figura 1.- Cono Tipo Peck**

El cono tipo Peck debe calibrarse previamente con respecto al SPT con la finalidad de obtener el parámetro  $\beta$  a usar para obtener N:

$$N = \beta C_n$$

- $N$  : número de golpes por 30 cm de penetración en el SPT  
 $C_n$  : número de golpes por 30 cm de penetración con el cono dinámico tipo Peck  
 $\beta$  : coeficiente de correlación.

Otro procedimiento que merece especial mención son las pruebas de carga. La Norma indica claramente que las pruebas de carga deben ser precedidas por un EMS y se recomienda su uso únicamente cuando el suelo a ensayar es tridimensionalmente uniforme, comprende la profundidad activa de la cimentación y es semejante al ubicado bajo el plato de carga. La importancia de esta aclaración, en concordancia con los estándares internacionales, radica en el hecho que en nuestro medio se entendía la prueba de carga como sinónimo de la frase "verificar en obra" de los planos de cimentación o como un reemplazo del EMS, perdiendo de vista que la prueba de carga evalúa una capa muy pequeña del suelo, y sus resultados sólo serán válidos si se cuenta con un EMS que permita afirmar que este estrato continúa en toda la profundidad activa de la cimentación (ver Figura 2).



**Figura 2.- Comparación entre los esfuerzos provocados en el suelo por una placa de ensayo y una zapata**

La cantidad de sondajes se determina en función del tipo de edificación y del área en planta del primer piso de la misma. En el caso de urbanizaciones la Norma indica la cantidad de sondajes por hectárea de terreno habilitado (Ver Tabla 2)

TIPO DE EDIFICACIÓN	NÚMERO DE PUNTOS A INVESTIGAR (n)
A	1 cada 225 m <sup>2</sup>
B	1 cada 450 m <sup>2</sup>
C	1 cada 800 m <sup>2</sup>
Urbanizaciones	3 por cada Ha de terreno habilitado

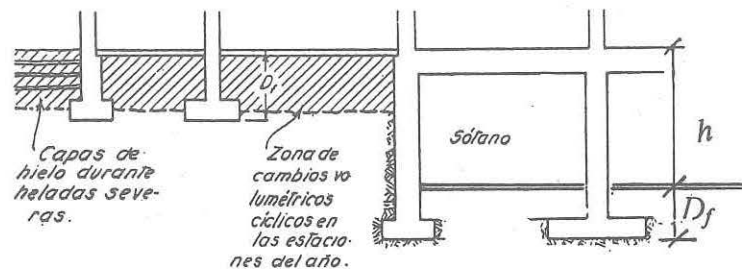
n nunca será menor de 3, excepto en los casos indicados en la Sección 1.3.2

**Tabla 2.- Número de puntos a investigar**

La profundidad mínima "p" a alcanzar en cada sondaje, para cimentaciones superficiales es:

$$p = h + D_f + z$$

- $D_f$  : en edificio sin sótano, es la distancia vertical de la superficie del terreno al fondo de la cimentación. En edificios con sótano, es la distancia vertical entre el nivel del piso terminado del sótano al fondo de la cimentación.
- $H$  : distancia vertical entre el nivel del piso terminado del sótano si lo hubiera y la superficie del terreno natural.
- $Z$  :  $1,5 B$ ; siendo  $B$  el ancho de la cimentación prevista de mayor área.



**Figura 3.- Profundidad de cimentación,  $D_f$**

Se especifica el número y tipo de muestras a extraer, así como los ensayos in-situ y de laboratorio a efectuar.

La Memoria Descriptiva del informe del EMS, debe incluir:

- Resumen de las Condiciones de Cimentación, tal como se ha descrito. En la Figura 4, se adjunta un ejemplo
- Información Previa
- Exploración de Campo
- Ensayos de Laboratorio
- Perfil del Suelo
- Nivel de la Napa Freática
- Análisis de la Cimentación. En esta Sección se incluirá como mínimo:
  - Memoria de cálculo.
  - Tipo de cimentación y otras soluciones si las hubiera.
  - Profundidad de cimentación ( $D_f$ ).
  - Determinación de la carga de rotura al corte y factor de seguridad (FS).
  - Estimación de los asentamientos que sufriría la estructura con la carga aplicada (diferenciales y/o totales).
  - Presión admisible del terreno.
  - Indicación de las precauciones especiales que deberá tomar el diseñador o el constructor de la obra, como consecuencia de las características particulares

del terreno investigado (efecto de la napa freática, contenido de sales agresivas al concreto, etc.).

- Parámetros para el diseño de muros de contención y/o calzada.
  - Otros parámetros que se requieran para el diseño o construcción de las estructuras y cuyo valor dependa directamente del suelo.
- h) Efecto de Sismo. Se proporcionará la información suficiente para la aplicación de las Normas de Diseño Sismo-Resistente vigentes y como mínimo:

$S$  = Factor Suelo

$T_s$  = Período Predominante de Vibración del Suelo

determinados a partir de las características de los suelos que conforman el perfil estratigráfico. Estos parámetros deben determinarse en concordancia con la Norma E.030 "Diseño Sismorresistente". Conviene aclarar que el parámetro llamado  $T_s$  en esta Norma E.050, es denominado  $T_p$  en la Norma E.030.

### **RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACION**

De acuerdo con la Norma Técnica de Edificaciones E-050 "Suelos y Cimentaciones", la siguiente información deberá transcribirse en los planos de cimentación. Esta información no es limitativa, y deberá cumplirse con todo lo especificado en el presente Estudio de Suelos y en el Reglamento Nacional de Construcciones.

<b>TIPO DE CIMENTACIÓN:</b> ZAPATAS AISLADAS O CONTINUAS	
<b>ESTRATO DE APOYO DE LA CIMENTACIÓN:</b> ARENA FINA MAL GRADUADA MEDIANAMENTE DENSA	
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN:</b>	
<b>PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN :</b> 1,5 M HASTA PENETRAR 0,30 M EN LA ARENA MEDIANAMENTE DENSA	
<b>PRESIÓN ADMISIBLE :</b>	1,00 KG/CM <sup>2</sup>
<b>FACTOR DE SEGURIDAD:</b>	MAYOR A 3
<b>ASENTAMIENTO DIFERENCIAL:</b>	0,67 CM
<b>AGRESIVIDAD DEL SUELO A LA CIMENTACIÓN:</b> NO DETECTADA	
<b>RECOMENDACIONES ADICIONALES:</b> NO DEBE CIMENTARSE SOBRE TURBA, SUELO ORGÁNICO, TIERRA VEGETAL, DESMONTE O RELLENO SANITARIO Y QUE ESTOS MATERIALES INADECUADOS DEBERÁN SER REMOVIDOS EN SU TOTALIDAD, ANTES DE CONSTRUIR LA EDIFICACIÓN Y SER REEMPLAZADOS CON MATERIALES ADECUADOS.	

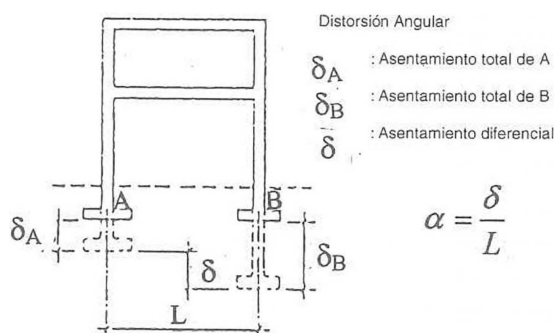
*Figura 4.- Ejemplo de "Resumen de las Condiciones de Cimentación"*

#### **ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN**

En las cimentaciones que se apoyan sobre suelos granulares, es el asentamiento el que controla el diseño, razón por la cual la Norma indica que para el cálculo del asentamiento de cimentaciones apoyadas sobre suelos granulares, se debe considerar la máxima carga vertical que actúe (Carga Muerta más Carga Viva más Sismo, sin los factores de amplificación), utilizada para el diseño de las columnas del nivel más bajo de la edificación. Esto significa que el diseño de las cimentaciones apoyadas sobre suelos

granulares se efectúa por asentamiento tolerable por la estructura, por lo que en estos casos la presión admisible mencionada en los EMS sirve tanto para los casos de cargas de gravedad como para los casos de cargas de gravedad más sismo y luego a modo de verificación, debe calcularse el Factor de Seguridad frente a una falla por corte, que en los casos de suelos granulares es usual y fácilmente mayor que 3.

El asentamiento tolerable, es un aspecto de suma importancia, ya que su determinación es uno de los valores que se emplea junto con el resultado del SPT, cono tipo Peck o cono alemán para la determinación de la presión admisible en suelos granulares. Los valores indicados en la Tabla 3.2.0 de la Norma, reproducidos en la Tabla 3, son los usuales en muchos manuales de diseño y han sido tomados del Manual de Diseño de la Marina de los Estados Unidos , NAVFAC DM7.



**Figura 5.- Asentamiento diferencial**

$\alpha = \delta/L$	DESCRIPCION
1/150	Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales.
1/250	Límite en que la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos puede ser visible.
1/300	Límite en que se debe esperar dificultades con puentes grúas.
1/300	Límite en que se debe esperar las primeras grietas en paredes.
1/500	Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas.
1/500	Límite para cimentaciones rígidas circulares o para anillos de cimentación de estructuras rígidas, altas y esbeltas.
1/650	Límite para edificios rígidos de concreto cimentados sobre un solado de espesor aproximado de 1,20 m
1/750	Límite donde se esperan dificultades en maquinaria sensible a asentamientos.

**Tabla 3.- Distorsión Angular,  $\alpha$**

A diferencia de los suelos granulares, el diseño de las cimentaciones apoyadas sobre suelos cohesivos está controlado por corte y para determinar la presión admisible se deberán emplear los Factores de Seguridad mínimos que indican la Norma.

Sin embargo, la Norma indica claramente que la presión admisible será la menor de la que se obtenga mediante:

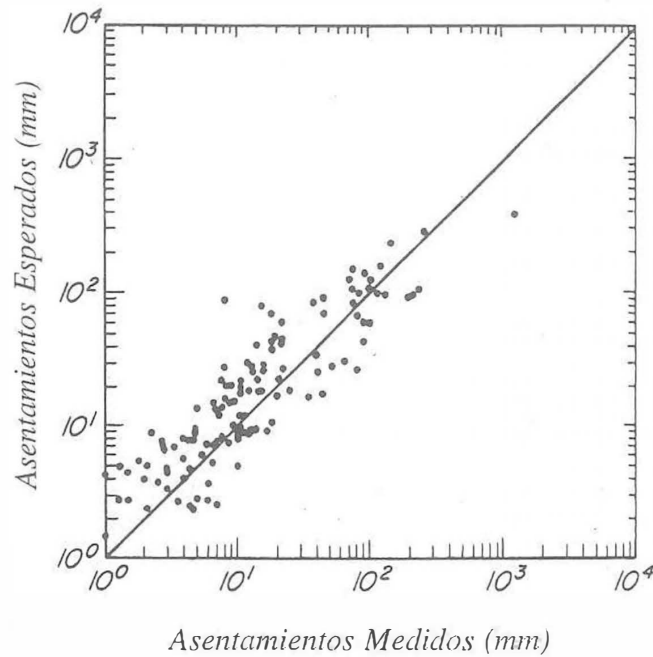
- a) la aplicación de las ecuaciones de capacidad de carga por corte, afectada por el factor de seguridad correspondiente
- b) la presión que cause el asentamiento admisible.

Es decir, y a pesar de que como ya se ha comentado, los suelos cohesivos son gobernados por la primera condición y los granulares por la segunda, existe la obligación de verificar ambas condiciones, independientemente del tipo de suelo de que se trate. Por ende, los suelos granulares se deben diseñar por asentamiento y verificar el Factor de Seguridad por corte; mientras que los suelos cohesivos se diseñan por corte con el Factor de Seguridad mínimo indicado en la Norma y se verifica que el asentamiento sea menor que el tolerable por la estructura.

Esta condición es muy importante, ya que muchas veces en nuestro medio se omite el cálculo del asentamiento en los suelos granulares, a pesar de la gran cantidad de casos publicados de fallas de cimentaciones causadas por este problema. En este sentido, es importante citar lo indicado por Logeais en su libro “Patología de las cimentaciones”, resultado del examen y la síntesis de casi 2000 informes de siniestros registrados en peritajes. Allí se indica que el 80% de los siniestros en que interviene la cimentación se deben al desconocimiento de las propiedades de los suelos, y específicamente el 25% de los casos se debieron a que muchos ingenieros “ignoran que toda construcción engendra esfuerzos en profundidad y provoca asentamientos; y sólo se preocupan de la capacidad portante (por corte) del suelo superficial”.

#### ***CIMENTACIONES SUPERFICIALES***

Dentro de este capítulo, el cálculo de los asentamientos en suelos granulares se ha modernizado por la aplicación de la geoestadística a casos reales de cimentaciones sobre estos suelos. La Figura 6, presenta una comparación entre los asentamientos medidos en zapatas sobre arena con los esperados a partir del Ensayo de Penetración Estándar y empleando los nuevos procedimientos de cálculo de diseño de cimentaciones sobre suelos granulares, mostrando una excelente correlación en un rango muy amplio de valores.



**Figura 6.- Comparación de los Asentamientos Medidos y Esperados (SPT)**

La Norma indica que la profundidad mínima de cimentación es de 0,80 m.

Como ya se ha señalado, se han incluido los procedimientos de cálculo para considerar el efecto de las cargas excéntricas. En el caso de cimentaciones superficiales que transmiten al terreno una carga vertical  $Q$  y dos momentos  $M_x$  y  $M_y$  que actúan simultáneamente, según los ejes  $x$  e  $y$  respectivamente; el sistema formado por estas tres solicitaciones será estáticamente equivalente a una carga vertical excéntrica de valor  $Q$ , ubicada en el punto  $(e_x, e_y)$ , según se indica en la Figura 7. El lado de la cimentación, ancho ( $B$ ) o largo ( $L$ ), se corrige por excentricidad reduciéndolo en dos veces la excentricidad para ubicar la carga en el centro de gravedad del área efectiva  $B' \times L'$ .

$$B' = B - 2 e_y$$

$$L' = L - 2 e_x$$

El centro de gravedad del "área efectiva" debe coincidir con la posición de la carga excéntrica y debe seguir el contorno más próximo de la base real con la mayor precisión posible. Su forma debe ser rectangular, aún en el caso de cimentaciones circulares.

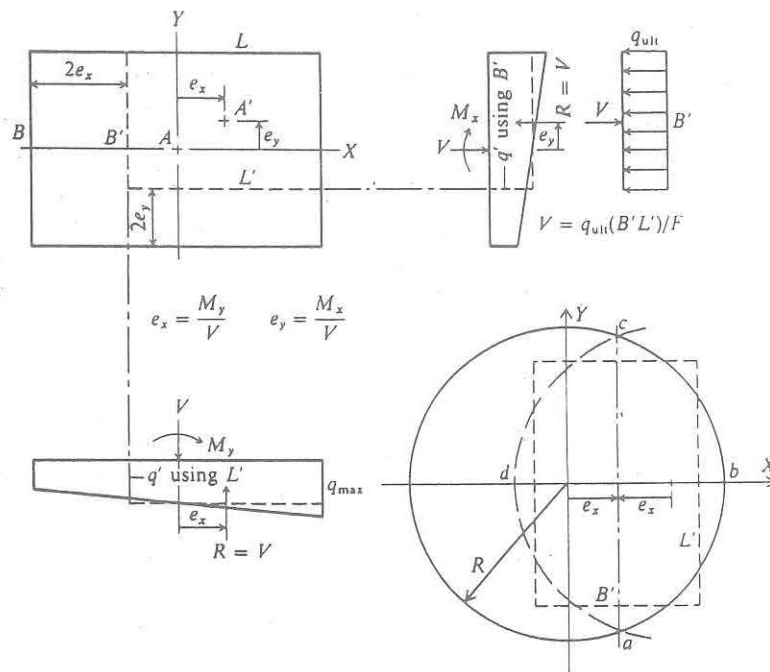


Figura 7.- Cargas excéntricas. Modo de calcular la "zapata efectiva".

Se señala en forma clara que no debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario, ni rellenos artificiales. Estos materiales inadecuados deben ser removidos en su totalidad, antes de construir una edificación y reemplazados por rellenos controlados o de ingeniería.

Los rellenos controlados o de ingeniería son aquellos que se construyen con materiales seleccionados, generalmente del tipo granular. Los métodos empleados en su conformación, compactación y control, dependen principalmente de las propiedades físicas del material. Se especifica cómo deben construirse los rellenos controlados o de ingeniería, indicando los materiales y los procedimientos de control. Deberán realizarse controles de compactación en todas las capas compactadas, a razón necesariamente de un control por cada 250 m<sup>2</sup> como máximo.

Los rellenos no controlados (aquellos que no satisfacen las condiciones de los rellenos controlados o de ingeniería), no podrán ser empleados para apoyar sobre ellos obras de cimentación ni para construir sobre estos, y deben ser removidos en sus totalidad.

#### CIMENTACIONES PROFUNDAS

La Norma define como cimentación profunda aquella que transmite la carga a capas de suelos mediante pilotes o pilares y cuya relación profundidad/ancho de cimentación es mayor a 5. En este capítulo se detalla el programa de investigación que debe emplearse para aquellas cimentaciones que requieran cimentación profunda. Se detalla como se calcula la capacidad de carga del pilote individual y del grupo de pilotes. La Norma E.050 obliga a efectuar una prueba de carga (ASTM D-1143) por cada lote o grupos de pilotes o

al menos una por cada cien pilotes. Las pruebas se deben efectuar en zonas de perfil conocido. Se trata también el efecto de la fricción negativa y la estimación de los asentamientos del pilote o del grupo de pilotes.

#### **PROBLEMAS ESPECIALES DE CIMENTACIÓN**

En este capítulo se describen algunos problemas especiales en los suelos y su tratamiento, correspondiendo al Profesional Responsable efectuar el estudio correspondiente para descartar o verificar la existencia de: suelos colapsables, ataque químico, suelos expansivos y licuefacción de suelos.

La Norma cubre un vacío existente en la normatividad sobre las calzaduras, indicando que el EMS debe incluir los parámetros de suelos requeridos para el diseño de las obras de calzada y sostenimiento de las edificaciones, muros perimetrales, pistas y terrenos vecinos. Asimismo, se especifica que la necesidad de: la calzada, su diseño y construcción son responsabilidad del Contratista de las Obras respectivas.

#### **Referencias**

1. Reglamento Nacional de Construcciones (1997), *NTE E.050 Suelos y cimentaciones*, Lima: SENCICO
2. Bowles, J.E. (1996). *Foundation analysis and design*. New York: Mc Graw-Hill Book Co.
3. Coduto, D.P. (1994). *Foundation design: principles and practices*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
4. Holtz, Robert D. & Kovacs William D.(1981) *An introduction to geotechnical engineering*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
5. Hunt, R.E. (1984). *Geotechnical engineering investigation manual*. New York: Mc. Graw Hill.
6. Jimenez J.A.; De Justo, J.L.; Serrano, A.A. (1981). *Geotecnia y Cimientos II: Mecánica del suelo y de las rocas*. Madrid: Rueda
7. Logeais, L. (1984). *Patología de las cimentaciones*. Barcelona: G.Gili
8. Naval Facilities Engineering Command (1986). *Design manual: soil mechanics, foundations and earth structures (NAVFAC DM-7)*. New York: Department of the Navy.
9. Reglamento Nacional de Construcciones (1989), *NTE E.060 Concreto armado*, Lima: ININVI

10. Reglamento Nacional de Construcciones (1997), *NTE E.030 Diseño sismorresistente*, Lima: SENCICO
11. Terzaghi, K. Peck, R. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
12. Terzaghi, K. Peck, R. Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. New York : John Wiley & Sons, Inc.