



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

SISTEMA DE FUNDACIÓN SOBRE MICROPILOTES: ALTERNATIVA PARA EDIFICACIONES LIVIANAS

Silvia Tamia García Gavilán

Piura, 06 de Noviembre de 2003

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

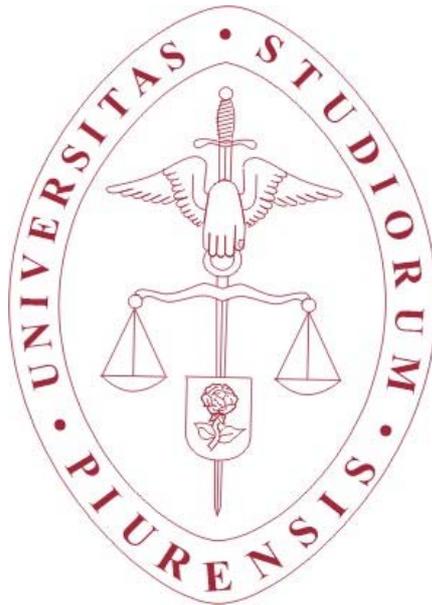


Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERIA



“Sistema de fundación sobre micropilotes: alternativa para edificaciones livianas ”

**Tesis para optar por el Título de
Ingeniero Civil**

SILVIA TAMIA GARCÍA GAVILÁN

ASESOR: ING. MANUEL ANTONIO RAMÍREZ VARGAS

Piura, Agosto 2003

PRÓLOGO

En nuestro medio, generalmente, para todo tipo de suelos y edificaciones, se utiliza cimentaciones corridas. Esta tradición constructiva, en muchos casos se torna inadecuada porque se hacen sensibles a la acción de agentes externos de la naturaleza tales como: presencia de sales en los suelos, zonas inundables, suelos licuables, topografía accidentada, entre otros, que vulnerabilizan a las edificaciones.

La tradicional manera del diseño y construcción generalizada de las cimentaciones construidas por la “experiencia” cotidiana, se ha utilizado por la falta de información sobre nuevas técnicas alternativas de cimentación desarrolladas para los diferentes tipos de suelos y condiciones medio ambientales que prevengan procesos de deterioro posterior.

En este contexto, el tratamiento para solucionar o corregir estos efectos y defectos en las mismas cimentaciones tradicionales requieren de procedimientos, técnicas e insumos inaccesibles y onerosos.

Vale la pena decir que la investigación y aplicación de métodos constructivos adecuados en nuestro país para este tipo de problemas es casi nula. Sólo en contados casos se han propuesto soluciones adecuadas, como en el caso de ciertas aldeas en la selva, donde se ha utilizado un singular sistema de viviendas construidas sobre pilotes de madera para hacer frente a los problemas recurrentes de inundación.

La ingeniería debe participar y estar al servicio de las necesidades del hombre que se desenvuelve sujetándose a las condiciones de la zona donde reside. Una de ellas es la necesidad de edificar en suelos con problemas que encarecen el costo y mantenimiento de las edificaciones. Situación que debe ser tratada y resuelta con tecnología adecuada.

También es importante señalar que frecuentemente, en el país, la ingeniería tiene una orientación más reparativa que preventiva. Esto significa que los ingenieros no se han preocupado por buscar soluciones adecuadas para proteger las edificaciones de los problemas frecuentes y cíclicos generados por fenómenos naturales. Por el contrario, se ha adoptado una política de construcción masiva, utilizando diseños típicos, dejando de lado el contexto y el entorno que rodea a la edificación, obviando los estudios de suelos, los sistemas de drenaje, la topografía etc. No se debe sujetar a un solo diseño típico-tradicional de cimentaciones sino buscar alternativas que sean viables y factibles a las condiciones naturales de cada lugar.

Un caso concreto es la presencia de humedad en combinación de sales ya sea en el suelo o en los materiales presentes en la construcción. Este problema tan común no ha recibido la atención necesaria por parte de los ingenieros. Las consecuencias de esta situación se ven reflejadas a diario en muchas edificaciones, las cuales presentan eflorescencias, deterioro de las cimentaciones, oxidación del acero de refuerzo, degradación, agrietamientos y desprendimientos del concreto que pueden llevar al colapso de las edificaciones.

Bajo este esquema, se estudia la manera de prever problemas y buscar solución a lo anteriormente expuesto, aplicando un sistema de cimentación que pretende desarrollarse eficazmente frente a situaciones adversas. Se ha efectuado el sistema como aplicación en un proyecto de acción social que CARITAS viene ejecutando en el distrito Imperial, provincia de Cañete, con el propósito de limitar la transferencia de humedad que daña a las edificaciones de la zona y ahorro en el presupuesto contemplado, en donde la autora de esta tesis participó en sus diferentes actividades.

Agradezco de manera muy especial a mi asesor el Ing. Manuel Antonio Ramírez V., quien me ha orientado de manera diligente y paciente en la elaboración de la tesis, al Ing. Francisco Coll C. Director de Caritas-Cañete por su apoyo en la aplicación de la propuesta en un proyecto de acción social, a mis padres y hermanos por su apoyo y aliento esperanzador, a los profesores del departamento de Ingeniería Civil, asimismo a las personas y amigos que estuvieron pendientes a mis avances, a los maestros y operarios de obra, por sus experiencias compartidas, y sobretodo mi admiración y respeto a la Universidad de Piura por su ardua labor que día a día realiza para contribuir en el desarrollo profesional de tantas personas.

RESUMEN

Nuestro objetivo principal es: Introducir un sistema de cimentación capaz de desempeñarse funcionalmente frente a situaciones adversas, ahorro en mantenimiento y funcionalidad dentro del desarrollo sostenible de la calidad de vida de la población.

Alcanzar el objetivo me lleva a identificar los problemas que las edificaciones afrontan, como: alto potencial de licuación, arcillas expansivas, alto contenido de humedad, suelos colapsables, superficies abruptas y otros.

El sistema, propone no restringir el movimiento natural del terreno y disminuir la transferencia de humedad del terreno a puntos fácilmente localizados que pueden ser tratados con diversos procedimientos prácticos y de este modo prever los riesgos.

Este sistema, como construcción no convencional, no deja de ser simple, involucra el uso de elementos prefabricados que pueden ser construidos a pie de obra. Para efectos del estudio se ha aplicado en dos edificaciones: una guardiana y un comedor; parte de un proyecto de CARITAS del Perú en Cañete-Lima. Se consideró los requisitos previos para su estructuración, análisis y diseño con la ayuda de los software SISMICAD y ALLPILE.

Tras la aplicación, se obtuvo como resultado un costo menor al de una cimentación tradicional; podemos decir que en una construcción masiva de este sistema se logrará minimizar costos con mejores resultados futuros. Además, de constatar su efectividad por haber nos inspirado en experiencias etnocampesinas.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
---------------------------	---

CAPÍTULO I : EVALUACIÓN DE CIMENTACIONES EXISTENTES

1.1 Estado de las cimentaciones existentes	4
1.2 Cimentaciones típicas de las edificaciones	4
1.2.1 Cimientos Corridos	5
1.2.2 Cimentación mixta	5
1.2.3 Losa de cimentación	6
1.2.4 Profunda (pilotaje)	7
1.3 Problemas especiales en la cimentación	8
1.3.1 Alto potencial de licuación en arenas sueltas	8
1.3.2 Presencia de arcillas expansivas	9
1.3.3 Humedad del suelo	9
1.3.4 Suelos inundables en épocas lluviosas	11
1.4 Identificación de las zonas con problemas	13

CAPÍTULO II : SISTEMAS DE CIMENTACIONES FRECUENTEMENTE USADOS EN LAS EDIFICACIONES ANTE SUELOS CON PROBLEMAS

2.1 Características básicas para definir la adecuada cimentación	16
2.2 Cimentaciones en suelos con problemas	17
2.2.1 Cimentaciones en terrenos con potencial de licuación en arenas sueltas	18
2.2.2 Cimentaciones en terrenos flexibles o arcillas expansivas	18
2.2.3 Cimentaciones en terrenos de alto contenido de humedad	21
2.2.4 Cimentaciones en terrenos con probabilidad de inundaciones	23

CAPÍTULO III : EXPLICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FUNDACIÓN SOBRE MICROPILOTES

3.1 Descripción del sistema	26
3.2 Partes del sistema	29
3.2.1 Pilotes	29
3.2.1.1 Cálculo de los pilotes	29
3.2.1.2 Criterios para el cálculo de la capacidad de carga de un pilote	30
3.2.1.3 Tipo de pilotes	31
3.2.2 Vigas interconectadas	32
3.2.3 Losa	34

**CAPÍTULO IV :
APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN SOBRE MICROPILOTES Y SU
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

4.1	Condición previa: Aspectos geotécnicos	38
4.2	Aspectos estructurales	38
4.2.1	Cálculo y diseño de los pilotes	39
4.2.2	Cálculo y diseño de la viga interconectada	39
4.2.3	Cálculo y diseño de la losa	39
4.3	Aspectos constructivos	40
4.3.1	Pilote	40
4.3.2	Vigas interconectadas	43
4.3.3	Losa hormigonada	43
4.2.3.1	Vigueta prefabricada	43
4.2.3.2	Plaqueta prefabricada	44
4.3.4	Pasos para un correcto montaje de la losa	44
4.3.5	Aspectos complementarios de la construcción de la losas	46
4.4	Encofrados de los elementos prefabricados	47

**CAPÍTULO V :
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISEÑO DE CIMENTACIÓN**

5.1	Presentación de casos	52
5.1.1	Caso I – Vivienda Básica	52
5.1.2	Caso II y III – Guardianía y comedor	53
5.2	Secuencia para el diseño	54
5.2.1	Información y antecedentes previos del terreno	54
5.2.2	Características de los materiales	54
5.2.3	Planos arquitectónicos	55
5.2.4	Estructuración y predimensionamiento	56
5.2.5	Simulación	58
5.3	Análisis de resultados	70
5.3.1	Desplazamientos laterales permisibles	70
5.3.2	Asientos Verticales permisibles	72
5.3.3	Diseño de los elementos	73

**CAPÍTULO VI :
EVALUACIÓN Y COMPARACIÓN DE COSTOS**

6.1	Costos y presupuestos en construcción	76
6.1.1	Mano de obra	77
6.1.2	Materiales	77
6.1.3	Equipo	78
6.2	Análisis económico comparativo	78
6.2.1	Presupuesto comparativo entre el método tradicional e cimientos corridos y el sistema de cimentación sobre pilotes cortos	78

**CAPÍTULO VII :
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones y Recomendaciones 84

BIBLIOGRAFÍA 87

ANEXOS

ANEXO A : ECUACIONES

ANEXO B : CÁLCULOS

Pilotes

Cargas

Vigas

Losa Hormigonada

ANEXO C : PRESUPUESTOS

ANEXO D : FOTOS

ANEXO E : PLANOS

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la elevada tasa de edificaciones dañadas en nuestro medio, que sufren deterioros constantes, por usar como única opción los cimientos corridos o sistemas convencionales que suelen ser sensibles a la acción de agentes externos y adversos de la naturaleza, ante esto, se ve necesario desarrollar una alternativa de cimentación capaz de enfrentarlos y desarrollarse funcionalmente en suelos con problemas.

En este contexto, la presente tesis que lleva por título “Sistema de fundación sobre micropilotes: alternativa para edificaciones livianas”, pretende contribuir de manera simple y funcional en la solución de estos problemas. Se plantea un sistema de cimentación para viviendas livianas y económicas construido sobre pilotes cortos, con un entrepiso compuesto por elementos estructurales prefabricados, tales como viguetas en forma de I y plaquetas abovedadas.

El sistema está pensado para solucionar problemas de inundaciones, suelos licuables y blandos, presencia de arcillas expansivas, sales en el suelo y topografías accidentadas. Por consiguiente, el propósito principal es el estudio de un sistema de cimentación que solucione aspectos adversos en edificaciones sobre esos suelos con problemas, y para este efecto me apoyaré en la revisión de los conceptos básicos del comportamiento de los suelos que causan daños en las cimentaciones y proponer una cimentación levantada sobre pilotes cortos.

No obstante, debido a que el uso de pilotes no es habitual, el común de las personas suponen que el presupuesto de las obras es elevado. Sin embargo, esto no es así, en esta propuesta concreta, como se detallará más adelante, se ha pensado una forma sencilla y económica de utilizar pilotes perforados, aplicando un mínimo de maquinaria que resuelve de manera simple en vez de emplear equipos sofisticados, inaccesibles y onerosos.

De modo concreto, se ha puesto en práctica dicho sistema en dos edificaciones en la ciudad de Cañete con resultados más que interesantes desde el punto de vista económico y constructivo. Además de ser una demostración de que es posible hacer ingeniería incluso en las condiciones adversas y sin la presencia de tecnología sofisticada.

La tesis consta de siete capítulos:

En el primer capítulo tiene como tema la evaluación de cimentaciones existentes, señalando el estado de las cimentaciones existentes, cimentaciones típicas de las edificaciones y los terrenos problemáticos para las cimentaciones.

En el segundo capítulo muestra las cimentaciones frecuentemente usadas en las edificaciones y para ello conocer las características básicas para definir una adecuada cimentación y exponer soluciones de cimentación ante suelos con problemas.

En el tercer capítulo trata el tema central de la tesis que es: sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos o micropilotes, describiéndola y explicando las partes del sistema.

En el cuarto capítulo trata acerca de la aplicación del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos, tanto estructural y constructivo.

En el quinto capítulo presenta el análisis de resultados y diseño del sistema de cimentación siguiendo una secuencia para el diseño, presentación de los casos aplicados, análisis y verificación de resultados.

En el sexto capítulo la evaluación y comparación de costos.

Finalmente, el séptimo capítulo está dedicado a las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

Se espera haber contribuido con esta tesis en proponer nuevas tecnologías revalorizando las tradiciones tecnológicas de los pueblos que han diseñado empíricamente métodos constructivos eficientes, para adecuarse a las condiciones medioambientales y compatibilizarlos con el sistema conceptual y categorial de la Ingeniería.

CAPÍTULO I

EVALUACIÓN DE CIMENTACIONES EXISTENTES

En este capítulo se presenta de modo breve una evaluación de los diferentes tipos de cimentación que tradicionalmente se ha usado y los problemas que afrontan las edificaciones ocasionados por el alto potencial de licuación, presencia de arcillas expansivas, influencia de la humedad del suelo y suelos bajos inundables, así también se presentarán las soluciones frente a efectos de deterioro en tales edificaciones.

1.1 Estado de las cimentaciones existentes

La cimentación de una estructura se define como aquella parte de la edificación que está en contacto directo con el terreno, tiene como función principal transmitir toda la carga del edificio hacia el suelo.

Aunque en muchos casos el cálculo de la cimentación se hace sin tener las consideraciones técnicas adecuadas. Se requiere siempre, en una u otra forma, de una investigación del terreno, la cual debe ser conducida, independientemente de su complejidad, por un especialista.

Lamentablemente esta practica es poco frecuente, lo que conlleva a diseños inadecuados dirigidos generalmente por personal que tiene como única herramienta de cálculo “la experiencia”; es el caso de la mayoría de los constructores, albañiles, y los llamados “maestros de obra”.

Es muy común entonces encontrar edificaciones con cimentaciones sin un adecuado diseño cuyo efecto es el deterioro producido por la humedad, el salitre, elementos contaminantes, etc, que pueden producir el colapso de la edificación. (Ver anexo D: Fotos 12, 13 y 14).

1.1.1 Factores que influyen en el estado de las cimentaciones en las edificaciones:

Generalmente el deterioro de las cimentaciones es ocasionado por:

- Uso de un tipo de cimentación sin compatibilizar las características del suelo.
- Uso de materiales de mala calidad y sin las medidas reglamentarias.
- Cimentar sobre suelos con alto contenido de sales y/o elevado porcentaje de humedad. La edificación entonces, está expuesta a eflorescencias, humedades, erosiones, microorganismos, grietas y fisuras, desprendimientos, y otros. Su durabilidad depende del tratamiento que se le de a la cimentación.
- Deficiencias en el proceso constructivo cuando se sobrecarga la capacidad para la que estaba diseñada inicialmente la cimentación.
- Darle poca importancia a un estudio de suelos.

1.2 Cimentaciones típicas en las edificaciones

Las cimentaciones de las edificaciones en su mayoría, son de cimientos corridos y zapatas, en menor aplicación son las losas de cimentación y escasos cimientos con adecuaciones para prevenir humedades elevando el costo por mantenimiento. Entre los diferentes tipos de cimentación tenemos:

- Cimientos corridos.
- Cimientos mixtos, (cimientos corridos con zapatas).
- Zapatas aisladas
- Losa de cimentación
- Pilotes (cimentación profunda)
- Otros

1.2.1 Cimientos corridos

Se utilizan normalmente para muros de carga y para filas de columnas espaciadas, tan cerca una de otra, que las cimentaciones con zapatas se superponen. (Ver Fig. 1.1a y 1.1b).

Generalmente sobre los cimientos descansan los sobrecimientos que pueden ser según los casos, ser o no armados con una altura necesaria para proteger los muros de la humedad.

La cimentación puede ser construida de tal modo, que transmita la carga al suelo por corte, por tanto, el uso de acero de refuerzo es innecesario.

Teóricamente hablando, el sobrecimiento tampoco necesitaría acero de refuerzo si las cargas se reparten de manera uniforme a lo largo de la cimentación. En la realidad esto no sucede, muchas veces por la irregularidad de la arquitectura, presencia de cargas concentradas, vanos, etc. Entonces es necesario colocar acero de refuerzo el cual adicionalmente absorbe los esfuerzos producidos por cambios de temperatura y el fraguado en el concreto.

Estos cimientos corridos dan muy buen resultado cuando se construye sobre arena y gravas en estado denso de compacidad, pero cuando se les coloca sobre arcillas representan la condición menos adecuada en la mayoría de los casos.

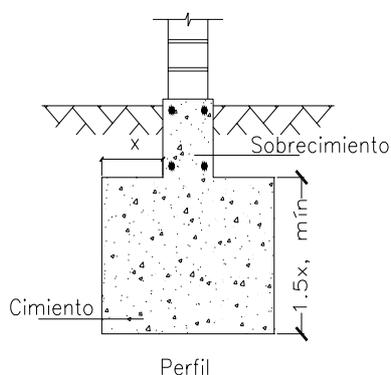


Fig. 1.1a Perfil de la cimentación corrida

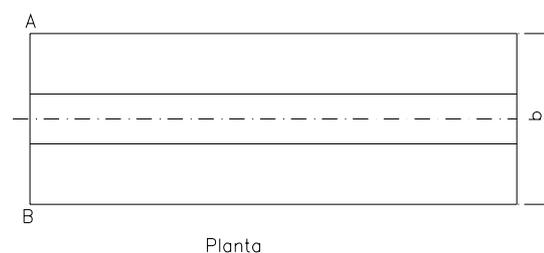


Fig. 1.1b Planta de la cimentación corrida

1.2.2 Cimentación mixta (zapatas y cimientos corridos)

Este tipo de cimentación se utiliza en estructuras aporticadas compuestas por un sistema de vigas, diafragma y columnas. En este caso la cimentación está compuesta en algunos casos por zapatas, cimientos corridos y vigas de cimentación entre ellas.

La función de una zapata de cimentación es distribuir la carga total que transmite una columna, incluyendo su propio peso, sobre suficiente área de terreno, de modo que la intensidad de las presiones que transmita se mantenga dentro de los límites permitidos para el suelo que la soporta.

Las zapatas de concreto reforzado para columnas sencillas son, por lo general, cuadradas. (Ver Fig. 1.2a y 1.2b).

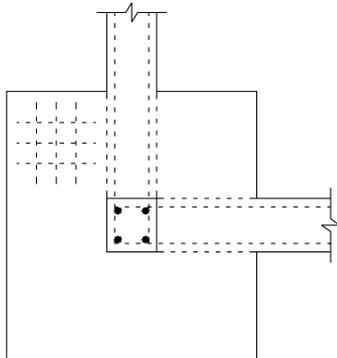


Fig. 1.2a Planta de la zapata

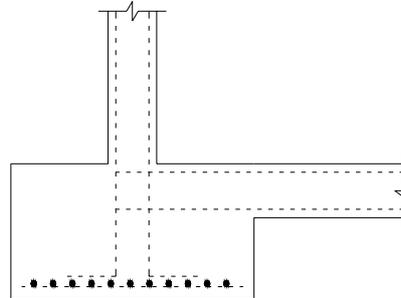


Fig. 1.2b Perfil de la zapata

La zapata, según se aprecia en la figura anterior, presenta voladizos que sobresalen de la columna en ambas direcciones y reciben presión del terreno hacia arriba que provoca esfuerzos de tensión en el fondo de la zapata. Las zapatas son, por lo tanto, reforzadas mediante dos parrillas de acero, perpendiculares entre sí y paralelas a los bordes, que por flexión solicita. Puesto que estos voladizos son frecuentemente de poca luz, el esfuerzo de corte y la adherencia son normalmente más críticos que la flexión y merecen por lo tanto mayor atención.

En muchas ocasiones se presenta la posibilidad de tener las zapatas de borde de tal manera que la distribución de cargas no sea uniforme, como aquellas zapatas que se encuentran en linderos de la propiedad, presentándose la posibilidad de que la zapata se incline y consecuentemente flexione la columna. En estos casos la mejor solución corresponde al uso de zapatas interconectadas por vigas de cimentación.

1.2.3 Losa de cimentación

La losa de cimentación se usa cuando:

- El área de zapatas ocuparía más del 50% de la planta del edificio para la presión admisible del terreno.
- Se requiere un sótano estanco bajo el nivel freático (solución a combinar con muros y pantallas también impermeables).
- Se desean reducir los asentamientos diferenciales en terrenos heterogéneos o con inclusiones o defectos erráticos.
- Interesa conseguir una mayor presión de trabajo aprovechando la descarga producida por la excavación de sótanos, y construyendo una cimentación compensada.

Por tanto la losa de cimentación resulta de la combinación de zapatas combinadas por dimensiones amplias, por la cercanía de las columnas que soportan altas cargas de trabajo en suelos de baja resistencia, para evitar superposiciones, secciones gruesas que son antieconómicas. (Ver Fig. 1.3a y 1.3b).

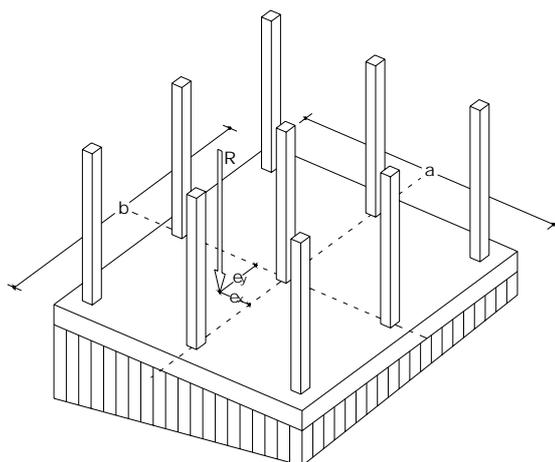


Fig. 1.3a Elevación de la losa de cimentación

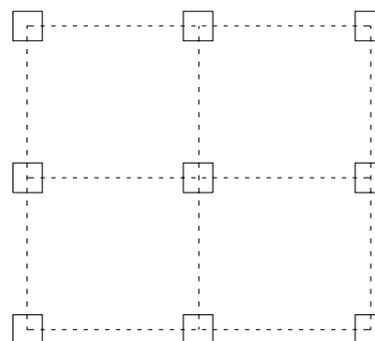


Fig. 1.3b Planta de la losa de cimentación

Muchas veces son arriostradas con vigas para rigidizarlas, resultando entonces un sistema de losas apoyadas perimetralmente. A pesar de su aparente sencillez estructural, las losas requieren una ejecución y control cuidadoso en lo que respecta a la colocación de las armaduras, puesta en obra del hormigón y juntas del hormigonado, etc.

En el aspecto económico la losa de cimentación es costosa para edificios de poca altura (menos de 6 plantas).

1.2.4 Profunda (Pilotaje)

Los pilotes según Tomlinson “son piezas relativamente largas y delgadas utilizadas para transmitir cargas de cimentación a través del estrato del suelo de poca capacidad de carga hacia estratos de suelo o roca más profundos y con mayor capacidad de carga”. (Ver Fig. 1.4).

La cimentación profunda se usa cuando:

- Existe problema inminente de licuación de suelos.
- Se quiere reducir o limitar los asentamientos en los edificios.
- La permeabilidad u otras condiciones del terreno impiden la ejecución de cimentaciones superficiales.
- Las cargas son muy fuertes y concentradas (caso de torres sobre pocos pilares).
- Los suelos son altamente compresibles y débiles, expansivos y colapsables, con alto contenido de humedad, nivel freático alto, entre otros.

Por consiguiente el uso de uno u otro tipo de pilote requiere de la ponderación de diversos factores provenientes del terreno, tipo y tamaño de obra. Pueden ser vaciados in situ o prefabricados e hincados a presión. Su longitud puede ser variable e incluso hecha por diferentes materiales.

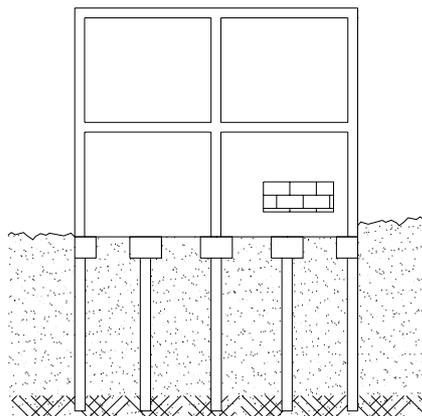


Fig. 1.4 Cimentación sobre pilotes.

1.3 Problemas especiales de cimentación

La Norma técnica E.050 - Suelos y cimentaciones, del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento identifica un conjunto de problemas relacionados a los suelos y las cimentaciones para seguir acciones preventivas que garanticen la solidez de las edificaciones. Estos problemas y sugerencias son:

“Suelos Colapsables. El Profesional Responsable efectuará el estudio correspondiente para descartar o verificar la existencia de suelos colapsables, cuando éstos puedan afectar a la estructura.

Ataque Químico a las Cimentaciones. En los lugares donde haya sospecha del ataque químico a las cimentaciones, deberán llevarse a cabo investigaciones para estudiar a esta posibilidad. El estudio del ataque químico a las cimentaciones debe efectuarse mediante análisis químicos del agua y del suelo.

Suelos Expansivos. El Profesional Responsable efectuará el estudio correspondiente para descartar o verificar la existencia de suelos expansivos, cuando estos puedan afectar a la estructura.

Licuación de Suelo. El Profesional Responsable efectuará el estudio correspondiente para descargar o verificar la ocurrencia del fenómeno de licuación en los suelos ubicados bajo la napa freática.”

1.3.1 Alto potencial de licuación en arenas sueltas

Involucra al movimiento lateral de las capas superficiales del suelo como resultado de la licuación y pérdida de la resistencia de capas inferiores. Pueden ser pocos metros aunque en situaciones extraordinarias pueden llegar a varios metros acompañado de grietas y desplazamientos diferenciales verticales en el terreno, que genera un tipo de falla seria, aunque poco común. La pérdida de capacidad portante que produce grandes deformaciones en el suelo, ocasiona el asentamiento, inclinación o flotación de la estructuras.

1.3.2 Presencia de arcillas expansivas

Se llaman arcillas expansivas a aquellas que presentan cambios recurrentes en su volumen por la presencia de humedad. Muchas edificaciones cimentadas sobre arcillas expansivas han sufrido daños considerables. Por ejemplo, pequeñas zapatas que soportando pequeñas cargas son fácilmente levantadas o movidas por arcillas expansivas, mientras que las grandes zapatas soportando cargas pesadas son susceptibles a rajarse por estas variaciones de volúmenes de arcillas, aún cuando ambas sean calculadas bajo la misma presión de contacto. (Ver anexo D: Fotos No. 1, 2, 7 y 8).

Cuando la arcilla se encuentra a considerable distancia bajo la superficie no se expande y contrae tanto como cuando se encuentra cerca de la superficie, ya que la primera es menos afectada por la presencia de humedad. Por lo tanto, los daños por levantamiento de las zapatas pueden ser reducidos colocando éstas a un nivel inferior al de las arcillas expansivas.

Las arcillas expansivas se caracterizan a menudo por su alto límite líquido y un alto índice de plasticidad como consecuencia de un alto contenido de minerales activos. Cuando se encuentran estos tipos de arcilla es necesario efectuar la prueba de expansión libre, de presión de expansión y de límite de contracción en estado natural del suelo. Algunas arcillas presentan presiones de expansión hasta 10 kg/cm^2 .

1.3.3 Humedad del suelo

Otro problema es encontrarnos con terrenos húmedos en combinación con presencia de sales o elementos nocivos para el concreto de las cimentaciones. Entre ellos destacan los sulfatos, los cloruros y el magnesio.

Los efectos de estas condiciones agresivas dependen de la presencia del agua, presión y de la permeabilidad del terreno, así como de las dimensiones expuestas de la cimentación y de la calidad del concreto empleado.

Podemos clasificar a las humedades de la siguiente manera:

- Humedades por capilaridad.
- Humedades por filtración.
- Humedades por condensación.
- Humedades accidentales.

Humedades por capilaridad. Presente en los elementos verticales como muros de sótanos, muros perimetrales, ascendiendo desde el nivel del suelo hasta alturas muy distintas.

Humedades por filtración. Esta humedad es detectada en la cara interior del muro, y afecta por regla general a cualquier elemento constructivo que esté en contacto con el ambiente exterior.

Humedades por condensación. Esta humedad se detecta en los revestimientos interiores del muro, a consecuencia de existir en el interior del edificio una temperatura ambiental interior a la temperatura exterior.

Humedades accidentales. Esta humedad aparece en forma espontánea y son visibles en poco tiempo, se producen a consecuencia de la rotura de tuberías de agua o de saneamiento; como es de suponer, su reparación tiene que ser de la máxima urgencia, con los oficios necesarios para dejarlo en perfectas condiciones.

Actualmente el problema se soluciona con relativa facilidad mediante el empleo de cementos especiales o sistemas impermeabilizantes. Sin embargo, en determinados casos la agresividad de origen industrial (ácidos fuertes) no es suficiente con variar el tipo de cemento o impermeabilizantes, sino se debe recurrir a proteger las cimentaciones con revestimientos especiales (metálicos, cerámicos antiácido, plásticos, etc.).

Las humedades se transmiten a través de la cimentación, desde el terreno a la edificación (Ver Fig. 1.5) y se manifiesta en asentamientos provocando grietas, humedades, eflorescencias, microorganismos, fisuras y desprendimientos que poco a poco disminuyen la eficiencia de los elementos estructurales. (Ver anexo fotos 4, 5 y 6).

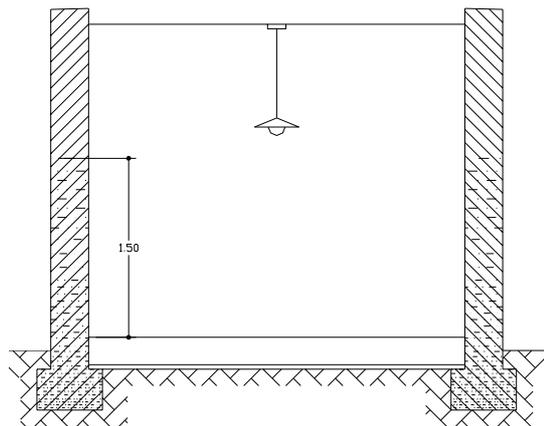


Fig. 1.5 Transmisión de la humedad a través de la cimentación desde el terreno hacia el edificio (aproximadamente 1.5m de alcance).

Humedad: Es consecuencia de la falta de impermeabilización del revestimiento aplicado, por mala colocación o uso de materiales de dudosa calidad; y en el caso del ladrillo de arcilla, por cocción del mismo y permeabilidad muy alta, lo que origina una absorción de agua de lluvia con la aparición de humedad en el interior y futuras disgregaciones del material por bajas temperaturas.

Eflorescencias: Es causa de la humedad, la entrada del agua reacciona con las sales de los materiales del muro, emigrando al exterior por efecto osmótico donde cristalizan evaporando el agua y dejando un precipitado, generalmente blanco, es la superficie que da un aspecto desagradable, generalmente en las fachadas. (Ver anexo D: Fotos 9, 10 y 11).

Erosiones: Por la misma causa del anterior, la entrada del agua, al tener el muro o los elementos un alto índice de porosidad abierta y además de cambios térmicos, el agua absorbida aumenta con las bajas temperaturas, produciendo un efecto de reventamiento en la masa del material con la caída por gravedad, dejando al descubierto el mismo y repitiéndose el ciclo destructivo.

Microorganismos: Es producida por el asentamiento de colonias de organismos vivos que se desarrollan con la humedad remanente del muro, por la falta de soleamiento, dando lugar a la aparición de hongos, mohos, musgos, etc.

Grietas y fisuras: Producida por acciones mecánicas o térmicas en los elementos constructivos del edificio. Se originan en los materiales de acabados por motivos diferentes como:

- No respetar las juntas de construcción.
- Los cambios higrotérmicos.
- Las retracciones de morteros hidráulicos.
- La corrosión de las armaduras en hormigones y morteros.
- El defecto de fabricación del material.

Desprendimientos: Tienen su origen en dos causas muy distintas: la primera, es la absorción del agua de lluvia; y, la segunda los reventamientos por cambios térmicos de los revestimientos, elementos ornamentales, etc., por la entrada del agua en el muro.

1.3.4 Suelos inundables en épocas lluviosas

Las abundantes precipitaciones y los deficientes sistemas de drenaje, producen en la napa freática incrementos de nivel en periodos cortos, generando zonas inundables y si se da el caso, un alto potencial de licuación en suelos de arenas sueltas.

Los efectos de las precipitaciones extraordinarias escapan a los alcances del presente estudio; pero a grandes rasgos se puede mencionar algunos de ellos como la erosión de los depósitos eólicos, formación de suelos colapsables, la formación de lagunas, formación de quebradas, inundación de riberas y daño de la infraestructura (puentes, colectores, vías, zonas urbanas, etc). Aún terminada la etapa de lluvias, permanecen las lagunas en las zonas bajas debido al afloramiento de la napa freática por recarga y saturación del suelo. (Ver anexo D: Fotos 3)

La existencia de un nivel freático alto constituye un factor de gran importancia en el proyecto y ejecución de cimentaciones. Sus efectos están asociados a la naturaleza del terreno y en particular a su permeabilidad. La acción más directa se traduce en empujes hidrostáticos sobre los muros del sótano y subpresiones sobre las obras de cimentación.

Cuando los niveles freáticos son superficiales aumenta el riesgo de licuación; más no elimina la posibilidad de licuación a profundidades mayores, en arenas sueltas.

Los casos frecuentes de inundaciones pueden considerarse los siguientes:

a. En suelos arcillosos blandos

La saturación del terreno por el agua freática presta a este una consistencia blanda o fluida lo que da lugar a una resistencia baja, permitiendo presiones de trabajo muy pequeñas, y a problemas de estabilidad en los taludes y fondo de excavaciones.

La fluencia lateral de los taludes puede inducir asientos y deformaciones en los edificios adyacentes, y generalmente recurrir al empleo de pantallas in situ, las cuales deben calcularse para fuertes empujes.

Por otra parte, el levantamiento del fondo también puede inducir inestabilidad periférica y, aun sin llegar a la fase de rotura, la carga del terreno subsiguiente a la excavación suele dar lugar a los asientos considerables.

b. En suelos arcillosos duros o consolidados

La presencia del nivel freático se traduce en pequeños caudales de agua hacia las excavaciones, a través de lisos y fisuras, sin llegar a afectar a taludes moderados o a la capacidad portante del terreno.

Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que la posición más frecuente del nivel freático suele marcar una zona de menor resistencia, generalmente en una franja de 1-2 m de espesor. Es importante evitar esta zona, quedándose por encima o por debajo de la misma. No es raro el caso en que por profundizar excesivamente el suelo en busca de un terreno más firme empeoran bruscamente las condiciones de cimentación al alcanzar el nivel freático.

Algo diferente es el caso en que los suelos presentan características de expansividad. Cuando mayor sea la proximidad al nivel freático menor será el riesgo de cambios de volumen, si bien es necesario llegar a un compromiso entre esta condición y el riesgo de reducción de la capacidad portante.

c. En suelos arenosos

Debido a su elevada permeabilidad debe evitarse la cimentación bajo el nivel freático. Si ello resulta necesario, (por ejemplo, para construir sótanos) se impone la construcción de un recinto estanco (pantallas, tablaestacas, etc.) y un agotamiento de agua que puede penetrar por el fondo. Si existiera riesgo de sifonamiento habría que lograr rebajar el nivel mediante pozos, well-point, etc.

En razón de la permeabilidad las oscilaciones de los niveles freáticos pueden ser importantes en estos suelos, por lo que es aconsejable una determinación precisa de los mismos en distintas épocas del año. La cimentación debe colocarse por encima del nivel máximo posible al ras del nivel a fin de evitar que la inmersión posterior del terreno en la zona de influencia de las cimentaciones dé lugar a fenómenos de colapso o asientos bruscos, tanto más importantes cuanto más flojo esté el suelo en su estado original.

Es importante mencionar el fenómeno del Niño de 1983, no sólo por el grado catastrófico, sino también porque produjo muchos cambios en las características de la ciudad.

1.4 Identificación de zonas con problemas.

El Perú, tras su geomorfología tiene una gran diversidad de suelos que están continuamente en movimiento transformándose constantemente. Es conveniente identificar los suelos para prever oportunas soluciones. En el mapa de la figura 1.6 se muestra al Perú resaltando algunas zonas con alto potencial de licuación.

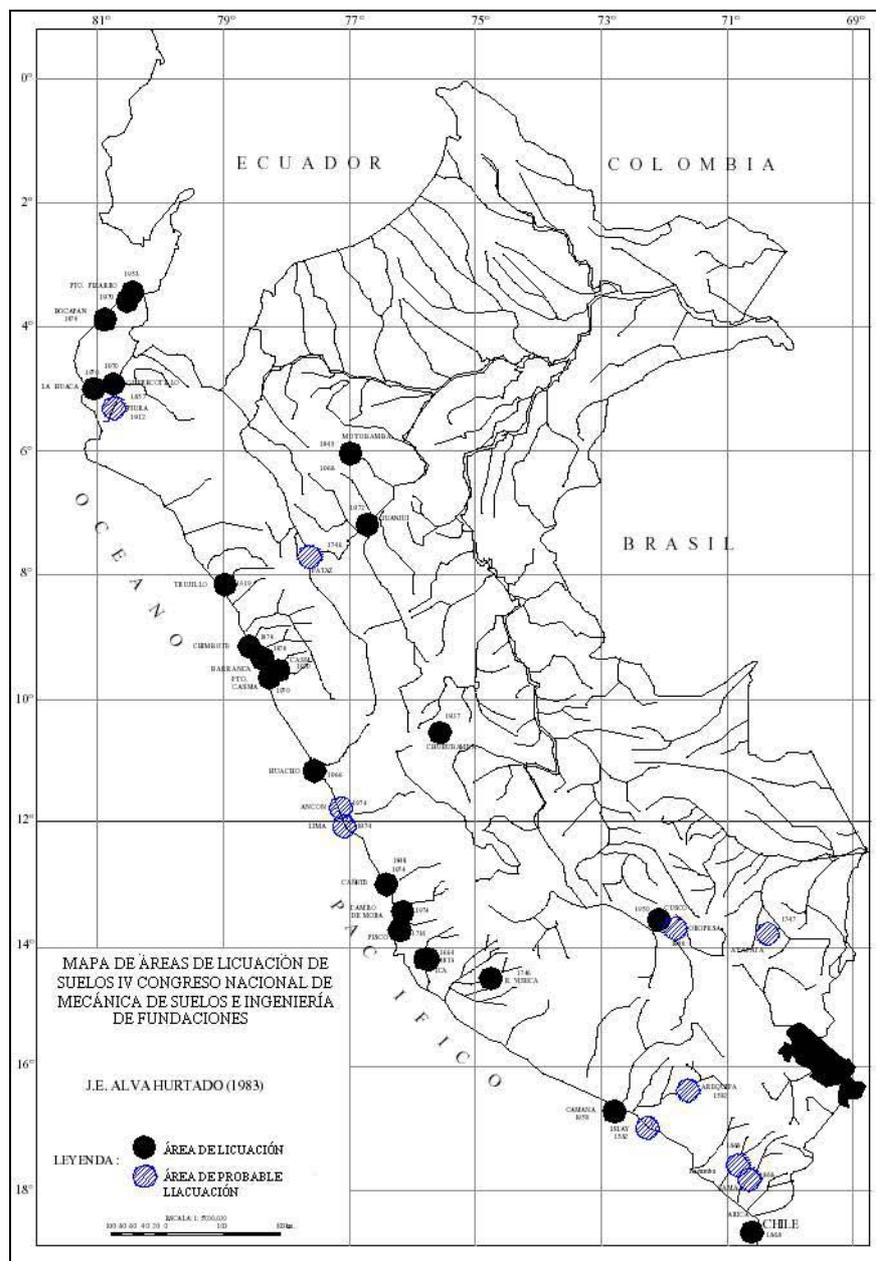


Fig. 1.6 Mapa del Perú y algunas zonas donde se ha observado un alto potencial de licuación según Jorge Alva Hurtado.

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE CIMENTACIONES FRECUENTEMENTE USADOS PARA LAS EDIFICACIONES EN SUELOS CON PROBLEMAS

El conocimiento de las principales características físicas y comportamiento de los suelos es de fundamental importancia para la elección de la cimentación que se va a emplear en una edificación. Una atinada interpretación puede predecir el futuro comportamiento de la edificación en un terreno bajo cargas cuando dicho terreno presente diferentes grados de humedad.

Este capítulo muestra las soluciones que frecuentemente suelen emplearse para proporcionar el medio para que las cargas de la estructura, concentradas en columnas o en muros, se transmitan al terreno produciendo en éste un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad ante los terrenos con problemas referidos en el capítulo I.

2.1 Características básicas para definir la adecuada cimentación

Para elegir acertadamente un tipo de cimentación es necesario seguir el proceso que a continuación se indica:

- a. Estudio de cargas y compatibilidad entre el tipo de cargas y las características del subsuelo (según tipo de estructura), llevando a cabo los análisis cuidadosos y los más cercano posible a la realidad.
- b. Determinación de la capacidad de carga del suelo y cálculo de los asentamientos probables en la cimentación (previo estudio de suelos).
- c. Preparación de varios anteproyectos de los diferentes tipos posibles de cimentación.

Asimismo se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Condicionantes impuestos por los edificios próximos.
- Proceso constructivo.
- Adaptabilidad
- Economía

Además para la selección del tipo de cimentación más conveniente de acuerdo con las características mecánicas del subsuelo, para que los asentamientos tanto totales como diferenciales queden dentro de los límites permitidos, según el tipo de estructura, que propone el Ing. Carlos Crespo Villalaz, se puede seguir los siguientes lineamientos:

- “Usar zapatas aisladas en suelos de baja compresibilidad (C_c menor a 0.20) y donde los asentamientos diferenciales entre columnas pueden ser controlados, empleando el método de asentamientos iguales; incluyendo juntas en la estructura, o cuando se tenga una estructura con cierta flexibilidad en su comportamiento.
- Cuando se encuentran suelos con compresibilidad media (C_c entre 0.2 y 0.4), para mantener los asentamientos dentro de ciertos límites, conviene emplear zapatas continuas rigidizadas con vigas de cimentación. La intensidad de las cargas indicará si se unen las zapatas en una o más direcciones.
- Cuando las cargas sean bastante pesadas y al emplear zapatas continuas éstas ocupen cerca del 50% del área del edificio en planta, es más económico usar una sola losa de cimentación.
- En aquellos suelos que presenten una compresibilidad mediana, alta o muy alta, y que además tengan baja capacidad de carga, es recomendable el uso de cimentaciones compensadas. Estos suelos pueden presentar un índice de compresión C_c desde 0.2 hasta más de 0.4.
- Cuando la cimentación por compensación no sea económicamente adecuada para soportar las cargas, pueden combinarse la compensación parcial y pilotes de fricción.
- Cuando las cargas sean demasiado elevadas conviene, para el caso de suelos de baja capacidad de carga, usar pilotes de punta apoyados en un estrato resistente.” (Crespo,1996)

2.2 Cimentaciones en terrenos con problemas

En terrenos donde las deformaciones pueden ser grandes es preciso tener mucho cuidado al proyectar las cimentaciones a efecto de que al hacerlo éstas sean adecuadas.

A ejemplo de observación, tomando lo que señala el Ing. Villalaz, (ver Fig. 2.1), en donde las cargas P y P' están soportadas por las zapatas cuadradas cuyos lados son, respectivamente, L y L' de tal manera que si se dividen las cargas P y P' entre las áreas de contacto respectivas se encuentra el mismo esfuerzo. Si se analiza lo que puede suceder en los planos 1, 2, 3, etc., para lo cual hay que suponer una cierta ley de transmisión de carga en el seno del terreno, como por ejemplo la de 2 en 1 ya conocida. (Ver tabla 2.1).

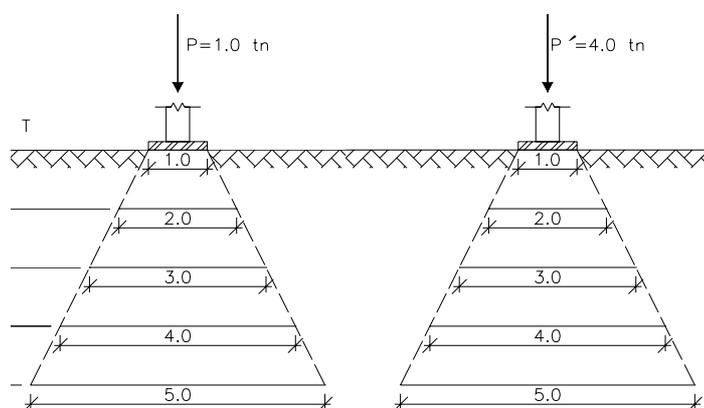


Fig. 2.1 Reacción del suelo ante cargas P y P' .

Tabla 2.1: Comparación de soporte de carga P y P' según diferentes planos.

Planos	$P = 1 \text{ tn}$			$P' = 4 \text{ tn}$		
	L (m)	L2 (m ²)	O1 (tn/m ²)	L' (m)	L2 (m ²)	O1 (tn/m ²)
T	1.0	1.0	1.000	2.0	4.0	1.0
1	2.0	4.0	0.250	3.0	9.0	0.445
2	3.0	9.0	0.112	4.0	16.0	0.250
3	4.0	16.0	0.0625	5.0	25.0	0.160
4	5.0	25.0	0.040	6.0	36.0	0.112

Entonces de la tabla anterior se puede ver que las presiones bajo las zapatas sólo son iguales en el renglón T, es decir, en el correspondiente a la superficie de contacto entre cemento y terreno.

A medida que se profundiza dentro del seno del terreno se nota las presiones producidas por la carga P' son mayores que las originadas por P . De esto se deduce que, estando sometidos los diferentes planos a distintas presiones debajo de las dos cargas y siendo mayores las que producen P , habrá mayores y más rápidos asentamientos debajo de P' que los que se producen debajo de P . Por lo tanto, puede notarse que para conseguir una cimentación estable, de manera que todos los puntos desciendan cantidades iguales a las mismas velocidades, no tiene sentido alguno el concepto de las presiones de contacto, ya que de todas maneras las cargas distintas se asentarán con diferente rapidez y aún más si se

trata de terrenos con presencia de humedad e incluso agentes contaminantes que debilitan las cimentaciones, como lo demostró el autor referido.

2.2.1 Cimentaciones en terrenos con potencial de licuación en arenas sueltas

Las cimentaciones apropiadas para este tipo de terreno suelen ser en muchos casos, cimentaciones antieconómicas como losa de cimentación (de gran espesor), cimentación profunda (pilotes), cimentación con cimientos corridos previo tratamiento del terreno que muchas veces suelen alcanzar apreciable profundidad y espesor amplio para obtener mayor rigidez, este tipo de terrenos pueden concentrar mayor actividad sísmica por el efecto de licuación, por lo que tienen que hacer frente a fuerzas laterales importantes.

La losa es una solución muy frecuente cuando las cargas son importantes, para edificaciones por ejemplo edificios de más de 6 plantas, siempre que el terreno tenga una capacidad portante media a baja. Si el terreno es arena suelta o de resistencia muy baja existe riesgo de rotura general (salvo en losas muy extensas) o de grandes asentos por la gran profundidad afectada, en cuyo caso no es una solución apropiada salvo que se mejore previamente el terreno o se reduzcan los asentos, por ejemplo, combinando una losa con pilotes. Los asentos son casi inevitables cuando el estrato firme está muy profundo.

Cuando se quiere pilotear en arenas sueltas, interesa conseguir estabilidad en el terreno, por lo que se emplea los pilotes prefabricados hincados y los apisonados al amparo de una entibación considerable, con bulbo tipo Franki en la base.

Puede existir problemas en la perforación del suelo para atravesarla con pilotes que se sifonan. Asimismo, este problema se torna más grave cuando hay presencia de corrientes considerables de agua.

2.2.2 Cimentaciones en terrenos flexibles u arcillas expansivas

Pueden cimentarse directamente sobre terrenos arcillosos o limosos, siempre que sean y permanezcan secos y que formen estratos de 3 metros de altura como mínimo. Se procurará la máxima uniformidad en el reparto de cargas sobre las cimentaciones.

En caso de cimientos corridos, se profundizará lo suficiente para que la capa de terreno donde se asiente la cimentación no sea afectada por la acción de los agentes atmosféricos. Es necesario tomar como coeficiente de trabajo el obtenido experimentalmente sobre el terreno humedecido o mojado, a fin de evitar grietas en los edificios debido a la desigualdad de asentos.

Se suele hacer una losa de cimentación flexible, de manera de no restringir el movimiento del terreno. Consiste en excavar unos 50 cm debajo de vigas de la losa y luego colocar material en estado suelto a fin de que la arcilla tenga espacio para sus movimientos de expansión y contracción. En muchos casos, poner paja o hierba empacada en el fondo de las zanjas para la vigas ha dado muy buenos resultados, ya que cuando la arcilla comienza a hincharse ella comprime la paja evitando así que se presione fuertemente sobre las vigas y evita que se levante y dañe (ver Fig. 2.2); haciéndolo de concreto armado soportado

sobre un marco estructural y dejando un espacio en su parte inferior para que la arcilla pueda sufrir cualquier hinchazón sin estar en contacto con la parte inferior de la losa. La mayor cantidad de experiencias ha sido registradas por el Ing. Villalaz, Carrillo A. G., F. Ulsamer Puiggari, J. Coscollano Rodríguez entre otros.

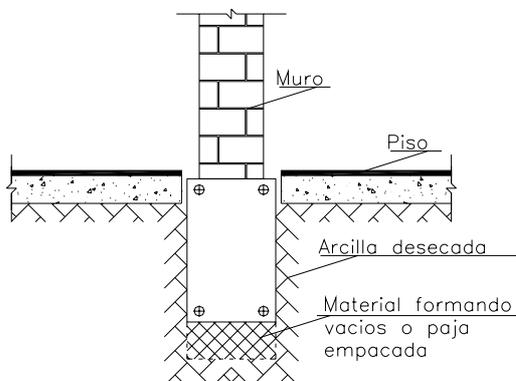


Fig. 2.2 Aislamiento del cimiento mediante un material que proporcione vacíos.

Otro método usado sólo ocasionalmente, ya que no es completamente seguro, consiste en remover la arcilla unos 30 cm y colar sobre ella el piso armado. (Ver Fig. 2.3).

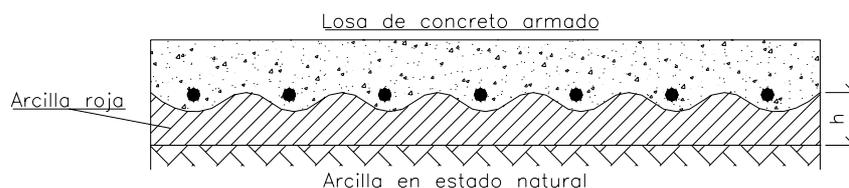


Fig. 2.3 Losa de concreto armado en la capa de arcilla tratada.

Si la arcilla es del tipo expansiva, el método anterior puede resultar satisfactorio y evitar así daños al piso y a la construcción. Sin embargo, es necesario adaptar la profundidad a las circunstancias y condiciones existentes, o sea que el volumen que debe comprimirse la arcilla floja debe ser mayor, o por lo menos igual al volumen que se hinchará la arcilla en estado natural bajo la capa removida del terreno.

Un método efectivo para proveer vacío bajo losas de piso colocadas sobre suelo expansivo y dentro del cual la arcilla puede hincharse sin producir presión de levantamiento es mediante el empleo de cajas de fibra de plástico o de concreto colocadas. (Ver Fig. 2.4a y 2.4b).

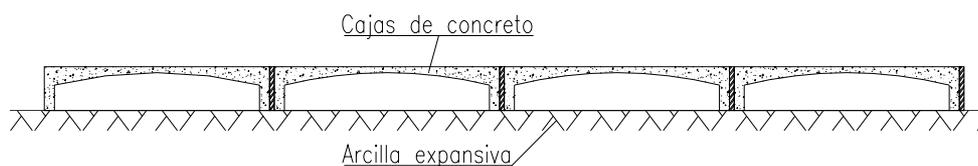


Fig. 2.4a Perfil

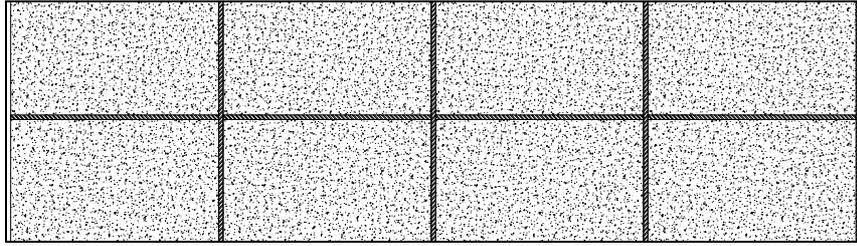


Fig. 2.4b Planta

Se pueden emplear cajas o tubos o bloques encajonados, en reemplazo de cajas de concreto como se muestra en la figura 2.5.

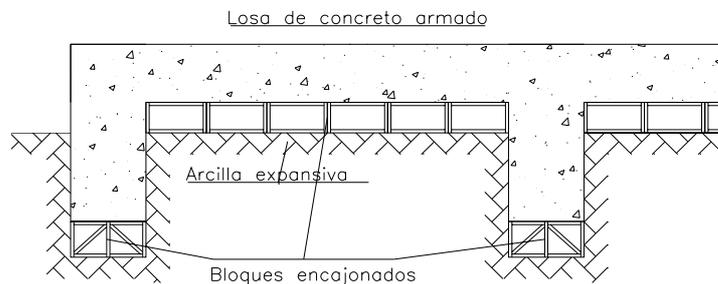


Fig. 2.5a Losa sobre cajas de cartón.

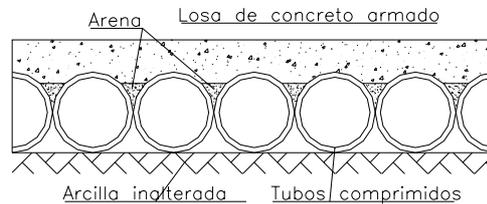


Fig. 2.5b Losa sobre tubos de cartón.

Es decir ir acorde con la flexibilidad del terreno para así no producir falla en las edificaciones, pero estos métodos muchas veces fallan o se impregnan de humedad y en vez de arreglar un problema, conservan otros, por lo cual es conveniente evitar el contacto directo con el terreno de estas estructuras.

Muchas veces cuando se colocan vigas de cimentación sobre arcillas, dichas vigas pueden sufrir desde fisuras hasta roturas debido a la presión que sobre ellas provoca la arcilla al expandirse. Aún cuando las vigas hayan sido reforzadas para resistir alta presión, el levantamiento o movimiento de los soportes de las vigas pueden causar tanto daño como si las mismas vigas se reventaran. Hay que insertar cierto vacío bajo las vigas a efecto de que la arcilla pueda sufrir expansión sin ejercer presión de levantamiento sobre la viga.

Para este tipo de terrenos es conveniente usar cimentación profunda o emplear sistema de pilotaje para lograr levantar el edificio y no quede apoyado directamente sobre el terreno,

de esta manera lograr que el terreno conserve su movimiento natural sin producir daños a la edificación. El uso de cimientos corridos y sobrecimientos armados, previo tratamiento del terreno, es otra forma de cimentar en este tipo de suelos.

En muchos países existen recomendaciones o normas constructivas como un tratamiento previo para evitar daños en las estructuras en concordancia con la magnitud de la expansión total esperada o que pueda ser anticipada antes de la construcción. Así en Sudáfrica el Ing. J. Coscollano Rodríguez, sugiere adoptar las siguientes recomendaciones de la tabla 2.2:

Tabla 2.2: Recomendaciones empleadas en Sudáfrica.

Expansión		Tratamiento Constructivo
Pulgadas	Centímetros	
0 – ¼	0 – 0.6	No hay precauciones especiales.
¼ - ½	0.6 – 1.2	Juntas de construcción y refuerzo mínimo.
½ - 2	1.2 – 5	Edificaciones flexibles “split-construction”.
2 – 4	5 – 10	Pilares superficiales o columnas cortas combinadas con la construcción flexible.
Mayor de 4	Mayor de 10	Pilotes o pilares de cimentación colocados hasta la profundidad conveniente donde el suelo se considere estable, con vigas de cimentación colocadas por encima del terreno.

2.2.3 Cimentaciones en terrenos de alto contenido de humedad

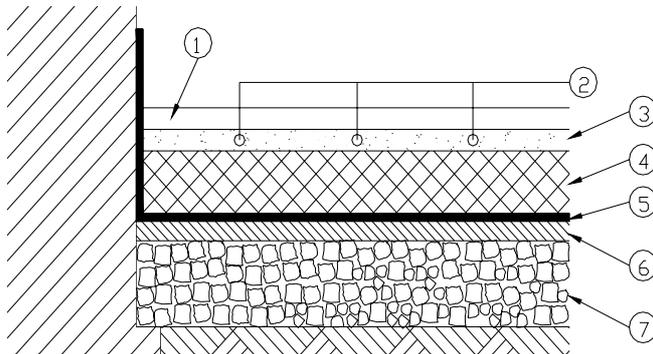
De la misma manera que el ítem 2.2.2, el objeto es evitar las humedades que por capilaridad, filtración, condensación y accidentales aparezcan en muros y en el edificio a través de su cimentación, y evitar las posibles eflorescencias. Si el terreno es demasiado húmedo, es necesario hacer un tratamiento de terreno para así verter en él, mezcla de concreto impermeabilizado y tratado para cimentaciones con cimientos corridos, como hemos experimentado en Cañete. (Ver anexo fotos No.16 y 17).

Cuando la cimentación del edificio es mediante zapatas, la resistencia del terreno es vital para la ejecución de las mismas, supeditando ésta a un “pilotaje” previo o posterior de la zapata. Las zapatas de las columnas de la estructura están sometidas a una agresión continuada por el agua, ya bien sea por la humedad del terreno, aguas subterráneas y nivel freático, que ataca al hormigón que las configura por la propia capilaridad de él, lo cual exige una protección importante y resistente a la acción el agua.

Para realizar los trabajos de protección, se entiende que el nivel freático tiene que estar por debajo de la base de la zapata, mediante bombas aspirantes u otros medios, que permitan trabajar sin presencia de agua. Se debe impermeabilizar las superficies en contacto directo con el terreno y en los muros laterales si se trata de un terreno con alto contenido de humedad.

Cuando se tratan edificaciones en terrenos con humedades, los autores como F. Ulsamer Puiggari y J. Coscollano Rodríguez, plantean diversas formas de tratamientos en cimentaciones convencionales como las que resaltamos a continuación:

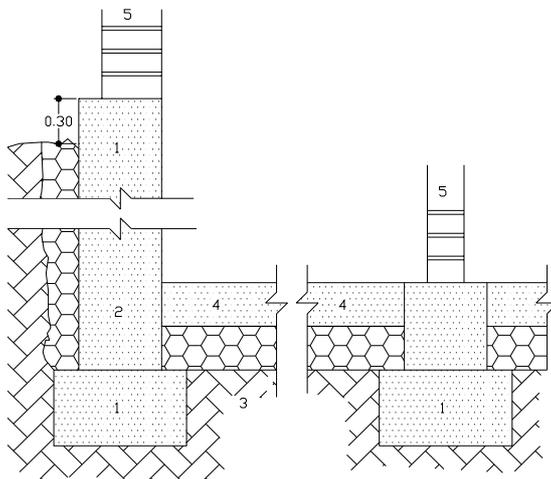
1er tratamiento:



1. Cualquier piso terminado.
2. Rollos caloríficos.
3. 5cm de arena seca.
4. Piedra pómez.
5. Asfalto.
6. Capa de piedra pómez con puzolana.
7. Capa de piedra granular para drenaje.

Fig. 2.6 El suelo radiante con rollos caloríficos empotrados en la capa de arena seca (se excluyen madera, linóleo y caucho).

2do tratamiento:

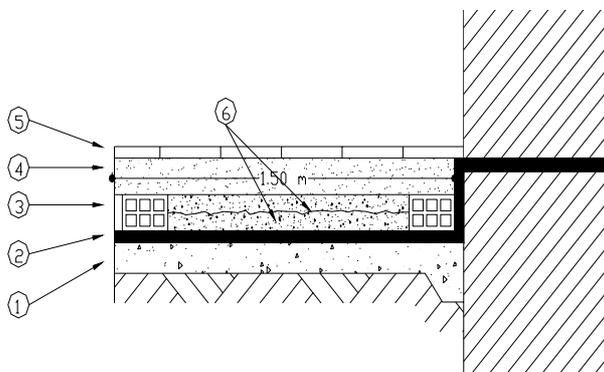


Orden de ejecución de los trabajos.

1. Hidrofugado.
2. Muros de hormigón en masa, impermeabilizados hasta 30 cm sobre rasante del terreno.
3. Pedraplén anticapilar.
4. Losa de hormigón hidrofugado.
5. Muros sobre rasantes, muros interiores, pilares, etc. Sin impermeabilizar.

Fig. 2.7 Ejemplo de impermeabilización de unos cimientos

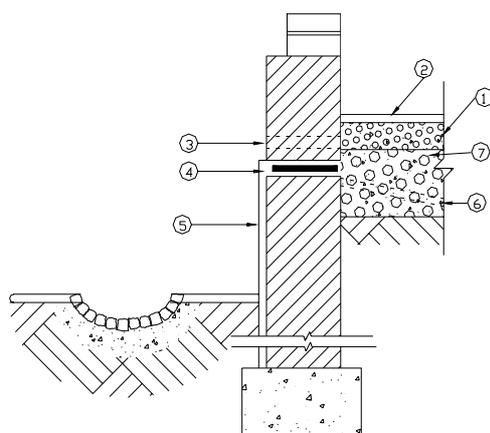
3er tratamiento:



1. Falso piso: 10 cm.
2. Cama de asfalto: 3 cm.
3. La fila de ladrillos firmes dispuestos para llenar entre ellas con piedra suelta seca, comprimida con 2 capas de emulsión de grasa 10 cm.
4. Piedra, gránulos de arcilla y mortero de la cal sin cemento 12 cm.
5. Enlosado: 5 cm.
6. 2 carpetas impermeables con emulsión asfáltica: 40cm.

Fig. 2.8 Pueden reforzar su falso piso con las paredes durmientes cortas y que pueden simplificarse eliminando el largo de los azulejos llanos. Como los ejemplos precedentes, este sistema es también eficaz contra la humedad. Su resistencia termal es $R = 1.30$.

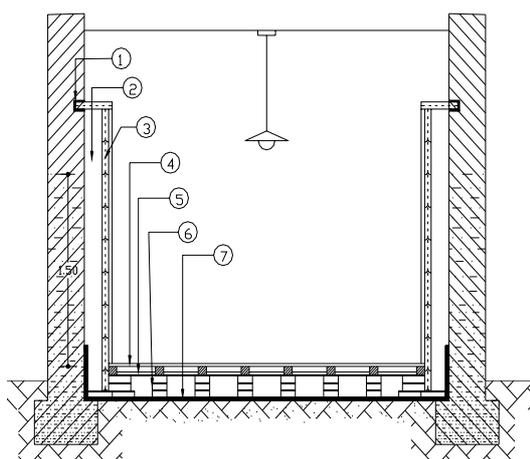
4to tratamiento:



1. Hormigón 8 cm.
2. Embaldosado.
3. Ventilación.
4. Junta aislante.
5. Revoque impermeable.
6. Grava.
7. Drenaje en tubos de 10 cm de diámetro.
8. Distancia entre ejes 1.5m

Fig. 2.9 Tratamiento a base de drenaje y uso de elementos impermeables.

5to tratamiento:



1. Junta
2. 3cm de aire
3. Madera del pino 2.5 cm
4. Capa de madera
5. Capa de piedra
6. Paredes durmientes
7. La membrana de prueba-húmeda.

Fig. 2.10 La restauración seca de un cuarto muy húmedo en una casa rural, usando una cobertura delgada

Una vez optada por la cimentación conveniente, se puede decidir por cualquier sistema de tratamiento contra la humedad en los edificios. Aunque en la realidad poco se aplican estos sistemas porque suelen ser incómodos y antieconómicos o simplemente no se conocen estos métodos.

2.2.4 Cimentaciones en terrenos con probabilidad de inundaciones

Es preciso saber si el terreno donde se va a construir es vulnerable a inundaciones para tomar las precauciones necesarias, aunque por considerarse zonas de riesgo es preferible no edificar en ellas. Es posible que esta inundación tenga ciclos ocasionales o prologados, más aún cuando somos concientes de esta posibilidad por la recurrencia del fenómeno del

Niño que genera periodos de sequedad y humedad prolongadas, que alteran el sistema geomorfológico.

En este caso, por estar constituido por terreno inundable, generalmente es preferible construir sobre cimentaciones especiales o una previa consolidación artificial del terreno antes de cimentar sobre dicho terreno. Este tipo de suelos pueden llevar consigo agentes contaminantes que degradan gradualmente el concreto, por ende es conveniente un análisis químico para averiguar su composición, dado que si contienen sustancias nocivas y en grado suficiente para descomponer aquellos morteros u hormigones, se empleen aditivos que mejoren la durabilidad del concreto.

Una de las cimentaciones especiales es el uso de pilotes, y cimentación con cimientos corridos previo tratamiento del terreno, además de conseguir levantar el nivel del suelo mediante movimientos de tierras encarecen la obra, muchas veces suelen darle más profundidad al cimiento, aunque esta solución muchas veces no conserva funcionalidad.

Resumen según el tipo de cimentación para cada tipo de terreno con problemas

No siempre la solución más adecuada y económica se consigue con los tipos tradicionales de cimentación, si bien el apartarse de la rutina requiere una considerable experiencia y especialización, se han registrados variadas alternativas como las que se resumen en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Resumen uso de cimentaciones en terrenos con problemas.

		Terrenos con problemas			
		Licucción en arenas sueltas	Levantamiento de arcillas expansivas	Humedad del suelo	Suelos inundables en épocas lluviosas
Tipo de cimentación	Cimientos corridos	Cierto riesgo Profundos y antieconómicos	Cimientos corridos y sobrecimientos armados y profundos	Si, previo tratamiento con movimiento de tierras	Mantenimiento permanente y movimiento de tierras
	Zapatas mixtas	Es posible, con vigas de cimentación	Riesgo a deteriorarse las vigas de cimentación	Si, previo tratamiento con movimiento de tierras	Mantenimiento permanente y movimiento de tierras
	Losa de Cimentación	Gruesas	Siempre que sea edificios pesados.	Si, previo tratamiento	Mantenimiento permanente
	Profunda (Pilotaje)	Grupo de pilotes hasta el estrato firme	Conveniente	Si, previo tratamiento	Mantenimiento ocasional

CAPÍTULO III

SISTEMA DE CIMENTACIÓN SOBRE PILOTES CORTOS

En el capítulo II se ha tratado acerca de los sistemas de cimentación ya usados como soluciones de edificaciones en terrenos con diversos problemas adversos y que se resumen en el cuadro ya visto.

Entre las formas de tratamiento para prever los riesgos adversos, es la cimentación sobre pilotes cortos la que ha sido la menos estudiada y que constituye la parte central de este estudio. Por tanto en este capítulo nos abocamos a explicar en qué consiste este sistema de cimentación.

3.1 Descripción del sistema

El uso de pilotes es una técnica de cimentación poco estudiada, sobredimensionada y con uso empírico por pueblos etnocampesinos para superar las dificultades en suelos blandos e inundables.

El sistema de cimentación sobre pilotes cortos o grupo de micropilotes consiste en el trabajo conjunto de los pilotes que sobresalen una altura “h” de la superficie del terreno, debidamente arriostrados por medio de vigas interconectadas entre sí que acogen y soportan una losa de entrepiso sobre la que se edifica la obra. (Ver Fig. 3.1a y 3.1b). Esta altura “h” tiene como mínimo el nivel de la rasante, el nivel de máxima expansión registrada en arcillas expansivas para no limitar los movimientos naturales del suelo, nivel máximas de inundaciones registradas y un nivel adecuado en terrenos abruptos, entre otros. (Ver Fig. 3.2a, 3.2b, 3.2c y 3.2d).

Los elementos son pilotes cortos, vigas y losa como sistema unitario, los pilotes al estar introducidos en el suelo, son los que transmiten a través de las vigas toda la carga del edificio al suelo que puede ser por fricción, punta o fricción y punta. Para este efecto, las vigas se estructurarán y diseñarán de acuerdo a los planos arquitectónicos y serán interconectados entre sí a manera de emparrillado perpendiculares entre sí. (Ver Fig. 3.3a y 3.3b).

La distribución de los pilotes debe ser homogénea, repartida en la superficie del edificio conservando distancias cortas “L” entre ellos, así evitar el uso de vigas peraltadas y pilotes sobredimensionados que encarecen el costo de la cimentación y su profundidad debe ser tal que soporte la carga admisible según las características del terreno y diseñada según las solicitaciones de carga.

Este sistema, al estar en contacto con el terreno en menos del 10% del área de la superficie de la edificación hace que disminuya la transferencia de sales y humedad y sólo se produzca en puntos localizados. Estos puntos, que son justamente la posición de cada pilote, pueden ser fáciles de controlar mediante sistemas de mantenimiento adecuados. Además, el ambiente interior de la edificación se mantendrá ventilado.

La losa que soportan las vigas puede estar constituido de cualquier tipo de entrepiso siempre que garantice trabajar funcionalmente frente a las solicitaciones de diseño y que conforman un encepado entre los elementos que conforman el sistema. Para minimizar costos, es preferible que esta losa sea autoencofrante.

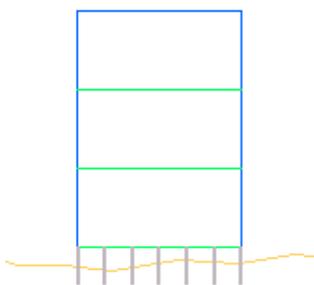


Fig. 3.1a Elevación del edificio.

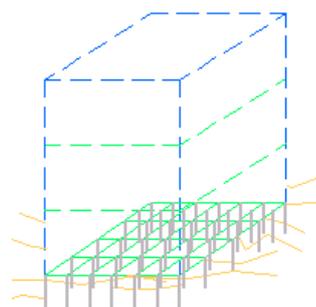


Fig. 3.1b Vista perspectiva del edificio.

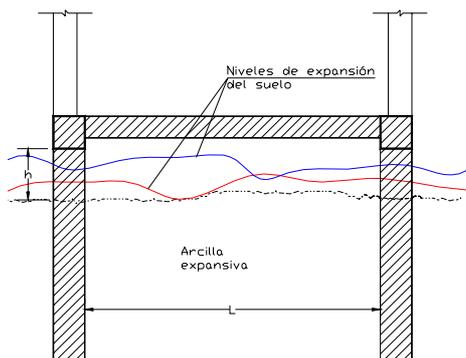


Fig. 3.2a En suelos arcillosos.

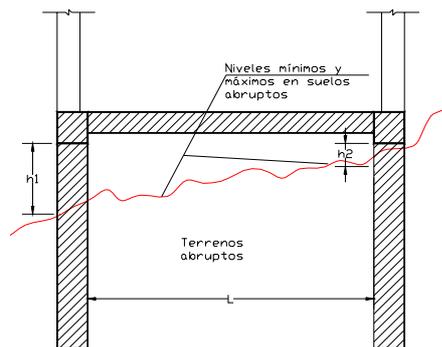


Fig. 3.2b En suelos abruptos.

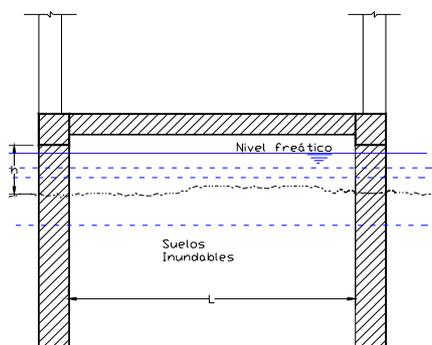


Fig. 3.2c En suelos inundables o niveles freáticos altos.

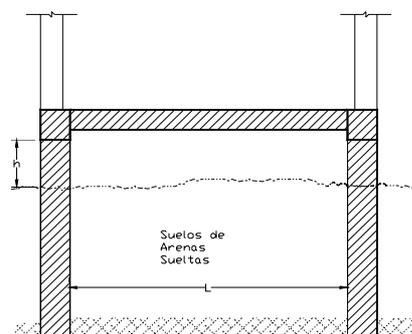


Fig. 3.2d Alcanzar estratos estables en arenas sueltas.

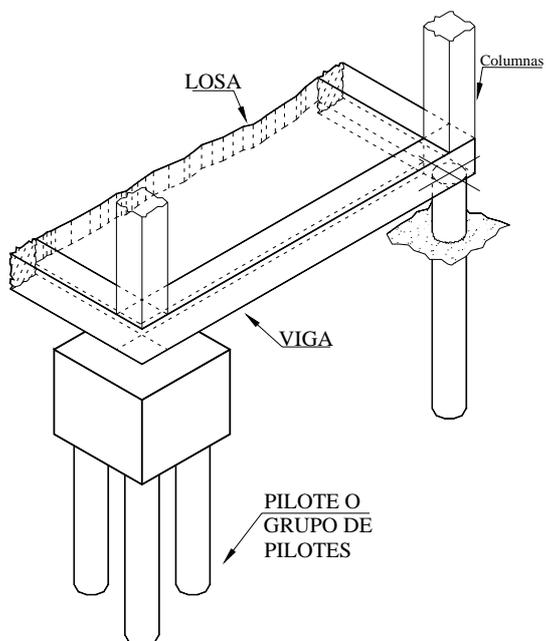


Fig. 3.2b Perspectiva de los elementos del sistema.

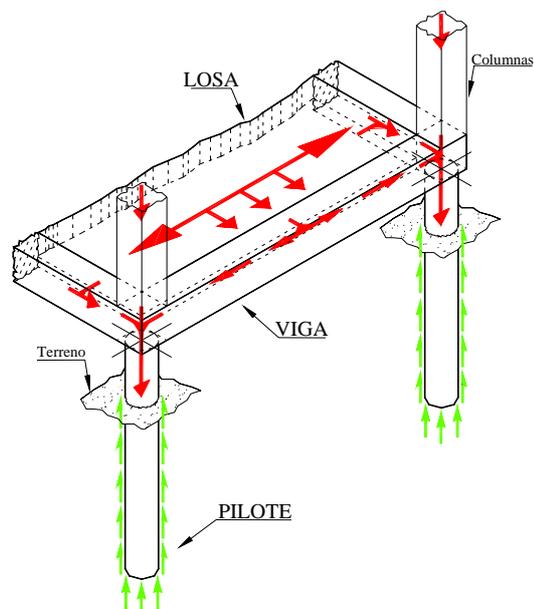
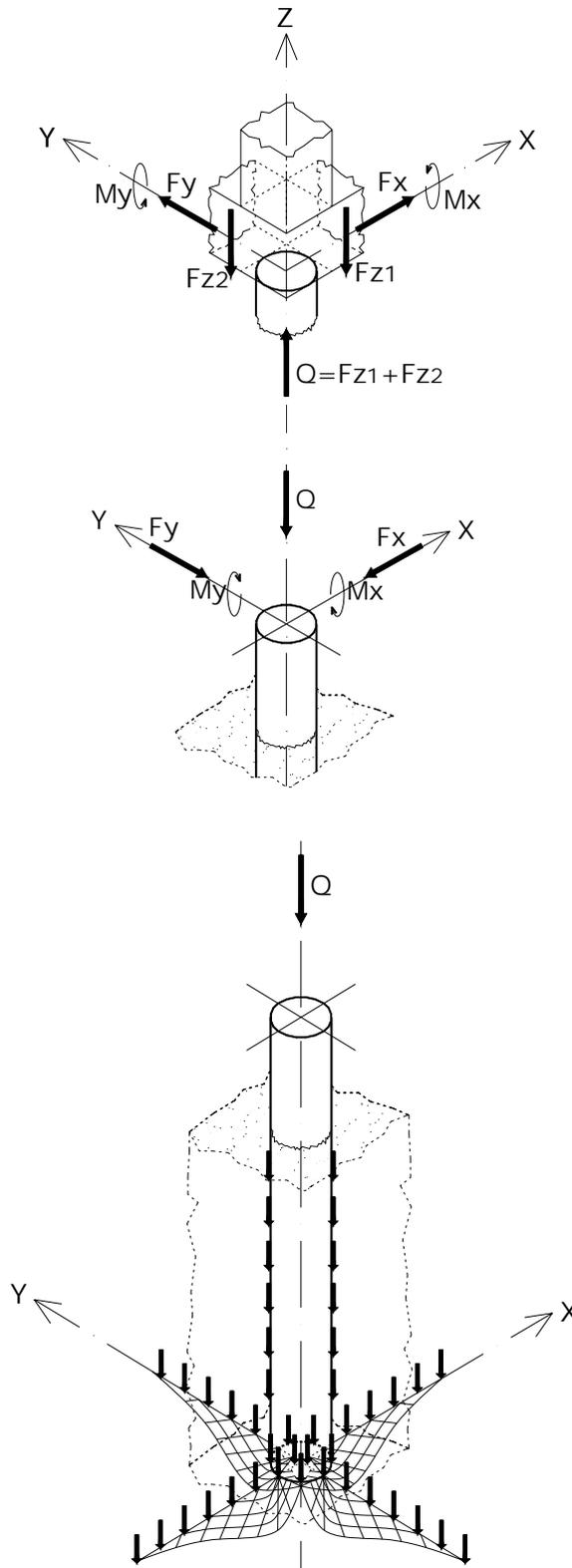


Fig. 3.2c Perspectiva de la transmisión de carga del edificio a través de los elementos que conforman el sistema.

Interacción terreno - estructura



Fuerzas nodales

Transferencia de carga de la edificación hacia las vigas.

Cabeza de pilote – transferencia de carga a través de vigas hacia el pilote.

Transmisión de fuerzas cortante, axiales y momentos por sollicitación de carga de la estructura.

Diagrama de capacidad según Terzaghi

Zona de carga, según reacción con el terreno por la sollicitación efectuada.

Capacidad por fricción

Capacidad por punta

Terzagui ha propuesto la siguiente expresión para calcular R_p , capacidad última de carga de los pilotes por cuanto al suelo refiere.

Para conseguir la capacidad admisible del pilote a cierta profundidad, es necesario usar el Factor de seguridad apropiado.

Fig. 3.3 Transmisión de las cargas internas nodales en los elementos del sistema hacia el terreno (interacción terreno-estructura).

3.2 Partes del sistema

3.2.1 Pilotes

Los pilotes son elementos que se usan para transmitir carga de la estructura de la edificación a estratos más profundos que los superficiales. Requiere una mayor atención en cuanto a su durabilidad y diseño porque los pilotes serán los principales conductores de la humedad por estar en contacto con el terreno.

En este sistema se emplea el uso de pilotes o grupo de pilotes cortos, llamados también micropilotes porque su geometría no ascenderá más que mínimas longitudes porque se trata de edificaciones livianas, más la teoría expresa viene de los conceptos básicos para pilotes, estos pueden ser:

a. Respecto a los materiales empleados en su elaboración:

Los pilotes pueden ser de madera, acero, concreto simple, concreto reforzado, concreto preesforzado, prefabricados, mixtos, etc.

b. Respecto al lugar de su construcción:

Prefabricados: Cuando el pilote se fabrica en lugar distinto al de su hincada.

Perforados: Fabricado in situ.

c. Respecto a la sección transversal:

Son huecas o macizas.

d. Respecto a la transmisión de carga:

Pilotes por acción lateral: Cuando la mayor parte de la carga del pilote se transmite al terreno por contacto en su superficie lateral (fricción y cohesión). La longitud efectiva del pilote se frecuenta tomar a partir de los 1.5 m siguiendo la profundidad del pilote.

Pilotes de punta: Cuando la mayor parte de la carga del pilote se transmite por punta a un manto resistente.

Pilotes de apoyo mixto: Se transmite la carga al terreno de manera equivalente, tanto por fricción como por punta.

e. Respecto a su dirección:

Pueden ser verticales o inclinados.

3.2.1.1 Cálculo de los pilotes:

Una vez seleccionado el tipo de pilote y los posibles diámetros, el cálculo comprende las siguientes fases:

- a. Determinación de la carga de hundimiento del pilote aislado para diversas longitudes de implantación, hasta lograr un aprovechamiento adecuado de resistencia nominal.
- b. Estimación de los asientos correspondientes a la carga admisible o de trabajo.
- c. Estimación de la carga admisible de los pilotes en grupo y de los asientos asociados.
- d. Dimensionado de elementos auxiliares como encepados, vigas, etc.

3.2.1.2 Criterios para el cálculo de la capacidad de carga de un pilote:

Los pilotes estarán sometidos predominantemente a cargas verticales, pero en otros casos deben tenerse en cuenta otros tipos de sollicitaciones como son:

- Cargas horizontales debidas al viento, empuje de arcos o muros, etc.
- Rozamiento negativo al producirse el asiento del terreno en torno a pilotes columna por haber extendido rellenos o sobrecargas, rebajar el nivel freático o por tratarse de suelos blandos aún en proceso de consolidación.
- Flexiones por deformación lateral de capas blandas bajo cargas aplicadas en superficie.
- Esfuerzos de corte, cuando los pilotes atraviesan superficies de deslizamiento de taludes.

Los métodos más conocidos para el cálculo de la capacidad portante de los pilotes son:

- a. **Método Dinámico:** Se refiere al trabajo que se requiere para hincar el pilote por los golpes de un martirete. Sólo es aplicable a pilotes que se hincan.
- b. **Método Estático:** Considera la resistencia por apoyo de la punta y la resistencia por fricción en la superficie lateral del pilote. (Ver Anexo A: Ecuaciones)

Los criterios que derivamos de Jose María Rodríguez Ortiz, Jesús Serra Gesta, Carlos Oteo Mazo, se deben aplicar teniendo en cuenta las siguientes consideraciones geotécnicas:

1. En pilotes excavados

a. Factores que afectan la capacidad axial de diseño de pilotes excavados

- Estratificación del suelo, se requiere su evaluación de las características del suelo en diferentes capas.
- Nivel freático, se debe usar el nivel más alto del agua registrado del comportamiento natural del agua.
- Pilotes con base ensanchada, es recomendable en suelos cohesivos para incrementar el soporte de la punta.
- Grupo de pilotes.
- La evaluación de la capacidad de grupo de pilotes asume que los efectos de la fricción negativa en caso de ocurrir son despreciables.

b. Factor de seguridad para pilotes excavados

El factor de seguridad es 2.5 veces la capacidad de soporte, cuando se usan en el diseño los resultados de carga en sitio, sino usar 3. (Ver referencia No. 7 y 13).

2. En pilotes hincados

a. Factores que afectan la capacidad axial de diseño de pilotes hincados

- La capacidad de soporte de un pilote y de un grupo de pilotes.
- La capacidad de estrato subyacente para soportar la carga del grupo de pilote.
- Los efectos de la fricción negativa debido a la consolidación del suelo y los efectos de cargas de arrancamiento debido a suelos expansivos.
- La influencia de las técnicas de construcción en la capacidad de carga, tales como preexcavación o inyección o aplicación de chorros de agua para facilitar el hincamiento (jetting).
- La influencia de las fluctuaciones del nivel freático sobre la capacidad de carga.

Entre los efectos ocasionados más frecuentes por el uso de pilotes está la supresión que se manifiesta tanto en pilotes individuales como en grupo de pilotes de manera distinta.

b. Factor de seguridad para pilotes hincados

Depende de la confiabilidad con la cual se determina la capacidad última del suelo y control que se efectúe en al misma instalación del pilote. Se recomienda un valor de 3. (Ver referencia No. 7 y 13).

3.2.1.3 Tipo de pilotes

Como hemos visto en el item 3.2.1, los pilotes pueden ser de diferentes materiales .

1. Pilotes Hincados.

Son los pilotes que se constituyen antes de su colocación en situ, porque son hincados por equipos a presión y golpes y pueden ser:

- De madera.
- De hormigón simple, armados y pretensados, macizas o tubulares.
- Metálicos (perfiles laminados, tubos huecos o mixtos rellenos con concreto, etc.)
- Entre otros materiales.

a. Pilotes de madera

Fueron los primeros en ser utilizados. Actualmente son usados en zonas que la constituyen una alternativa adecuada, por economía y eficiencia frente al concreto y el acero. El pilote debe cortarse siguiendo exactamente las fibras de la madera, dirección en la cual ésta tiene la mayor resistencia.

Los pilotes de madera se protegen contra insectos, larvas marinas, moluscos terénites, teredo, etc. Para ello, se utilizan, básicamente, dos métodos: la protección mecánica mediante recubrimiento del pilote y la protección química con cerosota, pentaclorofenol u otros productos similares.

Los pilotes de madera tienen algunos inconvenientes que los resumimos a continuación:

- Soportan mal las variaciones de sequía y humedad, sin embargo trabajan bien cuando están permanentemente bajo agua.
- Sus dimensiones están limitadas.
- La sustitución de pilotes carcomidos bajo cimentación precisa de trabajos subterráneos y de realce de cimentaciones que son lentos y caros.

2. Pilotes hormigonados in Situ o perforados

Son pilotes construidos in situ, haciendo pozos excavados y vaciados en el mismo lugar.

- Hinca de una entubación recuperable con un azuche o tapón perdido en la punta. Hormigón vertido o apisonado.
- Perforados con cuchara, hélice, cabeza rotativa, etcétera, al abrigo o no de una entubación recuperable. Hormigonado con trompa desde el fondo.
- Como lo indicado en el punto anterior, manteniendo la cavidad con lodos bentoníticos.
- Barrenados, introduciendo un mortero a presión por el eje del hélice que extrae el terreno y contiene la cavidad. Las armaduras se introducen en el mortero fresco.

b. Pilotes de acero

Los pilotes de acero, de acuerdo al procedimiento de puesta en obra, pueden ser hincados o roscados. Los primeros están constituidos por perfiles tubulares y de sección en I, o por combinaciones de ambos: un perfil I dentro de otro tubular.

Estos pilotes, en los que la sección es metálica absorbe íntegramente los esfuerzos a los que están sometidos, difieren fundamentalmente de los pilotes de tubos metálicos perdidos, que deben su resistencia al concreto.

Sus atributos son:

- Resistencia elevada a la compresión y flexión.
- Posibilidad de alcanzar grandes profundidades mediante soldadura de unos elementos metálicos con otros.
- Posibilidad de atravesar estratos resistentes.
- Mayor resistencia a la penetración hincada en el suelo.

Sin embargo, presentan una desventaja que se manifiesta en la disminución de su sección transversal por efecto de la corrosión. Por ello, se recubren con películas plásticas especiales colocadas en fábrica como medio de protección o se les somete a una protección catódica por medio de una corriente eléctrica permanente.

3.2.2 Vigas interconectadas

Cuando se emplee esta solución deben colocarse vigas, si es posible en los dos sentidos ortogonales, uniéndolos y arriostrandolos entre sí. Por lo general siempre arriostrar en sentido de la menor distancia. Es recomendable colocar un pilote bajo una columna, ya que

cualquier excentricidad constructiva introducirá esfuerzos de flexión no previstos. (Ver Fig. 3.4).



Fig. 3.4a Restricción media

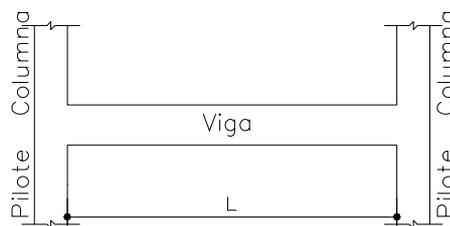


Fig. 3.4b Restricción completa

Fig. 3.4 Formas de continuidad de los pilotes.

Eventualmente se podrá prescindir de las vigas riostras cuando los pilotes estén unidos por una losa continua de hormigón armado de espesor ≥ 20 cm, o el diámetro del pilote sea superior a 1m (en este caso hablaría de pilotes de uso frecuente en los que su diámetro son mayores a 0.30).

Las vigas interconectadas pueden ser:

Vigas principales: Aquellas que soportan y transmiten toda la carga de la estructura hacia los pilotes y éstas al terreno.

Vigas secundarias: Aquellas que no necesitan dimensión parecida a las principales, generalmente funcionan como arriostre y soporte de muros longitudinales, se apoyan en las vigas principales.

De manera esquematizada se puede observar con la figura 3.5 el emparrillado de vigas y la repartición de cargas que gravitan sobre ellas, que son representación de muros o tabiques entre otros.

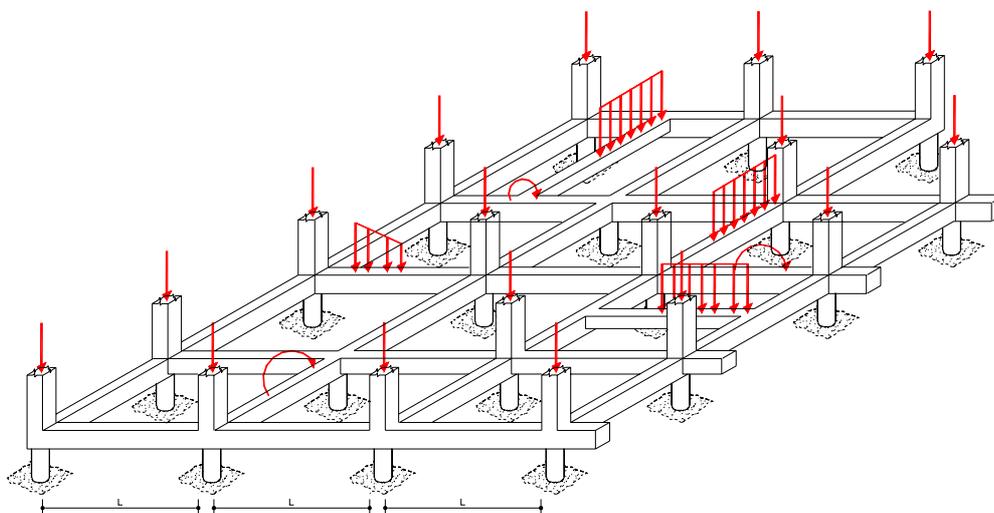


Fig. 3.5 Distribución de vigas en el sistema de cimentación sobre micropilotes y posibles cargas actuantes.

3.2.3 Losa

La losa, como entrepiso puede ser tradicional aligerada, maciza o de cualquier otro sistema convencional. Como todo entrepiso es preciso que la losa, siendo ella la colectora de la sobrecarga que transita o gravita en ella, sea capaz de cumplir la función de diafragma para conjuntamente con las vigas constituyan un encepado rígido y estable.

En la actualidad, en diversos países, existen varias formas de construcción y diseño de entrepisos económicos y funcionales, más su aplicación en el país es poco conocido y, por consiguiente, recurren al entrepiso típico que resultan onerosas comparadas con estas. Es preferible la aplicación de una losa que pueda ser constituido como autoencofrante para disminuir costos; por lo general suelen ser en parte prefabricadas para cumplir este objetivo.

En el caso de la aplicación concreta en Cañete se ha escogido como parte de sistema la losa hormigonada por tratarse de un entrepiso económico. Este sistema de losa de entrepiso tuvo sus inicios en Cuba por Ing. Estructural Roberto Soto Laserna y Roy Cobos Lopoez. Sin embargo, sólo es recomendable para el primer entrepiso debido a que es incómodo y muy trabajoso en los entrepisos superiores, aparte de incrementar el peso de estos niveles y por ende aumenta la fuerza sísmica. (Ver Fig. 3.6).

En la elaboración de la losa hormigonada intervienen elementos prefabricados a pie de obra: viguetas y plaquetas; que, al ser montadas adecuadamente, trabajan como autoencofrantes además cumplir una función integral como un sistema integrado con la losa terminada al ser vaciada la capa de hormigón, llamado también cabeza de compresión, en combinación del refuerzo solicitado, para así obtener un acoplamiento monolítico entre las piezas y conformar un encepado entre los elementos de la losa. La ventaja del uso de losas autoencofrantes se expresa en el bajo costo de construcción en vez de los costosos encofrados de madera. Sin embargo, ...

Se ha optado, también, por losas aligeradas con tecknopor para este sistema. Sin embargo, para su aplicación se requiere aumentar el peralte de las viguetas para obtener mayor inercia y pueda constituir un encepado conjuntamente con las vigas y los pilotes. Pero, puede ser desventajoso porque requiere de encofrado haciendo el trabajo incómodo para recuperar el encofrado, en consecuencia dañar los encofrados o no recuperarlos, por lo que resulta costoso. Esta opción no deja de ser aceptable como losa de cimentación levantada, mas resulta viable su aplicación en entrepisos superiores, además por ser más liviano.

Los elementos que conforman la losa hormigonada son:

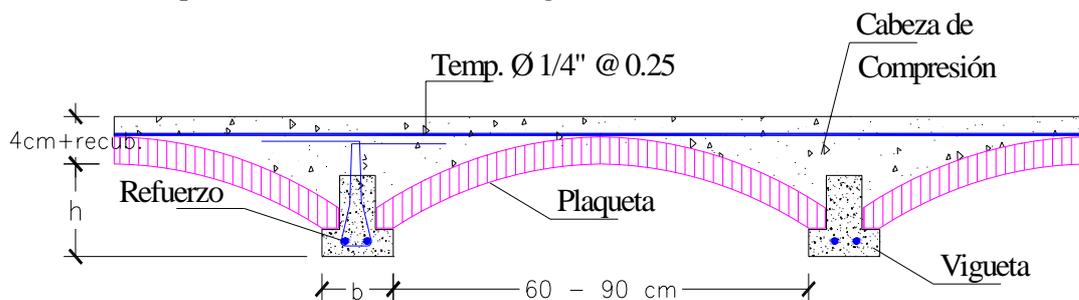


Fig. 3.6 Losa hormigonada

1. Vigüeta prefabricada

La vigüeta prefabricada posee ciertas características mecánicas que la definen técnicamente para resistir un momento flector útil que depende de las condiciones de apoyo, de la luz, magnitud y distribución de carga que soporta. Conviene también calcular el esfuerzo cortante ya que la vigüeta puede ser adecuada para resistir un momento flector determinado pero no el esfuerzo cortante que resulta de las cargas que gravitan sobre ella.

Existen varios tipos de vigüetas prefabricadas. La que hemos aplicado corresponde a las vigüetas semirresistentes porque debe complementarse en obra con una cabeza o losa de compresión. Sus estribos generalmente sobresalen y sirven, además de posibilitar la absorción del esfuerzo cortante, también aseguran la trabazón de las vigüetas con la cabeza de losa de compresión.

Las vigüetas se pueden prefabricar fácilmente en obra. Sobre estas se sostendrán las plaquetas, y estas se comportarán como encofrantes para completar la cabeza de hormigón y complementar la losa.

Se debe analizar el comportamiento estructural de esta vigüeta en sus dos posibles etapas de trabajo, en conjunto con la plaqueta de concreto simple, (etapa 1, construcción y montaje) y (etapa 2 definitiva, completando la sección hormigonada); siendo la luz libre definida para la determinación de cargas.

2. Plaqueta prefabricada

La plaqueta es un elemento prefabricado, fácilmente construido en obra. La función de las plaquetas son de encofrado conjuntamente montadas sobre las vigüetas prefabricadas y colocadas en la construcción de la losa.

La forma de la plaqueta ha sido definida para trabajar a compresión, de este modo resiste sin necesidad de refuerzo y alcance una mayor luz entre vigüetas. La contra flecha es adecuada para obtener mayor inercia y rigidez del elemento en la losa. La dimensión varía según sea el intereje, que puede ser entre 60 y 90cm y como altura dependiendo de la altura de la vigüeta más 3cm aproximadamente.

Por ser un elemento que reemplaza la función de ladrillos de arcilla, su fabricación debe ser tal que cumpla la solicitud constructiva eficaz del entrepiso. Con un concreto de 175 kg/cm² podremos obtener un elemento durable y resistente, aun cuando puede usar un concreto de menos resistencia.

La trabajabilidad del hormigón es muy importante, ya que de ella dependerá conseguir la forma y dimensiones exactas para el montaje sobre las vigüetas, que garanticen acoplamientos inamovibles entre las piezas.

La fabricación puede ser manual o mecánica. En el primer caso se fabrican en moldes metálicos, asentándose el hormigón por apisonado. Su rendimiento es relativamente bajo, por lo que su precio de costo resulta elevado en un primer momento, pero luego conforme al proceso de adiestramiento que se hace secuencial, los costos disminuyen. En el segundo caso la fabricación se hace en forma masiva e industrializada disminuyendo costos.

3. Cabeza de compresión

Se le llama cabeza de compresión porque su trabajo fundamental es de compresión. Este elemento será vaciado luego de haber montado correctamente los elementos prefabricados. La cabeza de compresión completa la vigueta, éste, integra al conjunto de elementos como viguetas y plaquetas conformando un elemento monolítico y sólido, el cual trabajará de manera combinada las solicitaciones al que será diseñado. En la cabeza de compresión se encontrará el refuerzo de los momentos negativos y apoyos .

CAPÍTULO IV

ASPECTOS ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVOS DEL SISTEMA DE CIMENTACIÓN LEVANTADA SOBRE PILOTES CORTOS

En el capítulo III hemos tratado los aspectos explicativos del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos. En este capítulo en cambio, se explican los puntos que se deben tener en cuenta para considerar los aspectos estructurales y constructivos del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos abordando con especial atención el proceso constructivo del sistema con sus elementos básicos: pilotes, vigas riostras y losa, en la aplicación realizada de modo concreto de la guardianía, en Cañete.

4.1 Condición previa: Aspectos geotécnicos

Para el análisis y diseño de una cimentación debe partirse de un estudio geotécnico, para definir:

1. La naturaleza y estratigrafía del terreno.
2. Las propiedades de cada estrato del terreno determinando los siguientes parámetros geotécnicos:
 - a) En suelos arcillosos y limosos, cohesivos.
 - Peso específico (seco o saturado), γ_d , γ_{sat} .
 - Humedad natural, w .
 - Resistencia al corte sin drenaje (carga rápida), c_u .
 - Resistencia al corte con drenaje (a largo plazo) c' , Φ' .
 - Deformabilidad E_u , ($\nu_u=0.5$).
 - b) En suelos arenosos no cohesivos.
 - Peso específico correspondiente a la humedad natural.
 - Grado de compacidad y/o ángulo de rozamiento interno, Φ' (generalmente deducidos de correlaciones in situ con el ensayo estándar, valores penetrométricos, etc.).
 - Deformabilidad E' , ν' (correlaciones análogas a las anteriores o ensayos de carga con placa).
3. La profundidad del nivel freático.

La utilización de unos u otros parámetros depende del tipo de carga de la estratigrafía y características del terreno, así como de métodos teóricos o semiempíricos recomendables en cada caso. Se expone, más adelante, a modo de ejemplo los parámetros necesarios para cada caso. (Ver anexo B: Cálculos).

4.2 Aspectos estructurales

Para el diseño estructural de todo sistema se debe previamente estructurar, cumpliendo con:

1. Definir la geometría de cada elemento. (Ver anexo E: Planos).
2. Definir la distribución y localización de cada uno de los elementos. (Ver anexo E: Planos).
3. Definir el material correspondiente de cada elemento para su respectivo diseño. El material a usar será aquel capaz de cumplir con las sollicitaciones de carga y calidad para su funcionalidad y durabilidad.
4. Definir las cargas de peso propio y sobrecarga que gravitan sobre los elementos para su respectivo diseño ante un comportamiento sísmico. (Ver anexo B: Cálculos).
5. Diseñar los elementos ante las sollicitaciones de flexión y corte.
6. Plasmar el resultado de los diseños en planos. (Ver anexo E: Planos).

4.2.1 Cálculo y diseño de los pilotes

Para el cálculo de los pilotes cortos se seguirá las siguientes fases:

1. Determinación de la carga de hundimiento del pilote aislado para diversas longitudes de penetración, hasta lograr un aprovechamiento adecuado de la resistencia nominal del pilote.
2. Estimación de los asientos correspondientes a la carga admisible o de trabajo.
3. Estimación de la carga admisible de los pilotes en grupo y de los asientos asociados.
4. Dimensionado estructural del pilote corto.
5. Diseño del pilote, para las solicitaciones de carga interna que se transmite del edificio.

Se presentan tablas de cálculo en el anexo B: Cálculos.

4.2.2 Cálculo y diseño de las vigas interconectadas

Para el cálculo de las vigas arriostras se seguirá las siguientes fases:

1. Dimensionado de elementos auxiliares como vigas riostras principales y secundarias.
2. Las vigas tienen un peralte mínimo de $1/12$ de la distancia entre encepados y un ancho mínimo de 25 cm o del diámetro del pilote que intercepta.
3. Se tendrá en cuenta el peso propio y las cargas que descansen sobre la viga.
4. Los momentos transmitidos por los encepados por excentricidad y previsión de los asientos diferenciales, etc. Así como las fuerzas cortantes producidos.

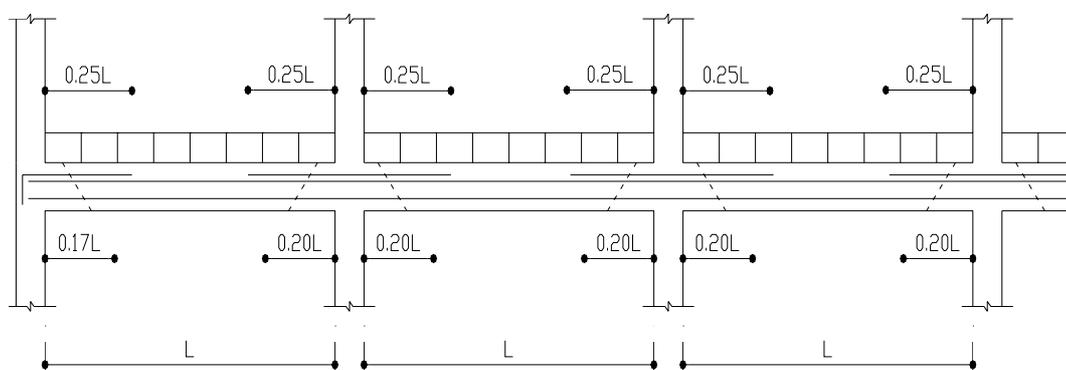


Fig. 4.1 Ejemplo de una viga continua y su diseño.

En el anexo A: Ecuaciones, se encuentran las ecuaciones que se debe tener en cuenta para el diseño de las vigas.

4.2.3 Cálculo y diseño de la losa

El diseño de la losa hormigonada comprende 3 partes: Viguetas, plaquetas y cabeza de compresión.

- **Viguetas**

Para el cálculo de las viguetas se tomarán en cuenta las siguientes fases:

1. Considerar la luz de cálculo y definir la geometría.
2. Establecer las cargas que actúan en el entrepiso o cubierta, tanto en la etapa 1 (construcción y montaje), como en la etapa 2 definitiva (complemento de la sección hormigonada).
3. Diseño a flexión y corte.
4. Elaborar planos de los elementos del sistema y sus respectivos encofrados.

- **Plaquetas**

Para el cálculo de las plaquetas se tomarán en cuenta las siguientes fases:

1. Considerar la luz entre viguetas y geometría y dimensiones, tanto del elemento y encofrado.
2. Considerar las cargas de peso propio de la plaqueta, de la cabeza de compresión y de sobrecarga.
3. Diseño a flexión y corte.
4. Elaborar planos de los elementos del sistema y sus respectivos encofrados.

- **Cabeza de compresión**

Para el cálculo de la cabeza de compresión, al igual que la vigueta prefabricada, cuenta las siguientes fases:

1. Considera la luz de cálculo y definición de la sección compuesta entre vigueta y cabeza de compresión.
2. Las cargas corresponden a la etapa 2.
3. Diseño a flexión y corte.

Aspectos constructivos

Para la aplicación de este sistema realizado en Cañete, se ha previsto hacer participar equipo y herramientas comunes de fácil accesibilidad. Es conveniente para el presupuesto minimizar gastos, y si podemos conseguir herramientas y equipos locales, serían mejores.

Pilote

Proceso constructivo del pilote

El tiempo estimado para la perforación de un orificio en el suelo para un pilote es aproximadamente de 35 – 50 minutos, con el equipo que especificaremos en el capítulo VI.

Se puede observar en el anexo D: Fotos – Perforación y construcción de los pilotes, la construcción de los mismos presentados en el caso II, basados en la experiencia de Cañete.

Las fases del proceso constructivo del pilote son:

1. Emboquillamiento de la perforación

Una vez terminado el trazo y replanteo del terreno se procede con la ubicación de los pozos, y de esta manera comenzar a perforarlos donde se colocaran los pilotes.

La perforación se realiza con la ayuda de un equipo capaz de penetrar el terreno hasta la profundidad requerida. (Ver Fig. 4.2).

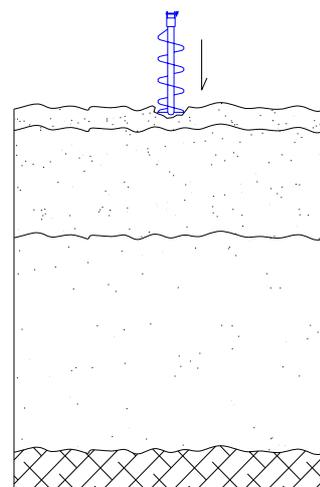


Fig. 4.2

2. Avance de la perforación

El avance de la perforación se realiza mediante ciclos de entrada y salida de la boca. Se realiza de manera lenta hasta llegar al estrato estable deseable o la profundidad calculada.

Se debe considerar que la broca ingrese y se mantenga siempre vertical para evitar la construcción de pilotes inclinados. (Ver Fig. 4.3a y 4.3b).

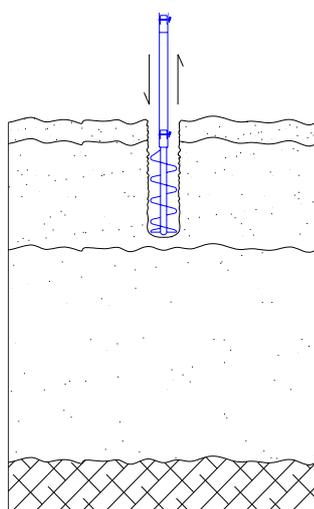


Fig. 4.3a

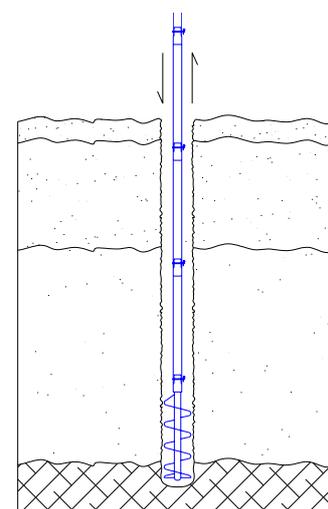


Fig. 4.3b

3. Hormigón del pilote 1

Una vez alcanzada la profundidad deseable por la perforación, se vacía el concreto preparado en la cavidad perforada para el pilote, hasta una profundidad equivalente a un tercio de la longitud total del pilote. (Ver Fig. 4.4).

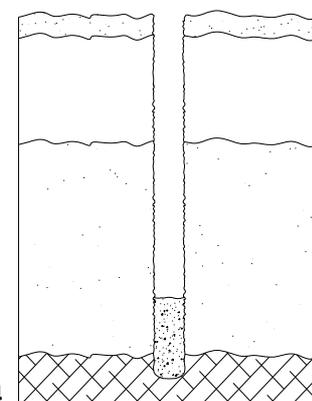


Fig. 4.4

4. Ingreso del refuerzo

Inmediatamente después de haber vaciado el concreto inicial, se procede a ingresar el refuerzo armado necesario cuidando de no rozar las paredes del pozo para evitar desmoronamientos de las paredes de la cavidad perforada del terreno.

Una vez que el refuerzo llegue al nivel inferior, se procede a nivelar el refuerzo. (Ver Fig. 4.5).

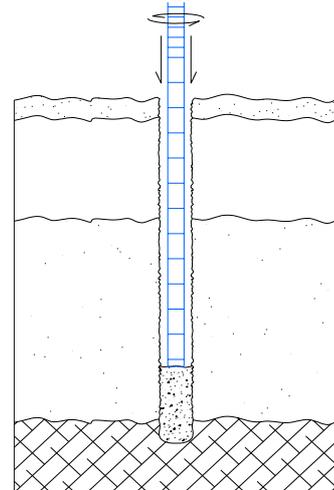


Fig. 4.5

5. Hormigón del pilote 2

Teniendo el refuerzo nivelado, procedemos a continuar el vaciado de concreto para el pilote por tandas, vibrando lo necesario cada cierta cantidad de tandas hasta alcanzar la superficie del terreno. (Ver Fig. 4.6)

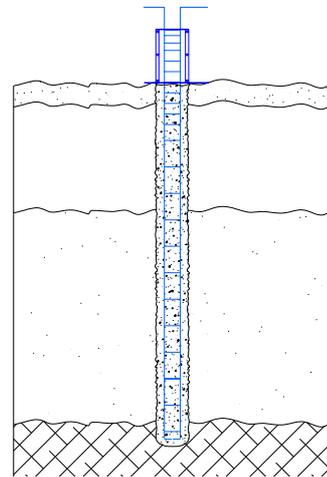


Fig. 4.6

Posteriormente, armar el encofrado para la terminación del pilote, teniendo cuidado de que éste se encuentre nivelado, alineado con el trazado y aplomado, previamente la superficie interior del encofrado se unta con petróleo para evitar que el concreto se pegue en él y sea de fácil recuperación.

Luego se vacía concreto hasta el tope del encofrado, vibrando adecuadamente para eliminar burbujas de aire. Se hace una revisión final del nivel y verticalidad del elemento. (Ver Fig. 4.7 y 4.9).

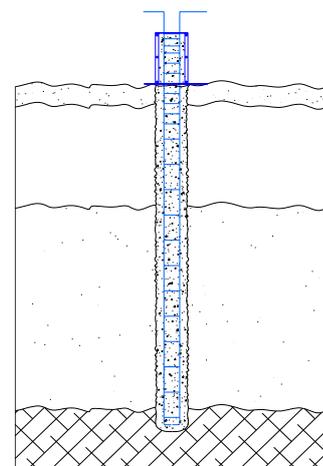


Fig. 4.7

6. El pilote terminado

Una vez transcurrido el tiempo necesario para el endurecimiento del concreto, se retira el encofrado para volver a usarlo en otro pilote y se procede con el curado de la parte superior del pilote. (Ver Fig. 4.8).

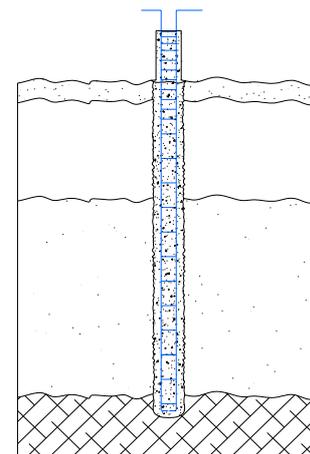


Fig.4.8

Vigas

Las vigas constituyen parte del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos porque sirven de unión y medio transmisor de la carga hacia los pilotes y ésta al suelo. La construcción de las vigas se hace de manera monolítica junto con la losa. El tipo de unión debe ser capaz de establecer un encepado o garantizar un apoyo rígido, para establecer la transferencia de carga y constituir al sistema estabilidad y disminuir asentamientos entre pilotes, como se puede observar en la construcción de la losa y en el anexo D: Fotos-Acoplamiento y montaje de la losa hormigonada.

Losa hormigonada

La losa hormigonada es un sistema que tiene como elementos: a las viguetas y plaquetas prefabricadas y la cabeza de compresión.

En la construcción de la losa la vigueta es acoplada con la plaqueta sobre la que se vacía una capa de hormigón (concreto), que integra todos sus elementos con las vigas interconectadas y pilotes en un diafragma monolítico.

4.3.3.1 Vigueta prefabricada

Proceso constructivo de la vigueta prefabricada

Las viguetas son las que más aplicación han tenido, además de su fácil fabricación. Es un elemento que debe consolidarse mediante vibración, quedando un hormigón muy compacto y resistente. Este tipo de viguetas tienen mucha aceptación por su elevado coeficiente de seguridad y la facilidad de colocación sobre las vigas que la sostienen.

Las características de la vigueta son:

- Su forma es una T, por ser el perfil más favorable mecánica y constructivamente. (Ver anexo D: Fotos – Construcción de las viguetas prefabricadas).

- Fabricado de hormigón armado o concreto que tiene una resistencia desde 175 kg/cm², 210 kg/cm² y 250 kg/cm², el acero de refuerzo con $f_y = 4200$ kg/cm², según sea la luz y espaciamiento entre vigueta.
- La superficie de la vigueta de los lados debe ser perfecta para que permita el acoplamiento y apoyo de las plaquetas, mas la superficie superior debe ser rugosa para garantizar adherencia mecánica entre la propia vigueta y la carpeta de compresión.

La construcción de la vigueta prefabricada, como puede verse en la figura 4.10, tiene las siguientes fases:

1. El encofrado debe, previamente, estar untado con petróleo u otro elemento que permita la fácil recuperación del encofrado.
2. Abrir el encofrado para colocar el refuerzo de a vigueta.
3. Colocado el refuerzo cerrar el encofrado asegurando bien que éste no se abra y permita obtener la forma adecuada de la vigueta.
4. Ingreso del concreto en el encofrado para la vigueta.
5. Endurecido el concreto en el encofrado se procede a recuperar el encofrado abriéndolo y retirando la vigueta para curarlo a fin de que complete su hidratación y secado.

4.3.3.2 Plaqueta prefabricada

La fabricación de la plaqueta, que puede ser manual o mecánica. Se ahorra en mano de obra especializada, por su simplicidad, fácil manejo y poco peso del mismo. Un equipo de dos peones puede colocar un promedio de 70 ml por hora.

Las características de la plaqueta son:

- La forma que tiene evita los desplazamientos entre las piezas y su fácil acoplamiento con las viguetas. (Ver anexo D: Fotos – Fabricación de las plaquetas prefabricadas).
- Es fabricado con hormigón simple, y puede tener una resistencia que varía de 100 - 175 kg/cm².
- La superficie inferior es completamente lisa y la superior debe ser rugosa para que permita adherencia con la cabeza de compresión.
- Las dimensiones se ajustan al espaciamiento entre viguetas y su altura.

La fabricación de la plaqueta prefabricada, como puede verse en la figura 4.11, tiene las siguientes fases:

1. El encofrado debe, previamente, estar untado con petróleo u otro elemento que permita la fácil recuperación del encofrado.
2. Ingreso del concreto en el encofrado para la plaqueta.
3. Endurecido el concreto en el encofrado se procede a recuperar el encofrado abriéndolo y retirando la plaqueta para curarlo a fin de que complete su hidratación y secado.

4.3.4 Pasos para un correcto montaje de la losa

El montaje de la losa exige algunas condiciones para garantizar su estabilidad. Estas condiciones las resumimos en:

1. Apuntalamiento previo

Aún cuando usualmente en la construcción de la losa no se requiere de puntales, cuando se trata de luces largas y evitar exceso de refuerzo en las viguetas sólo por construcción, se lleva adelante el apuntalamiento previo. En estos casos las viguetas se debe apuntalar antes de montar la primera vigueta, ya que las mismas no trabajan por sí solas, sino recién en conjunto con la capa de compresión una vez fraguada. Las soleras de apoyo se colocarán a una distancia de 2m, con puntales de sostén cada 1m para alturas de puntales hasta 2.5m; para puntales de mayor altura, la separación entre los mismos se reduce a 80 cm como máximo. El apuntalamiento debe producir una contra flecha hacia arriba entre 4 y 5 mm por cada metro de longitud. Debajo de los puntales deberán colocarse cuñas para asegurar el soporte de los puntales y tablas para una mejor distribución de los esfuerzos en el piso.

2. Montaje de viguetas y plaquetas

Las viguetas deberán apoyarse entre 5 a 10 cm sobre los muros de ladrillos encadenados o vigas vaciadas con anterioridad, y por lo menos 5 cm en los encofrados de vigas a vaciar en conjunto con la capa de compresión. La separación entre viguetas se determina automáticamente por la dimensión estandarizada como se presenta en la experiencia de Cañete. Sin embargo, la estructuración de cada obra será adecuado de acuerdo a piezas estándares y así proceder a una construcción en serie, para disminuir los costos por encofrado. En todos los casos las piezas deben tener dimensiones exactas para adecuar la instalación del sistema. Luego se coloca el refuerzo para el momento negativo en los apoyos así como el refuerzo por temperatura de manera transversal a las viguetas.

3. Limpieza y mojado

Antes de proceder al vaciado del hormigón o concreto, se debe limpiar perfectamente la superficie de las viguetas y plaquetas para mejorar la adherencia de la capa de compresión. Las viguetas y las plaquetas se deben mojar abundantemente con agua antes del vaciado para obtener una mejor resistencia en la carpeta de compresión.

4. Vaciado de la carpeta de compresión

El hormigón o concreto de la carpeta de compresión deberá ser mezclado, vaciado y vibrado siguiendo las normas convencionales de construcción y cuidando que integre todos los elementos del sistema para darle unidad monolítica.

Es necesario mantener la relación agua/cemento del diseño de mezcla. Teniendo en cuenta que mientras más agua sea usada en la mezcla, menos resistencia tendrá el hormigón (concreto). Es muy importante que los elementos complementarios estén en buen estado.

Además, es conveniente en el proceso de construcción caminar y llevar carretillas sobre tablonés y no directamente sobre las plaquetas o viguetas. Finalmente se recomienda cubrir la carpeta recién vaciada con suficiente agua durante el tiempo necesario (curado). Si se ha apuntalado, una vez que ha fraguado el hormigón (concreto), se procederá a quitar los puntales.

4.3.5 Aspectos complementarios de la construcción de losas

En la construcción de la losa se presentan diversos problemas o situaciones que se deben tenerse en cuenta para la correcta ubicación, colocación, distribución y transporte de los elementos complementarios. (Ver anexo D: Fotos – Acoplamiento y montaje de la losa).

Entre los componentes complementarios mencionaremos los siguientes casos:

Modo de acopio de viguetas

Las viguetas se deben manipular y acopiar en posición de “T” invertida colocando elementos separadores cerca de los extremos e intermedios que no disten más de 2m aproximadamente entre sí. La superficie de apoyo debe ser plana y los listones colocarse en coincidencia vertical.

Armadura de distribución

Se utiliza armadura por temperatura en la dirección transversal a las viguetas y también el refuerzo correspondiente por momento negativo en los apoyos.

En caso de voladizos se deberá reforzar con fierros adicionales para el momento negativo de acuerdo a los flectores solicitantes, y deberán empotrarse 1.5 veces la longitud del voladizo.

Viguetas paralelas a una viga

Cuando las viguetas se coloquen paralelas a la dirección de una viga principal, se puede colocar en el encofrado una madera adicional, lo cual será una práctica usual en toda la obra. Luego se colocan las plaquetas y al vaciar en conjunto la unión será monolítica siendo el funcionamiento como un arco en esa zona.

Si las vigas principales ya se encuentran vaciadas, entonces debe colocarse el primer complemento apoyado directamente sobre la viga.

Viguetas que se apoyan sobre una vigueta a vaciar

Las viguetas deberán empotrarse como mínimo 5 cm en las vigas que se va a vaciar. También puede hacerse el mismo procedimiento del encofrado ya visto anteriormente con lo que se vuelve a alejar de la viga la primera plaqueta.

Si la luz sobrepasa los 5 cm conviene adicionar un caballete sobre cada vigueta sólo a efectos de evitar la fisuración entre los apoyos.

Vigueta empotrada en viga invertida y plana

Se debe descubrir el refuerzo en las puntas de las viguetas entre 25 a 40 cm. según la luz y carga requerida. Asimismo, hay que tener cuidado de la posición del refuerzo descubierto, que encaje adecuadamente dentro de la viga que la sostendrá.

Viguetas que se apoyan sobre una viga o muro existente

La colocación es menos complicada ya que sólo están apoyadas. Tener en cuenta que ese apoyo de 10 cm como mínimo para un buen empotramiento de la losa. Ya cuando se han colocado las plaquetas hay que cubrir los huecos en forma de arcos para que no se escape concreto.

Tabique transversal a las viguetas

En estos casos se podría tomar al muro como una carga puntual. Desde este punto de vista se colocará una vigueta de mayor resistencia según el tipo de sollicitación

4.4 Encofrados de los elementos prefabricados

El encofrado debe ser definido, cumpliendo ciertos requisitos indispensables para su elaboración: (Ver anexo D: Fotos - Encofrados).

- **Forma**

La forma del encofrado debe estar de acuerdo al elemento que queremos generar. Se debe tener en cuenta las dimensiones y detalles específicos previstos en los planos. (Ver anexo E: Plano de Encofrados).

- **Material**

Para elegir el material, es necesario deducir cuantas veces será posible volver a utilizar el encofrado, al igual que los requisitos para el acabado superficial requerido.

Para evitar que estos se deformen y se deterioren por el uso y el intemperismo u otros factores, es necesario que esté arriostrado con elementos complementarios y tener un mantenimiento frecuente.

Los encofrados metálicos, son aquellos que nos garantiza que la pieza adquiera los lados más perfectos, que sean capaces de resistir y no se deformen con el tiempo. (Ver anexo E: Planos de Encofrados).

- **Funcionalidad**

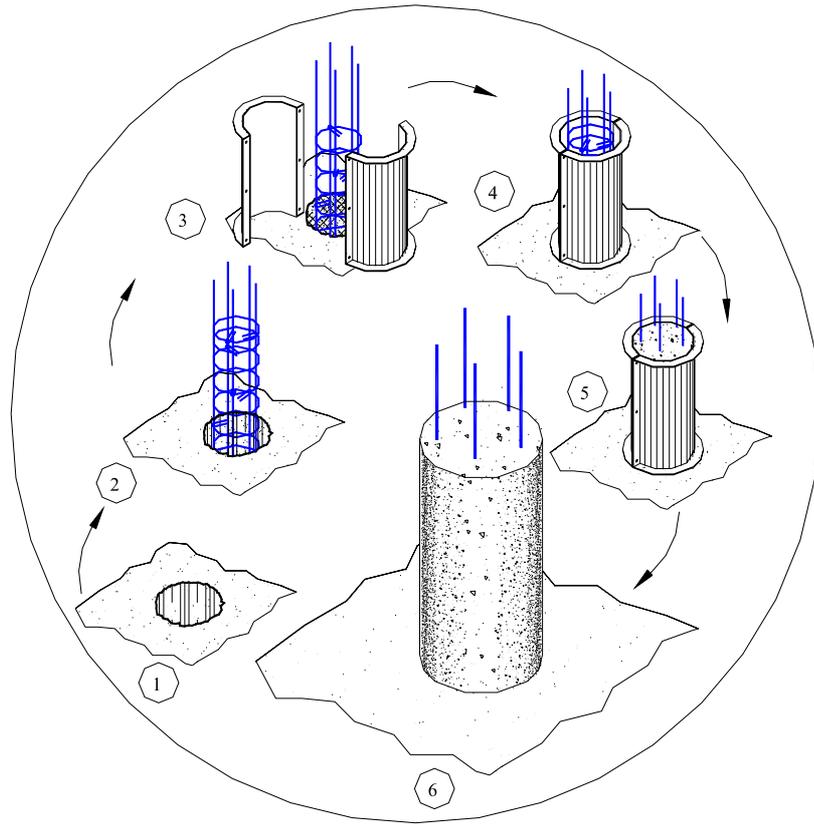
Debe ser practico y manejable, de tal manera que nos sea fácil recuperar el encofrado y sacar el elemento de concreto lo más rápido posible sin inconvenientes. (Ver Fig. 4.9, 4.10 y 4.11).

- **Durabilidad**

La durabilidad y mantenimiento del encofrado son muy importantes, porque es necesario que tengan una larga vida para todas las oportunidades posibles de usarla; además de garantizar que no se deformen y siempre obtengamos elementos con las dimensiones requeridas.

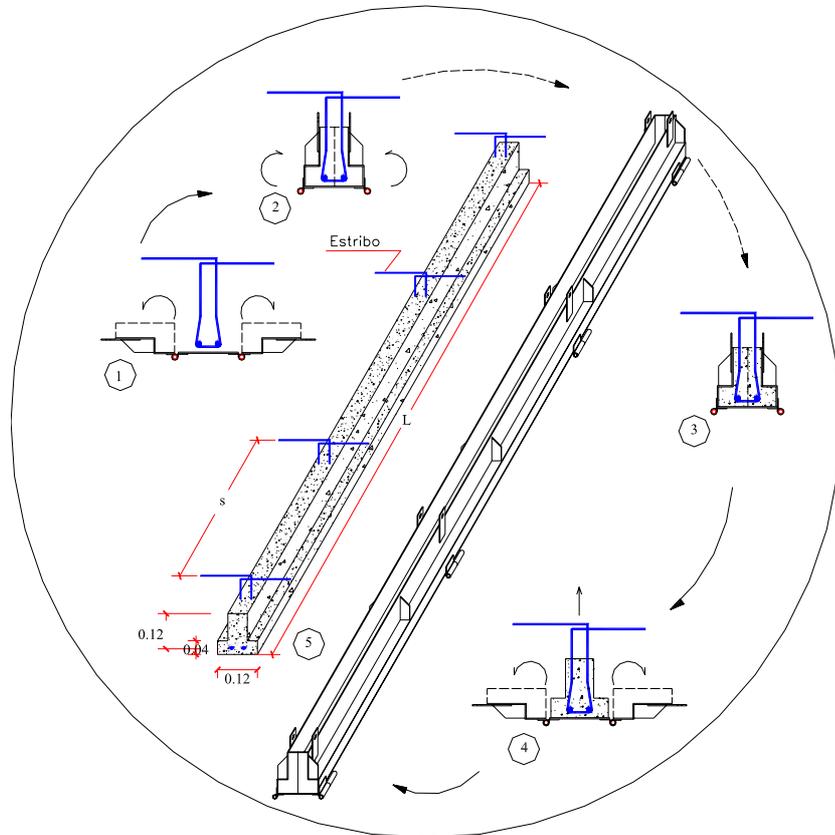
Pilote

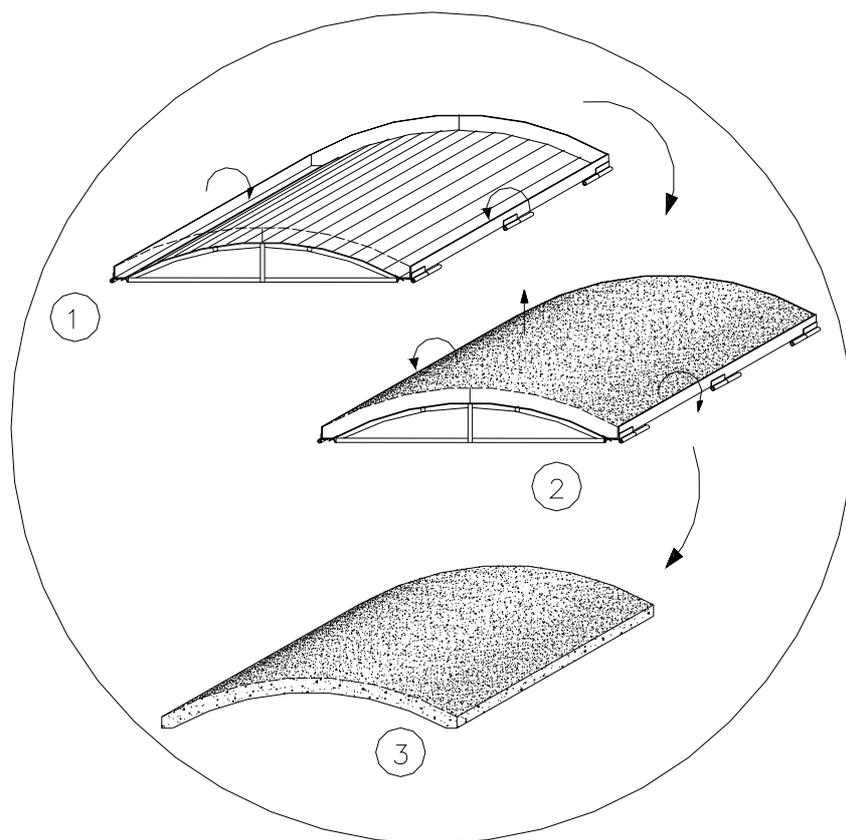
Fig. 4.9 Encofrado de los pilotes.



Vigueta prefabricada

Fig. 4.10 Encofrado de vigueta.



Plaqueta Prefabricada**Fig. 4.11** Encofrado de plaqueta.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISEÑO PARA TRES CASOS

En el capítulo V se aborda la aplicación del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos, tema central de esta tesis, de manera hipotética en el caso de viviendas básicas que ENACE desarrolla en la ciudad de Piura y de manera concreta la experiencia llevada a cabo en el proyecto integral que CARITAS - Cañete viene ejecutando. Con el fin tener una visión clara de los resultados de la experiencia y ofrecer una cimentación que solucione diversos problemas.

5.1 Presentación de los casos

La presentación de los casos que analizaremos corresponden al caso I hipotético en Piura y los casos II y III, ejecutados en Cerro Verde del distrito de Imperial, provincia de Cañete en Lima.

5.1.1 Caso I – Vivienda Básica:

Descripción

Se presenta como caso I, a una vivienda básica, proyecto que ENACE viene llevando a cabo y se realiza en distintas localidades y zonas del Perú, pero en este caso utilizando el sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos en terrenos de características de arenas pobres que pueden llevar consigo un alto potencial de licuación.

Problema o necesidad que el proyecto pretende solucionar

El principal problema identificado en el corte C por Cesar Pingo*, es la evidencia de licuación que existe en esta zona. Es muy probable que los propietarios por falta de información, se limiten a ejecutar planos sin tener en cuenta un estudio previo del suelo. Lo que pretendo, es demostrar e informar que con el sistema de cimentación con pilotes cortos se puede conseguir mayor estabilidad de la estructura, además de disminuir los asentamientos y desplazamientos de la edificación que los cimientos tradicionales no siempre pueden afrontar.

Ubicación del proyecto

La ubicación hipotética estaría referida a una und.: sección C, en la ciudad de Piura respectivamente que muestra la Fig. 5.1 cuyas características son arenas pobres.

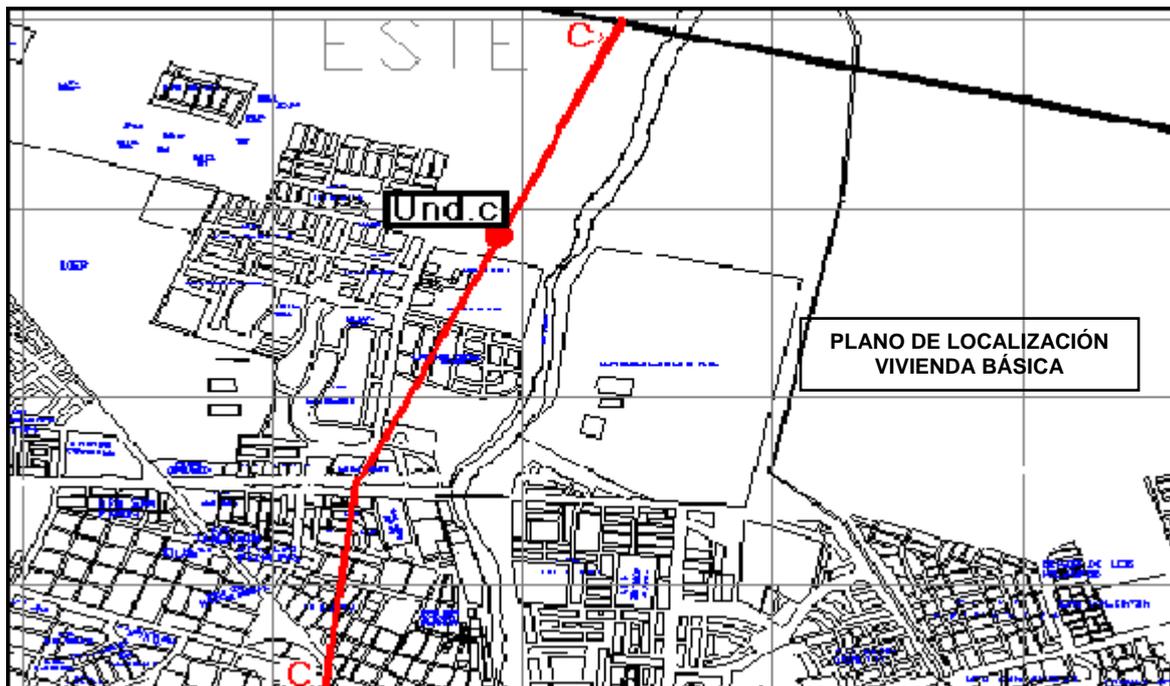


Fig. 5.1 Ubicación de la sección C dentro del plano de la ciudad de Piura.

* Tesis "Identificación de zonas con potencial de licuación de suelos en la ciudad de Piura con ensayos SPT".

5.2 Secuencia para el diseño

Los pasos para establecer la secuencia del diseño son:

- Información y antecedentes previos del terreno.
- Selección del material que se emplea en las obras.
- Planos arquitectónicos.
- Estructuración.
- Simulación.
- Análisis y diseño.

Los mismos que desarrollaremos de manera simultánea.

5.2.1 Información y antecedentes previos del terreno

Para el cálculo de la capacidad de carga de los pilotes cortos se ha tenido que conocer a manera de estudio de suelos, la estratigrafía de los terrenos involucrados y sus características. Considerando 1 perfil estratigráfico representativo en la ubicación de la sección C* para el caso I y la estratigrafía para el caso II y III original.

La estratigrafía presentada se encuentra en el anexo B: Cálculos, que son definidas para cada caso, con sus respectivos nombres, según:

- Caso I: Sección C - Piura
- Caso II: Estratigrafía - Imperial
- Caso III: Estratigrafía - Imperial

5.2.2 Características de los materiales

Los tres casos serán hechos en combinación de elementos de concreto armado y simple y muros de albañilería. En la fabricación del concreto se verificará previamente la calidad de los materiales que intervienen para la dosificación planeada cumpliendo las Normas Técnicas Peruanas y el empleo de materiales constructivos complementarios.

Tabla 5.1 Materiales y equipos requeridos por casos.

Materiales	Caso I	Caso II	Caso III
Agreg. Grueso	Sojo	Lima	Lima
Agreg. Fino	Cerro Mocho	Cañete	Cañete
Agua	In situ	In situ	In situ
Cemento	Pórtland Tipo I	Pórtland Tipo I	Pórtland Tipo I
Equipo o maquinaria	Tractor-alquiler	Tractor-alquiler	Tractor-alquiler
Herramientas	Manuales		

Para los tres casos se emplearán concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en todos los elementos de concreto que forman parte de la estructura (vigas, viguetas, columnas, losa), salvo los pilotes que tendrán un $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, de preferencia, diseñado con ciertos aditivos que se

* Según tesis definida por el Ing. César Pingo.

agregan para obtener mayor durabilidad. Las plaquetas prefabricadas tendrán un $f'c=140$ kg/cm².

5.2.3 Planos arquitectónicos

Brevemente se describirá lo que en planos se ha plasmado: La arquitectura de cada caso y su respectivo uso. (Ver anexo E: Planos - Arquitectura).

Caso I – Vivienda Básica:

La vivienda esta ubicada en la sección C, caso hipotético:

La vivienda constará de dos plantas y azotea con la siguiente distribución: primera planta: jardín exterior, hall de distribución, sala comedor, baño, cocina, patio, y jardín interior; segunda planta: Tres dormitorios, hall de distribución y baño completo común; tercer piso sólo azotea, lavandería-patio. (Ver anexo E: Planos A1).

- El área del 1er piso constará de 36 m².
- El área del 2do piso constará de 36 m².
- El área del 3er piso constará de 36 m².
- El área total construida es de 72 m².
- El área libre será 18 m².

Caso II - Guardianía:

Actualmente la guardianía esta ubicada dentro del proyecto integral que Caritas-Cañete viene ejecutando, caso es concreto:

La guardianía de una planta: jardín exterior, hall de distribución, dos cuartos y baño. (Ver anexo E: Planos A2).

- El área del 1er piso constará de 39.76 m².
- El área total construida es de 39.76 m².

Caso III - Comedor:

Actualmente el comedor está también ubicado dentro del proyecto integral que Caritas-Cañete viene ejecutando, caso concreto:

El comedor constará de dos plantas con la siguiente distribución: primera planta: jardín exterior, hall de distribución, comedor, baño, cocina, patio, y jardín interior; segunda planta: dos salas para comedor y baño completo común; tercera planta sólo techo. (Ver anexo E: Planos A3).

- El área del 1er piso constará de 135.14 m².
- El área del 2do piso constará de 135.14 m².
- El área del 3er piso constará de 135.14 m².
- El área total construida es de 270.28 m².
- El área libre será 83.86 m².

Materiales complementarios de la estructura, en los tres casos son:

1. Pisos: dormitorios, sala comedor cocineta y baños con cerámico de color.
2. Puertas: contraplacadas de madera de cedro.
3. Ventanas de vidrio transparente y aluminio.
4. Revestimiento: tarrajado y pintura
5. Baños completo nacional y mayólica de color
6. Instalaciones eléctricas y Sanitarias: agua fría, agua caliente, corriente eléctrica monofásica, teléfono.

5.2.4 Estructuración y predimensionamiento

Para la distribución de micropilotes, se debe tener en cuenta:

La longitud de separación entre pilotes, distancia mínima: cada 2.5 veces del diámetro del pilote. Por convención de estructuración no disten más de 3.5m. (Ver Fig. 5.3). (Ver referencia No. 7). Además de la elección del tipo de pilote (longitud y diámetro).

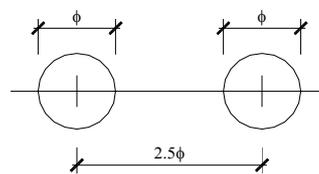


Fig. 5.3

Caso I – Vivienda Básica:

La configuración arquitectónica del caso I, que comprende a la vivienda básica, presenta dos plantas simples de forma regular, constituido por albañilería confinada, con columnas de amarre a doble altura. El plan de construcción es proyectado en dos frentes de trabajo por razones económicas. Inicialmente, se construirá la primera planta como base para posteriormente continuar la segunda parte como ampliación, si así conviene el propietario.

La distribución de columnas de amarre será para rigidizar la albañilería confinada según fuerzas laterales. El sistema que resiste las cargas verticales está compuesto por vigas simples de amarre y muros de albañilería.

La cimentación está compuesta por pilotes debidamente interconectados por vigas riostras en sus dos direcciones para la transmisión de los momentos sísmicos hacia la base de columnas y pilotes.

Los pilotes estarán por encima del nivel de la superficie del terreno de manera que quede la edificación levantada y estén distribuidos homogéneamente según la estructuración previa, tomando en cuenta que no disten más de 3.5 m entre ellas. La profundidad y diámetro del pilote se consigue por la capacidad de carga del terreno para luego ser diseñadas según la sollicitación de cargas y los esfuerzos que se produzcan por la interacción terreno-edificio. Además de mejorar el comportamiento sísmico, logra rigidez y resistencia en las dos direcciones principales consiguiendo disminuir los desplazamientos y asientos diferenciales.

La losa proyectada será la que abordamos en el capítulo III, se trata de la losa hormigonada que se comporta como el elemento que integra de manera monolítica todos los

componentes del sistema de losa. Será construida en el primer nivel con la finalidad de conformar un diafragma entre los elementos del sistema de cimentación entre vigas, losa hormigonada, pie de columnas y cabezas de pilotes que permitan una adecuada transferencia de cargas internas.

Los techos son losas aligeradas con tecknopor de 0.20 m de espesor, que pueden estar apoyadas en muros de albañilería confinada o en vigas peraltadas o de amarre de 0.25 m de ancho. (Ver anexo E: Planos E1-1).

Caso II - Guardianía:

La configuración arquitectónica del caso II, que comprende a la guardianía, presenta una planta simple de forma regular, constituido por albañilería confinada, con columnas de amarre a simple altura.

La distribución de columnas de amarre, la cimentación, losas y vigas tienen la misma estructuración que el caso I, porque son producto del mismo tipo de obra. Lo que le diferencia con el caso I es que el techo es construido con el mismo sistema de losa estructurada para la cimentación a modo de conseguir alguna conclusión al respecto. (Ver anexo E: Planos E2-1).

Caso III - Comedor:

La configuración arquitectónica del caso III que comprende al comedor, presenta dos plantas simples de forma regular, edificio con comportamiento dual entre albañilería y pórticos, con columnas principales que sirven de amarre a doble altura.

La distribución de las columnas será para rigidizar los muros de albañilería según las fuerzas laterales además de ser las columnas principales las mayores transmisoras de la carga total del edificio, por el tipo de obra.

Al igual que los casos anteriores está compuesta por pilotes debidamente interconectados por vigas riostras en sus dos direcciones para la transmisión de los momentos sísmicos hacia la base de columnas y pilotes.

Por tratarse de una edificación aporricada, la cimentación comprenderá de 6 zapatas con 5 pilotes en cada una, además de pilotes individuales para reducir la luz entre las vigas riostras, al igual que los otros casos, levantarán la edificación por encima de la superficie del terreno. Este caso tiene un total de 42 pilotes y están distribuidos según la estructuración previa tomando en cuenta que no disten más de 3.5 m entre ellas. La profundidad y diámetro se consiguen mediante la capacidad de carga del terreno para ser diseñadas según la sollicitación de cargas y los esfuerzos que se producen en la interacción terreno-edificio. Además de mejorar el comportamiento sísmico, logra rigidez y resistencia en las dos direcciones principales como en los anteriores casos.

La losa proyectada tiene las mismas características y cualidades que hemos señalado en el caso I y II, así como los entrepisos de los niveles superiores con la losa respectiva del caso I. (Ver anexo E: Planos E3-1)

Tabla 5.3 Resumen de la estructuración por casos.

Elementos	Caso I	Caso II	Caso III
No. De pilotes	9 und	14 und	42 und
Dist. / pilotes	1.50 – 3.25 m	1.30 – 3.00 m	2.00 – 3.90 m
Long. de pilotes	3.00 m	3.00 m	4.30 m
Vigas riostras	25 X 25 cm	25 X 25 cm	25 X 35 cm

5.2.5 Simulación

La simulación de la estructura se efectuó con el software SISMICAD LA, de manera integral para seguir el comportamiento de la estructura según las condiciones que el Reglamento Nacional de Estructuras exige para el diseño de la estructura. SISMICAD LA es un pre-post procesador en AutoCAD, AutoCAD LT, IntelliCAD 98 o IntelliCAD 2001 con su propio Solucionador Interno Tridimensional no Lineal de tipo SAP, dedicado a las estructuras en c.r., acero, mampostería y madera. Además del software ALLPILE para el diseño de cada pilote.

Previo a la simulación es preciso definir el estado de cargas que el edificio resiste y son calculadas en el anexo B: Cálculos, estas son:

- **Cargas**

Para llevar a cabo el estudio de cargas en una determinada estructura, es necesario cumplir con el Reglamento nacional de Estructuras. La cargas que gravitan sobre la estructura se dividen en cargas muertas, cargas vivas y cargas accidentales (vientos y sismos).

Carga muerta: Forman parte integrante de la estructura. Comprende el peso de techos, muros y otras cargas de carácter permanente actuando en la ubicación y con las dimensiones indicadas en planos. (Ver tabla 5.4 y 5.5).

Tabla 5.4 Con losa hormigonada.

CM	Caso I	Caso II	Caso III
Etapas I (kg/m ²)	278.73	278.73	278.73
Etapas II (kg/m ²)	390	390	390

Tabla 5.5 Con losa aligerada con tecknopor.

CM	Caso I	Caso II	Caso III
Piso típico	200	200	200

Carga viva: La sobrecarga considerada según el uso del edificio. (Ver tabla 5.6).

Tabla 5.6 Sobrecarga según casos.

CV	Caso I	Caso II	Caso III
Piso Típico (kg/m ²)	250	250	400
Azotea (kg/m ²)	100	100	100

Carga de viento: No se considera por las características de la edificación.

Carga de sismo: Esta carga se evalúa según la norma sismorresistente. De acuerdo a la estructuración definida en la norma indicada, Se ha sido analizado de acuerdo al planteamiento estático del reglamento, analizada a través de un análisis modal empleando el espectro de respuesta para la zona sísmica 3 y los resultados han sido combinados como indica el reglamento. (Ver tabla 5.7, 5.8 y 5.9; ver anexo B: Cálculos)

Tabla 5.7 Caso I

Estado de carga	Fuerza horizontal (ton)			Momento torsor (tonxm)		
	1er. Nivel	2do. Nivel	3er. Nivel	1er. Nivel	2do. Nivel	3er. Nivel
SISMOX1	0.80	5.60	10.40	0.24	1.68	3.12
SISMOX2	0.80	5.60	10.40	-0.24	-1.68	-3.12
SISMOY1	0.80	5.60	10.40	0.24	1.68	3.12
SISMOY2	0.80	5.60	10.40	-0.24	-1.68	-3.12

Tabla 5.8 Caso II

Estado de carga	Fuerza horizontal (ton)		Momento torsor (tonxm)	
	1er. Nivel	2do. Nivel	1er. Nivel	2do. Nivel
SISMOX1	2.07	13.84	1.21	2.63
SISMOX2	2.07	13.84	-1.21	-2.63
SISMOY1	2.07	13.84	0.39	8.13
SISMOY2	2.07	13.84	-0.39	-8.13

Tabla 5.9 Caso III

Estado de carga	Fuerza horizontal (ton)			Momento torsor (tonxm)		
	1er. Nivel	2do. Nivel	3er. Nivel	1er. Nivel	2do. Nivel	3er. Nivel
SISMOX1	1.19	7.72	14.26	0.85	5.52	10.19
SISMOX2	1.19	7.72	14.26	-0.85	-5.52	-10.19
SISMOY1	1.19	7.72	14.26	0.56	3.65	6.74
SISMOY2	1.19	7.72	14.26	-0.56	-3.65	-6.74

Combinaciones de cargas: Las combinaciones de cargas y sus respectivos factores de amplificación han sido hechos de acuerdo a lo indicado en la norma E-060 de Concreto Armado. Los elementos estructurales como viguetas, vigas, columnas y cimentación han sido diseñados para las situaciones de máximos esfuerzos.

$$U = 1.5CM + 1.8CV$$

$$U = 1.25(CM + CV \pm CS)$$

$$U = 0.9CM \pm 1.25CS$$

Son 17 combinaciones según N030, para el diseño. La sollicitación estática: (carga muerta, carga viva y un porcentaje del 30% del la carga muerta para la carga de sismo en la dirección vertical), en los apoyos (cabezas de pilotes). (Ver anexo A: Ecuaciones).

De acuerdo a las características del terreno se calcula la capacidad de carga admisible para las posibles dimensiones y profundidades del pilote. Como ejemplo se presentará la capacidad de carga de diferentes estratos, por diferentes métodos como son: Por Terzagui, Reesse O'neill y verificados por el programa ALLPILE; sin embargo, estos resultados no son coincidentes mas no se alejan de ser próximos.

La carga admisible considera un factor de seguridad de 3. (Ver anexo B: Cálculos).

Caso I – Vivienda Básica:

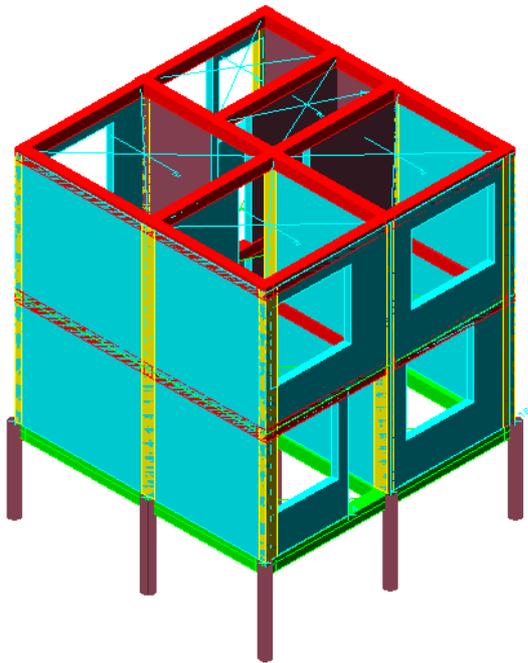


Fig. 5.4

Perspectiva de Vivienda Básica

- Vigas principales 0.25x0.30 m.
- Viga secundaria 0.25x0.25 m
- Columnas de 0.30*0.15 m.

Inicialmente se construirá solo la primera planta proyectando la cimentación para dos plantas.

La altura del terreno a la superficie de la losa inferior o piso es 0.50m y la altura de entrepiso entre el primer y segundo entrepiso es de 2.80 m. (Ver Fig. 5.4)

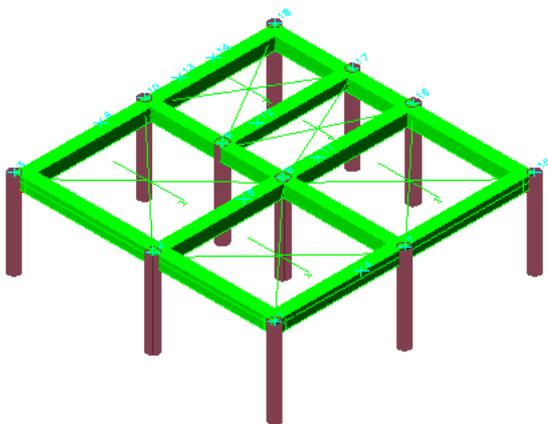


Fig.5.5

Visualización de la cimentación. Vigas interconectadas entre los pilotes con la losa de entrepiso. (Ver Fig. 5.5)

Para elegir el pilote adecuado según sollicitación de carga estática. (Ver Fig. 5.6).

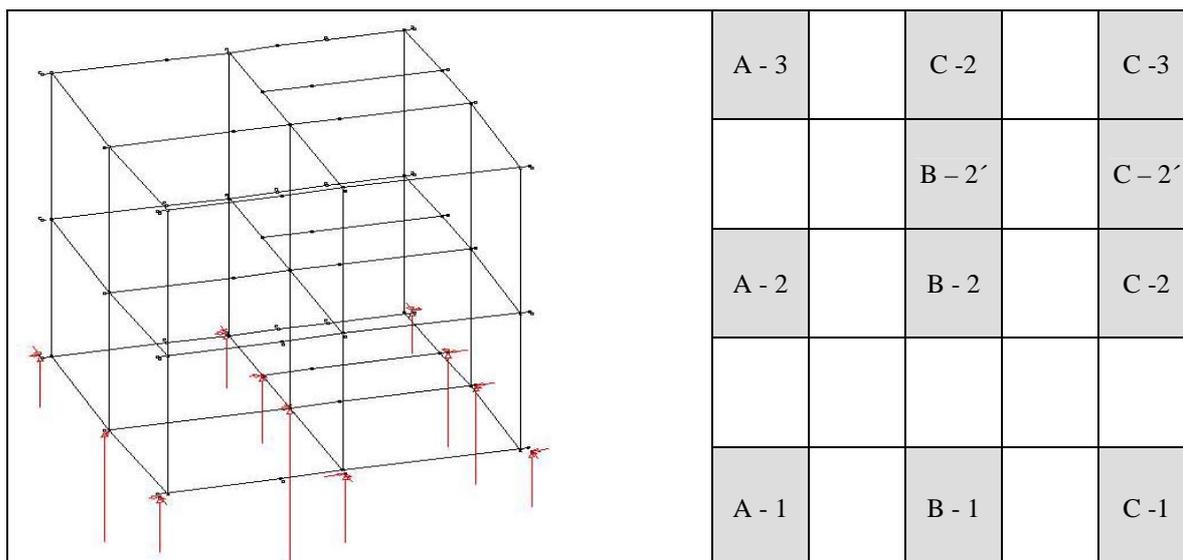


Fig. 5.6 Solicitación Estática: CM+CV+%CS, Cálculo de las reacciones en cada pilote.
(Software SISMICAD La).

Las **Reacciones en las uniones vigas – pilotes**, para elegir el pilote apropiado, son:

Posición	Fx (tn)	Fy (tn)	Fz (tn)	Mx (tn.m)	My (tn.m)	Mz (tn.m)	ZxFs(3) (tn)	Prof. (m)
A - 1	0.25	1.09	4.64	0.32	-0.72	0.00	13.92	4.00
A - 2	0.00	0.51	10.04	-0.27	-1.60	0.00	30.12	5.50
A - 3	0.26	-1.21	4.16	-0.11	-0.07	0.00	12.48	4.00
B - 1	1.05	1.01	5.90	0.42	-0.09	0.00	17.70	4.00
B - 2	0.28	-1.15	15.03	-0.42	0.26	0.00	45.09	8.00
B - 2'	0.32	0.64	6.19	0.28	-1.33	0.00	18.57	4.00
B - 3	0.31	-0.87	4.83	-0.28	-1.01	0.00	14.49	4.00
C - 1	-0.67	0.91	4.70	-0.23	0.09	0.00	14.10	4.00
C - 2	-0.85	0.01	9.27	-0.20	1.14	0.00	27.80	5.00
C - 2'	-0.93	-0.22	8.74	0.24	1.05	0.00	26.22	5.00
C - 3	-0.11	-0.72	3.52	-0.23	0.06	0.00	10.57	4.00

Las **Fuerzas internas en las uniones vigas – pilotes** en la envolvente de las combinaciones de carga para el diseño de los elementos, son:

Posición	Fx (tn)	Fy (tn)	Fz (tn)	Mx (tn.m)	My (tn.m)	Mz (tn.m)
A - 1	1.19	1.53	18.00	9.05	13.30	4.86e-5
A - 2	0.89	1.44	21.40	10.80	14.30	5.97e-5
A - 3	1.04	1.30	17.30	12.10	12.30	1.97e-5
B - 1	1.50	1.39	20.10	7.73	10.30	2.17e-3
B - 2	1.58	1.22	22.80	10.60	11.10	5.88e-6
B - 2'	1.30	1.29	12.80	9.55	16.20	1.97e-5
B - 3	1.36	1.14	15.80	10.50	10.50	1.76e-5
C - 1	1.64	1.31	16.20	10.10	13.30	1.24e-4
C - 2	1.39	1.28	17.30	9.76	10.80	1.67e-5
C - 2'	1.35	1.23	16.00	9.66	10.30	2.91e-5
C - 3	1.45	1.16	13.80	10.20	11.60	1.90e-4

Comportamiento de la Edificación:

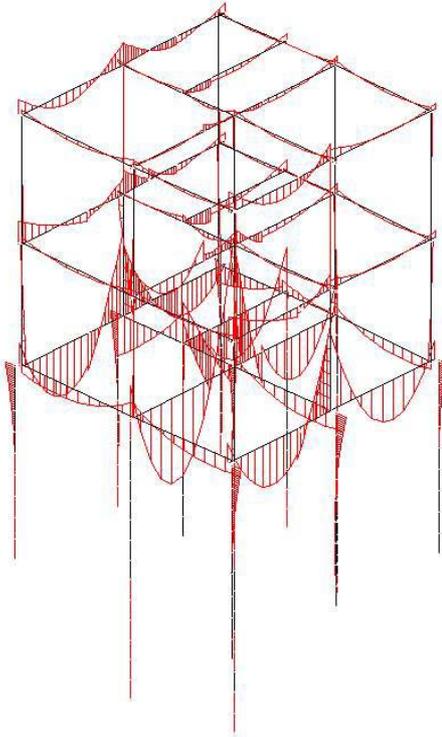


Fig.5.7 Diag. de momentos en X: Comb. 1

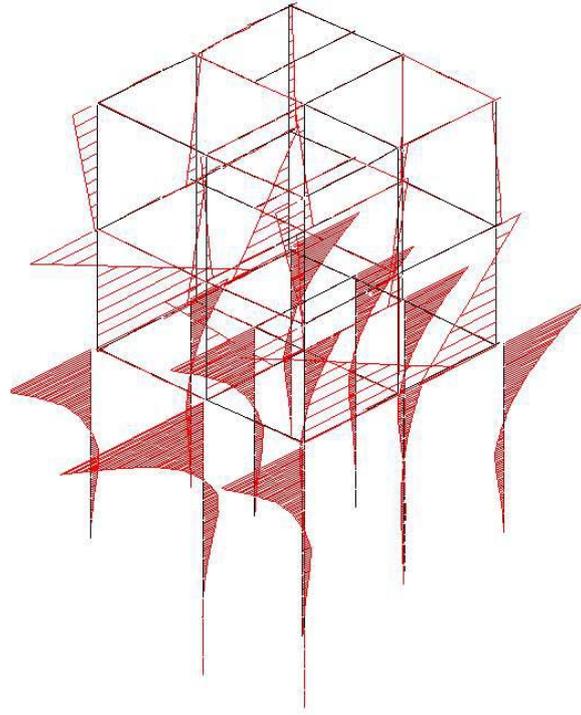


Fig.5.8 Diag. de momentos en Y: Comb. 1

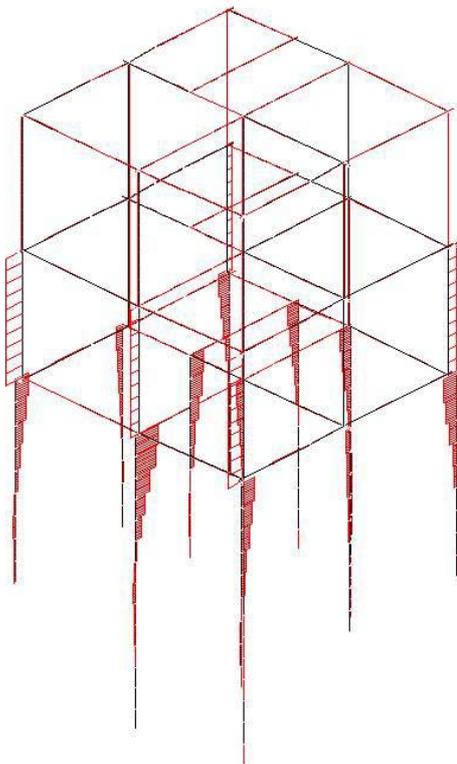


Fig.5.8 Diag. de fuerzas cortantes en X: Comb. 1.

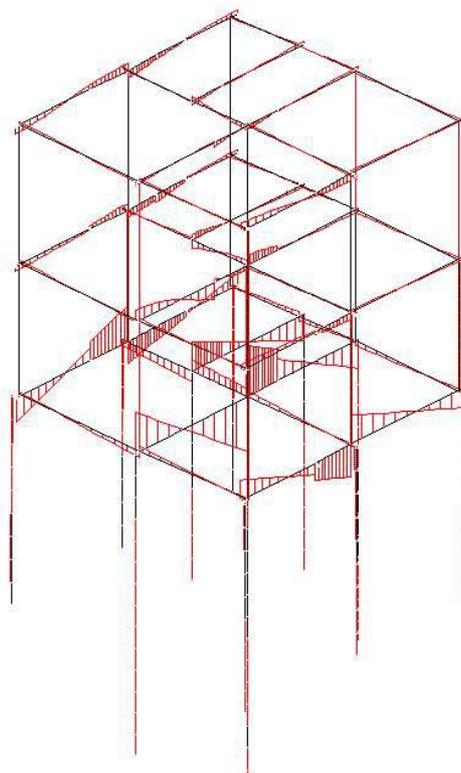


Fig.5.9 Diag. de fuerzas cortantes en Y: Comb. 1

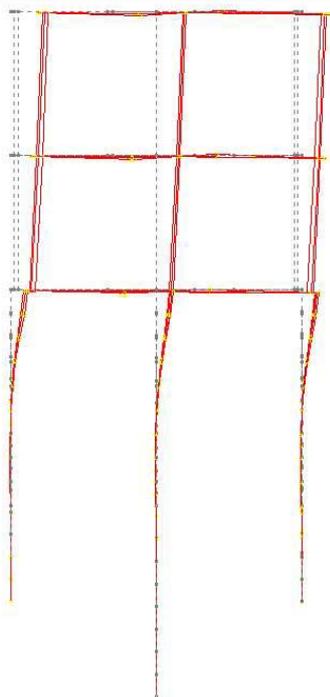


Fig. 5.10 Sismo en dirección X: Comb. 3.

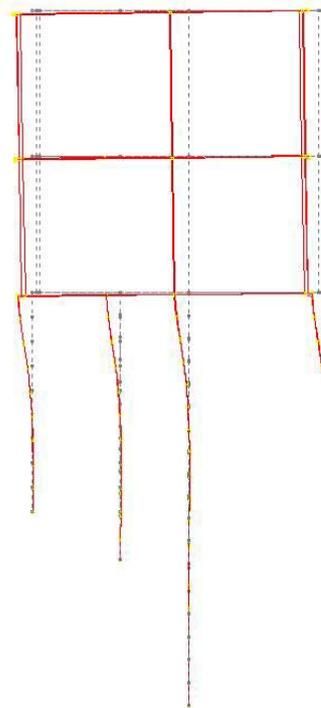


Fig. 5.11 Sismo en dirección Y: Comb. 6.

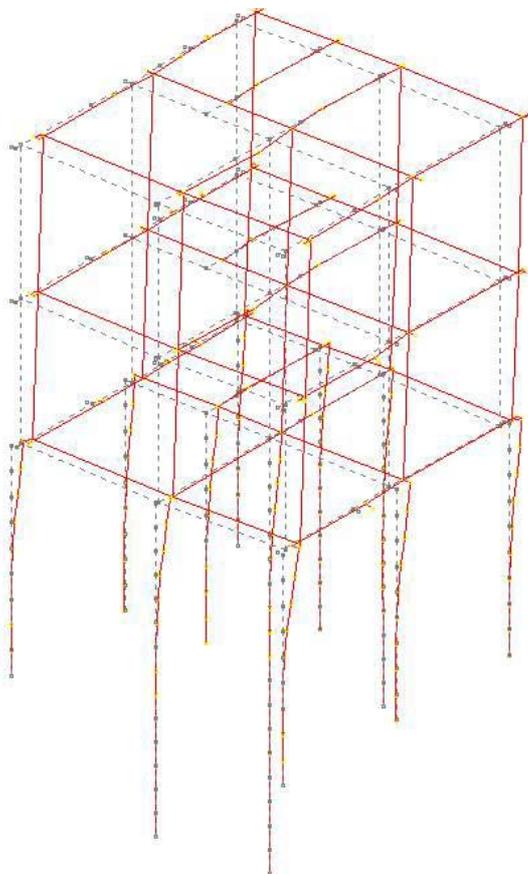


Fig. 5.12 Perspectiva del edificio: sismo X-comb. 3.

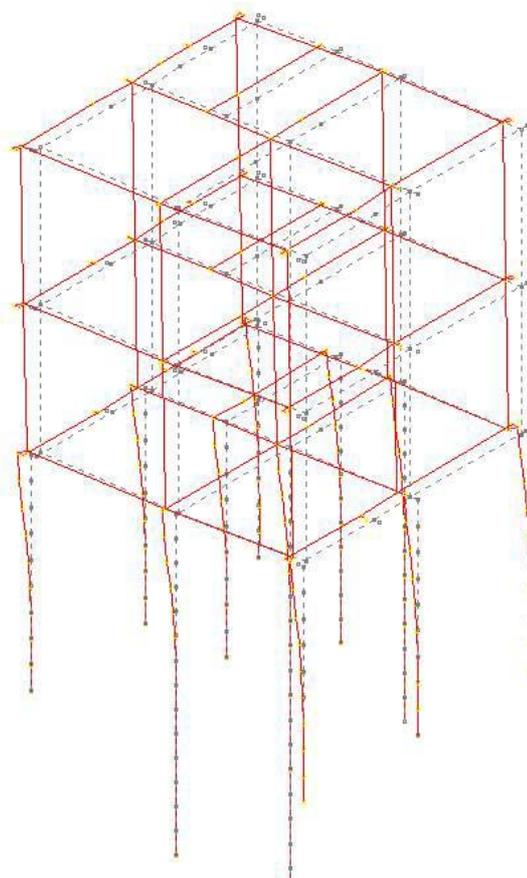


Fig. 5.13 Perspectiva del edificio: sismo Y-comb. 6.

Caso II - Guardianía:

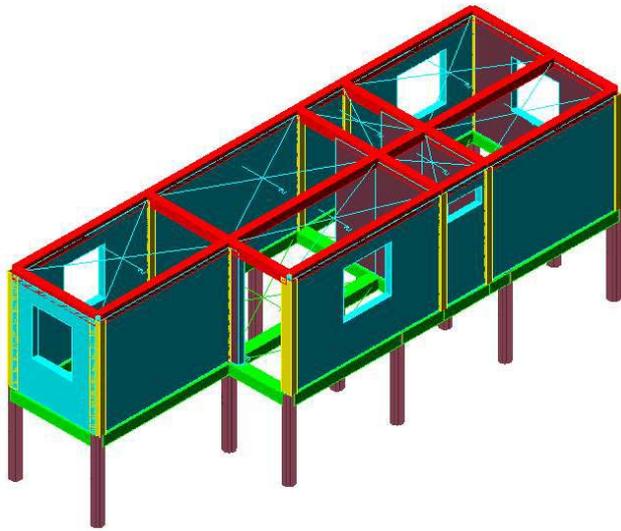


Fig. 5.14

Perspectiva de Guardianía

- Vigas 0.25x0.25 m.
- Columnas 0.30x0.15 m.

Inicialmente se construirá solo la primera planta proyectando la cimentación para dos plantas.

La altura del terreno a la superficie de la losa inferior o piso es 0.50m y la altura de entrepiso entre los entrepisos es 2.80m. (Ver Fig. 5.14).

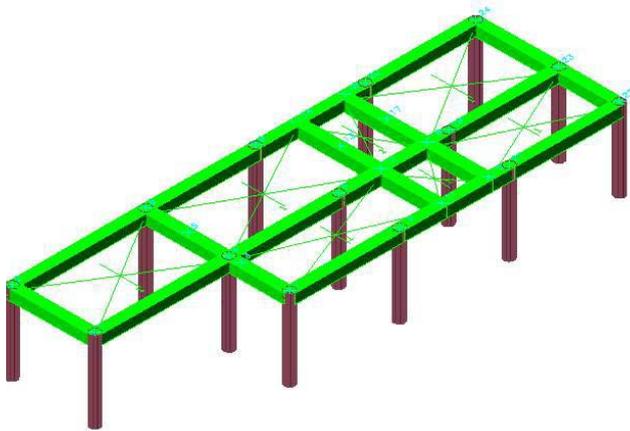


Fig.5.15

Visualización de la cimentación. Vigas interconectadas entre los pilotes con la losa de entrepiso. (Ver Fig. 5.15).

Para elegir el pilote adecuado, de igual modo como el caso I, según solicitación de carga estática. (Ver Fig. 5.16).

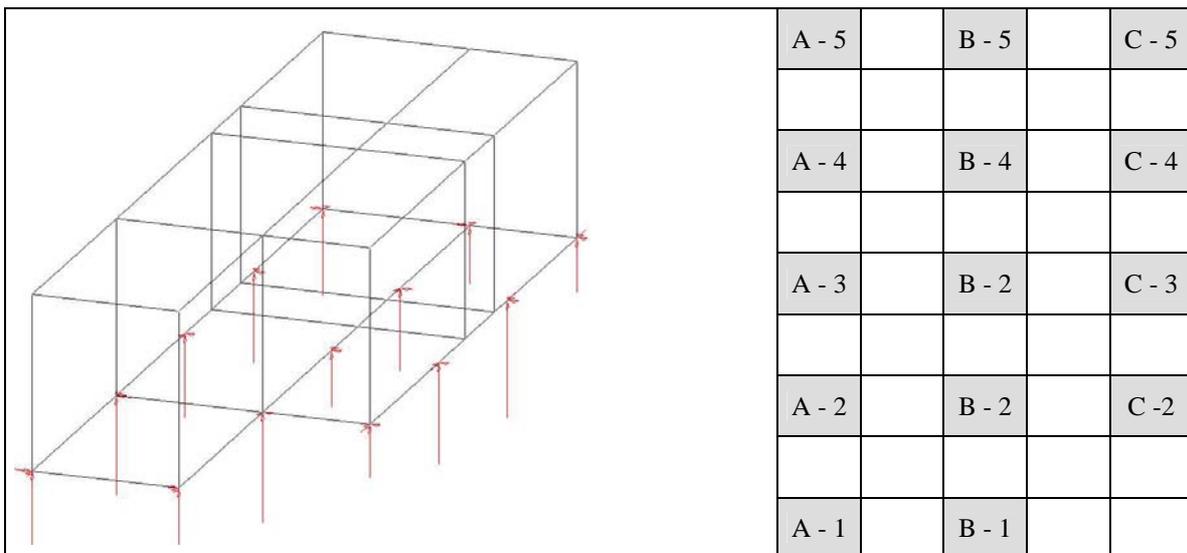


Fig. 5.16 Solicitación Estática: CM+CV+%CS. Cálculo de reacciones en cada pilote. (Software SISMICAD)

Las **Reacciones en las uniones vigas – pilotes**, para elegir el pilote apropiado, son:

Posición	X (tn)	Y (tn)	Z (tn)	X (tn.m)	Y (tn.m)	Z (tn.m)	ZxFs(3)	Prof. (m)
A – 1	0.448	-0.716	5.538	-0.024	-0.691	0.000	13.85	4.00
A – 2	-0.470	0.468	6.810	0.011	0.206	0.141	17.03	4.00
A – 3	0.257	0.032	5.683	0.000	0.249	0.017	14.21	4.00
A – 4	-0.201	0.174	6.165	0.000	0.001	-0.047	15.41	4.00
A – 5	-0.195	-0.277	5.836	0.115	0.449	-0.090	14.59	4.00
B – 1	0.506	-0.126	3.657	0.086	-0.839	0.000	9.14	4.00
B – 2	0.043	0.416	7.604	0.080	0.322	0.263	19.01	4.00
B – 3	-0.042	0.041	3.624	0.000	-0.159	0.022	9.06	4.00
B – 4	0.012	0.209	5.545	0.000	0.751	-0.056	13.86	4.00
B – 5	-0.253	-0.607	3.712	0.117	0.704	-0.133	9.28	4.00
C – 2	1.089	0.071	3.398	0.075	-0.307	0.105	8.50	4.00
C – 3	1.287	0.042	6.951	0.001	-0.023	0.024	17.38	4.00
C – 4	-1.365	0.192	8.150	0.001	0.318	-0.055	20.38	4.00
C – 5	-1.115	0.079	3.434	-0.011	0.390	-0.019	8.59	4.00

Las **Fuerzas internas en las uniones vigas – pilotes** en la envolvente de las combinaciones de carga para el diseño de los elementos, son:

Posición	Fx (tn)	Fy (tn)	Fz (tn)	Mx (tn.m)	My (tn.m)	Mz (tn.m)
A – 1	0.55	0.98	12.51	0.82	0.86	0.00
A – 2	0.59	0.54	14.90	0.13	0.17	0.00
A – 3	0.63	0.39	5.33	0.61	0.76	0.00
A – 4	0.98	0.46	12.51	0.02	0.43	0.00
A – 5	0.79	1.17	12.79	0.72	0.41	0.00
B – 1	0.57	1.02	10.21	0.71	0.77	0.00
B – 2	0.75	1.10	13.25	0.77	0.58	0.00
B – 3	0.52	0.39	7.03	0.06	1.02	0.00
B – 4	1.11	0.47	13.89	0.02	0.26	0.00
B – 5	0.89	1.21	3.31	0.93	0.27	0.00
C – 2	0.65	0.97	8.15	0.60	0.45	0.00
C – 3	0.58	0.40	3.57	0.41	0.98	0.00
C – 4	1.07	0.47	12.42	0.02	0.56	0.00
C – 5	0.75	1.05	10.49	0.90	0.50	0.00

Comportamiento de la Edificación:

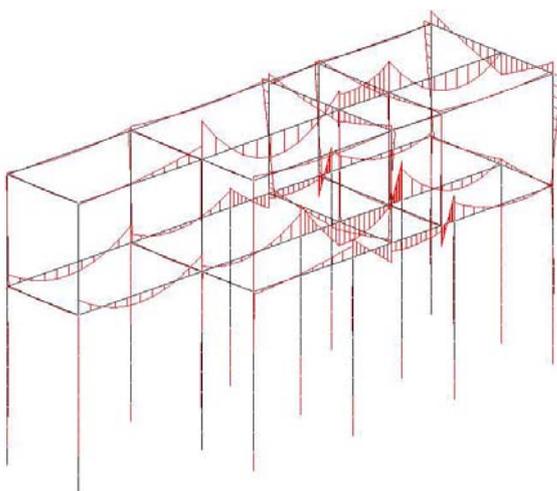


Fig. 5.17 Diag. de momentos en X: Comb. 1.

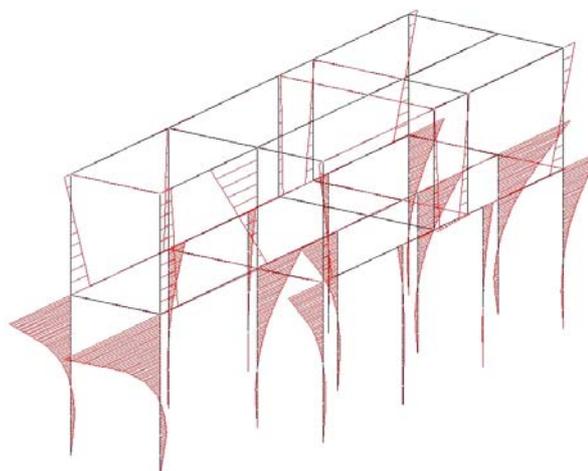


Fig. 5.18 Diag. de momentos en Y: Comb. 1.

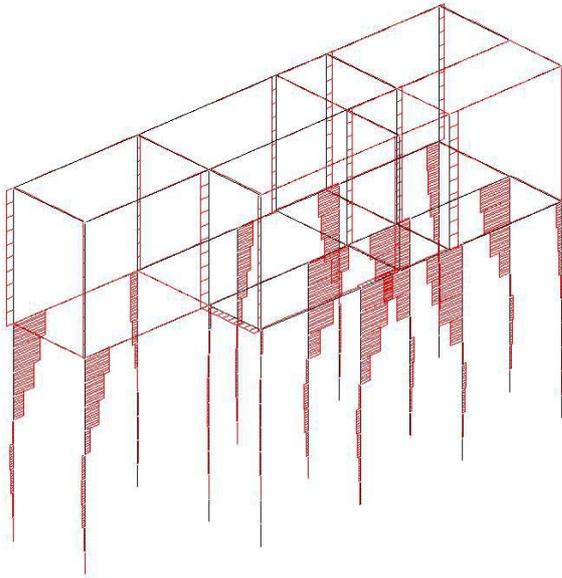


Fig. 5.19 Diag. de fuerzas cortantes en X: Comb. 1.

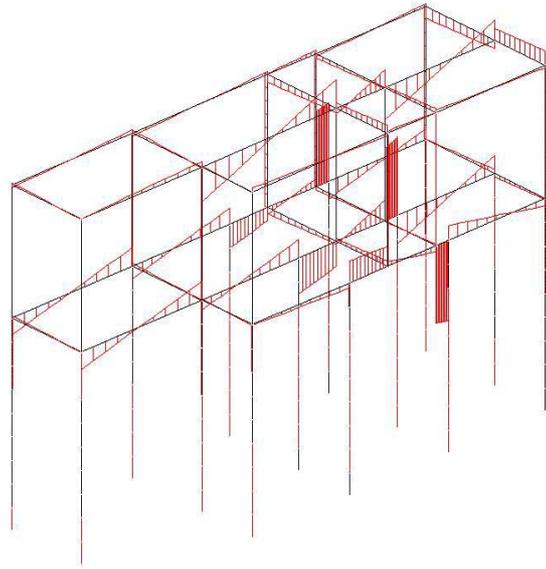


Fig. 5.20 Diag. de fuerzas cortantes en Y: Comb. 1.

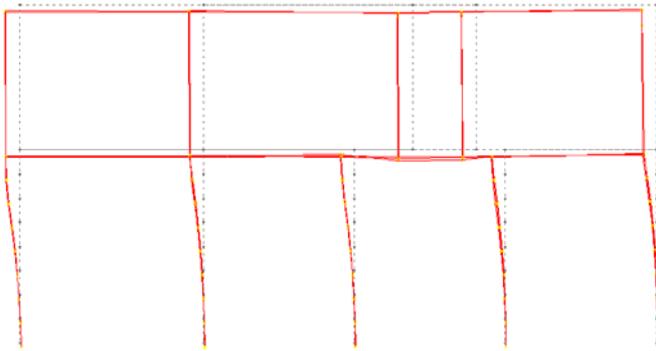


Fig. 5.21 Sismo en dirección X: Comb. 3.

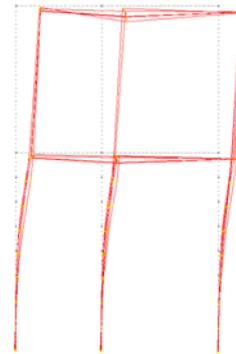


Fig. 5.22 Sismo en dirección Y: Comb. 6.

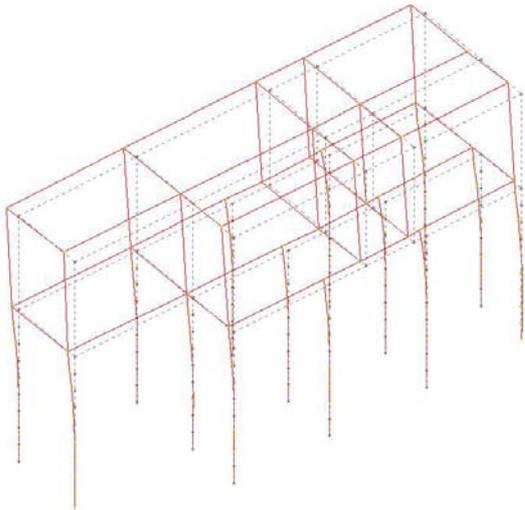


Fig. 5.23 Perspectiva del edificio: sismo X-comb. 3.

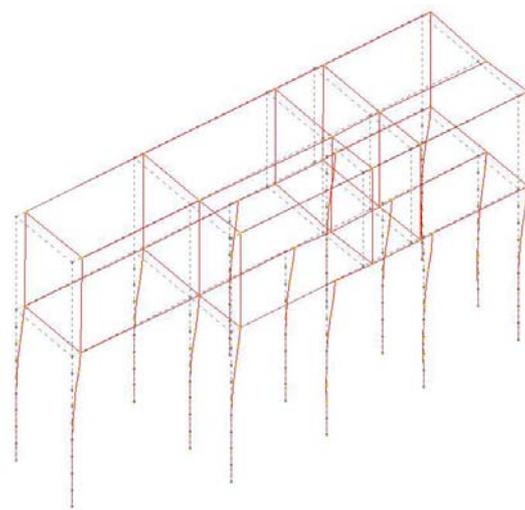


Fig. 5.24 Perspectiva del edificio: sismo Y-comb. 6.

Caso III - Comedor:

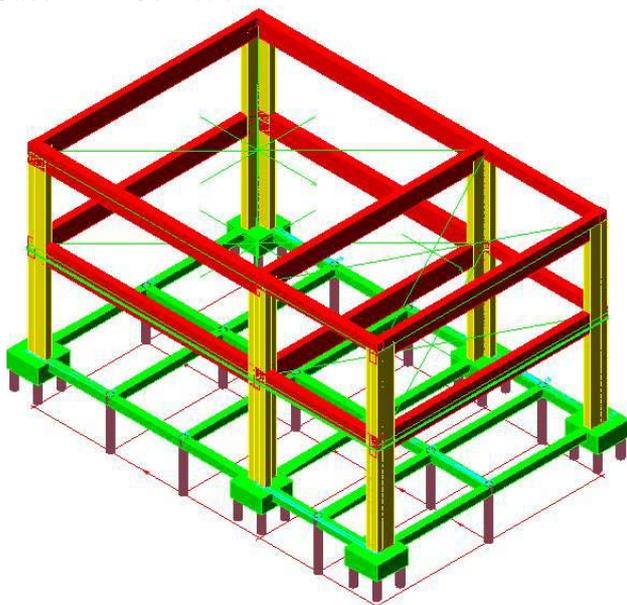


Fig.5.25

Perspectiva del Comedor

- Viga 0.25x0.35 m.
- Columnas 0.30*0.15 m.

Se proyecta la cimentación con grupo de pilotes que resistirán las zapatas por medio de grupo de pilotes para dos plantas con sobrecargas definidas según el Reglamento Nacional de Estructuras.

La altura entre el terreno y la superficie inferior de la losa es 0.50m y la altura de entrepisos es 2.80m. (Ver Fig. 5.25).

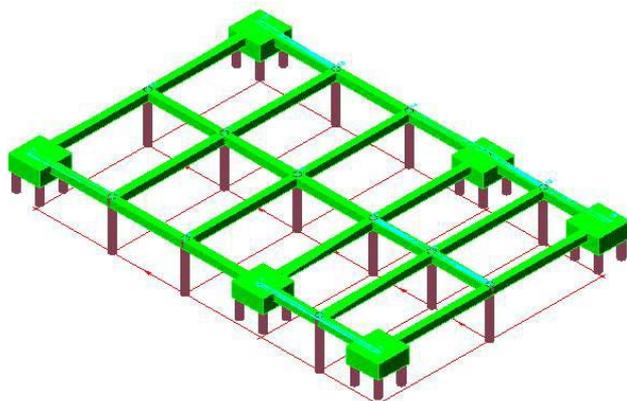


Fig.5.26

Visualización de la cimentación. Vigas interconectadas entre los pilotes con la losa de entrepisos. (Ver Fig. 5.26).

Para elegir el pilote adecuado, según sollicitación de carga estática. (Ver Fig. 5.27).

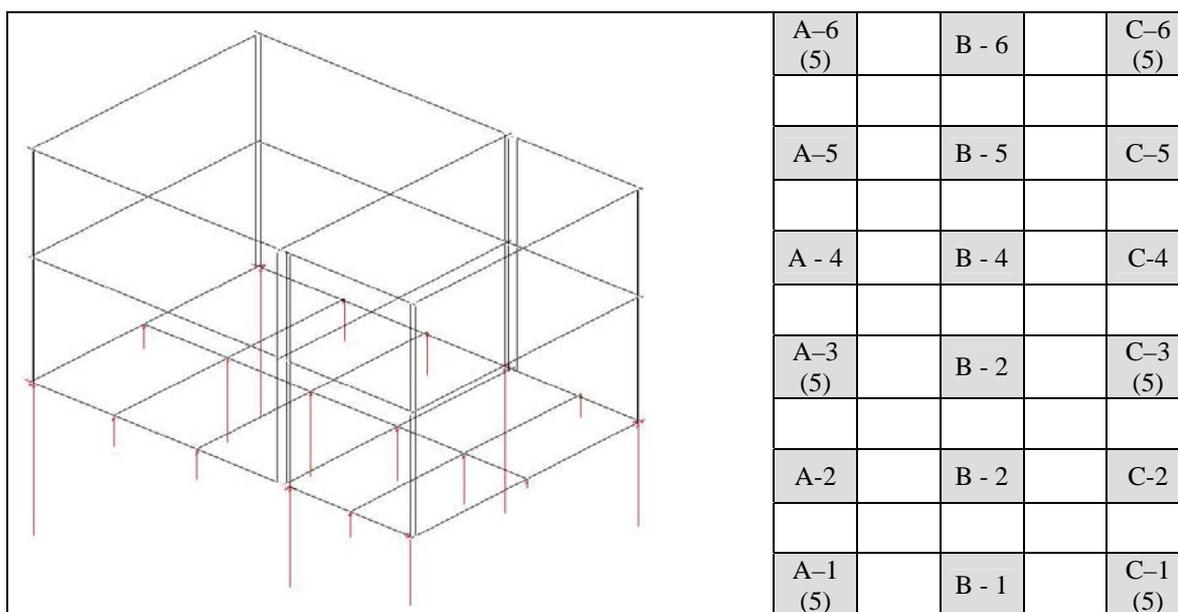


Fig. 5.27 Sollicitación Estática: CM+CV+%CS, Cálculo de reacciones en los pilotes. (Software SISMICAD)

Las *Reacciones en las uniones vigas – pilotes*, para elegir el pilote apropiado, son:

Pos.	Fx (tn)	Fy (tn)	Fz (tn)	Mx (tn.m)	My (tn.m)	Mz (tn.m)	ZxFs(3)	Prof. (m)
A-1 (5)	0.19	-0.69	11.53	-0.51	2.66	0.00	34.59	(5) 4.00
A-2	0.00	0.00	3.04	-1.41	-37.71	0.00	9.13	4.00
A-3 (5)	0.54	0.62	27.68	-7.63	6.99	0.00	83.04	(5) 4.00
A-4	0.00	0.00	3.84	-0.37	-47.09	0.00	11.52	4.00
A-5	0.00	0.00	3.75	-0.52	-47.09	0.00	11.25	4.00
A-6 (5)	1.05	-0.34	24.57	4.82	5.23	0.00	73.71	(5) 4.00
B-1	0.00	0.00	3.75	-3.37	0.00	0.00	11.25	4.00
B-2	0.00	0.00	7.31	4.42	16.53	0.00	21.93	4.00
B-3	0.00	0.00	7.53	0.74	2.48	0.00	22.59	4.00
B-4	0.00	0.00	13.45	-0.15	-2.59	0.00	40.35	4.00
B-5	0.00	0.00	13.43	0.01	-2.59	0.00	40.29	4.00
B-6	0.00	0.00	4.85	-1.65	0.00	0.00	14.55	4.00
C-1 (5)	-0.18	-0.06	11.25	-1.01	-2.16	0.00	33.75	(5) 4.00
C-2	0.00	0.00	3.52	0.00	21.19	0.00	10.55	4.00
C-3 (5)	-1.75	0.20	31.89	-2.12	2.40	0.00	95.67	(5) 4.00
C-4	0.00	0.00	6.64	0.00	49.69	0.00	19.91	4.00
C-5	0.00	0.00	6.64	0.00	49.69	0.00	19.91	4.00
C-6 (5)	-1.06	-0.35	24.56	4.85	-5.35	0.00	73.68	(5) 4.00

Las *Fuerzas internas en las uniones vigas – pilotes* en la envolvente de las combinaciones de carga para el diseño de los elementos, son:

Pos.	Fx (tn)	Fy (tn)	Fz (tn)	Mx (tn.m)	My (tn.m)	Mz (tn.m)
A-1 (5)	1.10	1.05	8.62	0.70	0.08	0.00
A-2	1.89	0.83	18.80	0.55	2.05	0.00
A-3 (5)	1.24	0.89	21.70	0.58	0.96	0.00
A-4	1.99	0.89	28.30	0.49	2.56	0.00
A-5	1.98	0.67	30.40	0.73	2.54	0.00
A-6 (5)	0.62	14.70	12.00	3.96	1.58	0.00
B-1	0.84	0.79	23.60	0.41	0.59	0.00
B-2	0.77	0.34	21.40	0.55	0.60	0.00
B-3	0.69	0.78	33.70	0.52	0.66	0.00
B-4	0.76	0.69	25.60	0.65	0.59	0.00
B-5	0.81	0.79	25.80	0.52	0.63	0.00
B-6	0.83	0.52	26.80	0.82	0.62	0.00
C-1 (5)	1.30	1.33	11.90	1.01	0.91	0.00
C-2	1.89	0.78	17.50	0.53	0.17	0.00
C-3 (5)	1.27	0.90	27.90	0.59	0.37	0.00
C-4	2.17	0.84	32.40	0.49	0.31	0.00
C-5	2.21	0.68	31.30	0.75	0.28	0.00
C-6 (5)	1.35	0.71	16.60	0.81	0.54	0.00

Comportamiento de la Edificación:

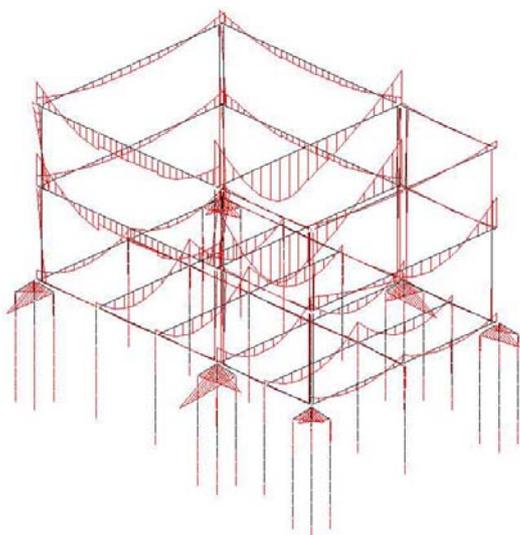


Fig.5.28 Diag. de momentos en X: Comb. 1

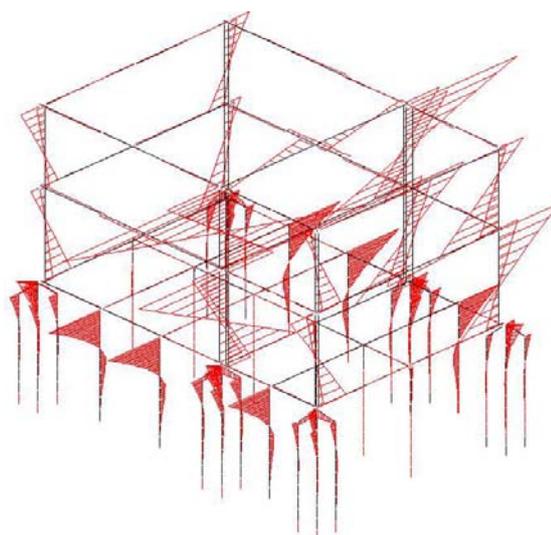


Fig.5.29 Diag. de momentos en Y: Comb. 1

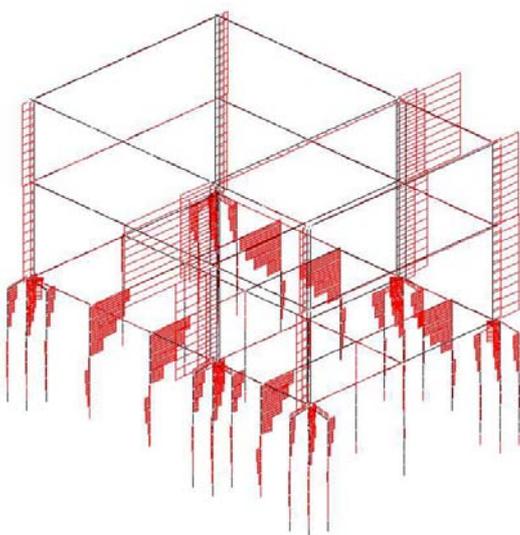


Fig.5.30 Diag. de fuerzas cortantes en X: Comb. 1.

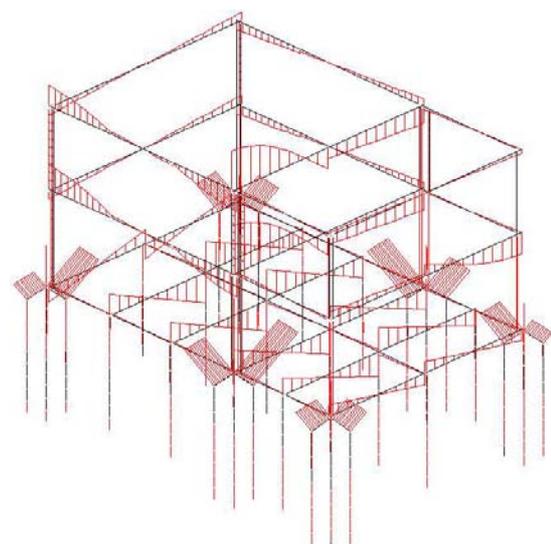


Fig.5.31 Diag. de fuerzas cortantes en Y: Comb. 1.

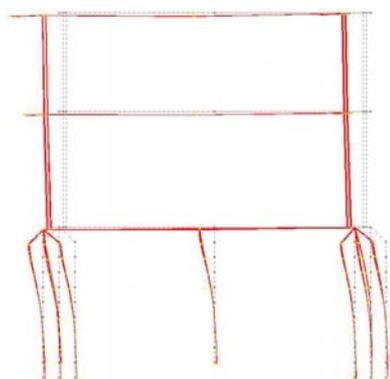


Fig. 5.32 Sismo en dirección X: Comb. 3.

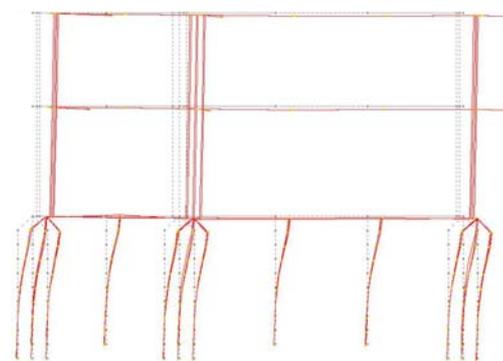


Fig. 5.33 Sismo en dirección Y: Comb. 6.

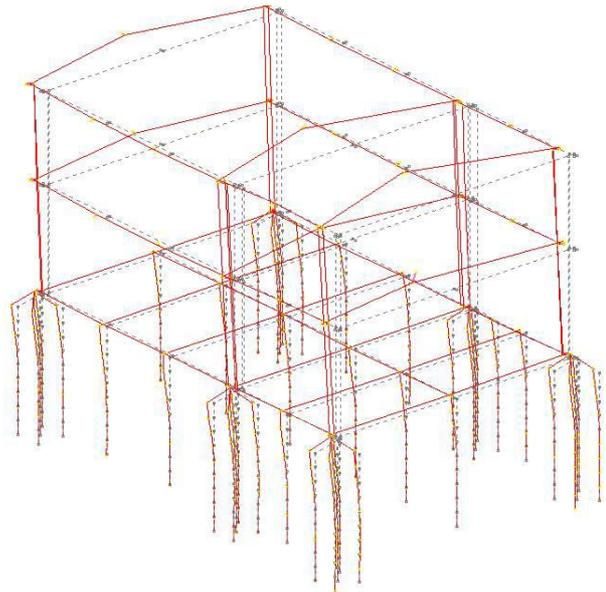
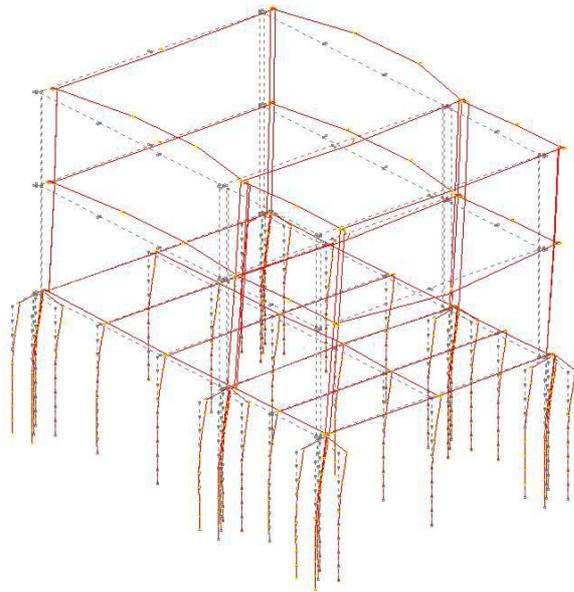


Fig. 5.34 Perspectiva del edificio: sismo X-comb. 3.

Fig. 5.35 Perspectiva del edificio: sismo Y-comb. 6.

5.3 Análisis de resultados.

Para la visualización de resultados de la simulación se procede del siguiente modo:

1. Se analiza el comportamiento de a edificación ante las solicitaciones, usando el software para verificar que cumple los límites permitidos por el reglamento.
2. Si está dentro de los límites permitidos se define las dimensiones correctas de los elementos que conforman la estructura.
3. Registro de los momentos y fuerzas internas que se derivan de los resultados verificados por el software.
4. Diseño final de los elementos.

5.3.1 Desplazamientos laterales permisibles.

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, no debe exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la siguiente tabla del Anexo de Ecuaciones. De esta manera comprobar si el sistema se logra disminuir los desplazamientos laterales del edificio ante acción sísmica.

Según la Norma Técnica de Edificaciones E030, los resultados que se obtienen de la ecuación para el cálculo de los desplazamientos laterales de cada nivel se encuentran en las siguientes tablas respectivas. (Ver tabla 5.10, 5.11 y 5.12).

Caso I – Vivienda Básica

Tabla 5.10 Desplazamientos calculados que resultan de la simulación de las combinaciones de carga.

Nivel	Nivel 2-1 (Uxi-Uxi-1)*R*0.75/H < 0.005			Nivel 1-0 (Uxi-Uxi-1)*R*0.75/H < 0.005		
Altura de entrepiso	H=2.80			H=2.60		
Pos.	Ux	Uy	Uz	Ux	Uy	Uz
A - 1	2.65E-03	9.16E-04		3.18E-03	9.87E-04	-1.38E-01
A - 2	2.98E-03	9.16E-04		3.21E-03	9.87E-04	-1.19E-01
A - 3	2.41E-03	9.08E-04		3.47E-03	9.95E-04	-1.47E-01
B - 1	2.01E-03	8.52E-04		3.08E-03	9.09E-04	-1.43E-01
B - 2	2.31E-03	8.60E-04		3.18E-03	9.09E-04	-1.14E-01
B - 3	2.44E-03	8.60E-04		3.24E-03	9.09E-04	-9.04E-02
B - 2'	2.57E-03	8.60E-04		5.45E-03	5.26E-03	-1.10E-01
B - 3'	2.25E-03	8.76E-04		3.12E-03	9.26E-04	-1.38E-01
C - 1	2.35E-03	8.76E-04		3.12E-03	9.35E-04	-1.30E-01
C - 2	2.44E-03	8.76E-04		3.24E-03	9.43E-04	-1.14E-01
C - 3	2.57E-03	8.92E-04		3.38E-03	9.43E-04	-8.55E-02

De la tabla anterior se desprende que ningún resultado excede el máximo permitido por la norma, como son: Nivel 2-1 tiene 2.98e-3 de desplazamiento máximo y Nivel 1-0: tiene 3.47e-3 de desplazamiento máximo.

Caso II – Guardianía

Tabla 5.11 Desplazamientos calculados que resultan de la simulación de las combinaciones de carga.

Nivel	Nivel 1-0 (Uxi-Uxi-1)*R*0.75/H < 0.005		
Altura de entrepiso	H=2.60		
Pos.	Ux	Uy	Uz
A - 1	1.13E-04	1.31E-03	-4.03E-02
A - 2	1.21E-04	1.45E-03	-6.06E-02
A - 3	1.38E-04	1.42E-03	-5.95E-02
A - 4	1.38E-04	1.23E-03	-5.71E-02
A - 5	1.64E-04	1.00E-03	-3.41E-02
B - 1	1.80E-04	1.30E-03	-3.57E-02
B - 2	1.54E-04	1.45E-03	-5.98E-02
B - 3	1.32E-04	1.39E-03	-4.12E-02
B - 4	1.30E-04	1.22E-03	-5.54E-02
B - 5	1.21E-04	9.95E-04	-5.07E-02
C - 1	1.69E-04	1.45E-03	-4.52E-02
C - 2	1.38E-04	1.39E-03	-5.43E-02
C - 3	1.04E-04	1.24E-03	-4.69E-02
C - 4	8.65E-05	9.95E-04	-2.19E-02
C - 5	1.13E-04	1.31E-03	-4.03E-02

De la tabla anterior se desprende que ningún resultado excede el máximo permitido por la norma, como son: Nivel 1-0: tiene 1.93e-3 de desplazamiento máximo.

Caso III – Comedor

Tabla 5.12 Desplazamientos calculados que resultan de la simulación de las combinaciones de carga.

Nivel	Nivel 2-1 ($U_{xi}-U_{xi-1}$)* R * $0.75/H < 0.007$			Nivel 1-0 ($U_{xi}-U_{xi-1}$)* R * $0.75/H < 0.007$		
Altura de entrepiso	H=3.30			H=3.90		
Pos.	U _x	U _y	U _z	U _x	U _y	U _z
A-1 (5)	6.00E-03	5.32E-03		8.08E-03	6.27E-03	-9.06E-02
A-2						-6.12E-02
A-3 (5)	5.05E-03	5.45E-03		6.69E-03	6.14E-03	-2.12E-01
A-4						-8.40E-02
A-5						-1.16E-01
A-6 (5)	-1.66E-02	-1.64E-02		5.45E-03	6.31E-03	-9.66E-02
B-1						-2.84E-01
B-2						-6.47E-02
B-3						-1.77E-01
B-4						-1.33E-01
B-5						-1.16E-01
B-6						-8.55E-02
C-1 (5)	6.00E-03	3.68E-03		8.17E-03	4.48E-03	-1.28E-01
C-2						-1.43E-01
C-3 (5)	5.05E-03	3.68E-03		6.47E-03	4.43E-03	-9.95E-02
C-4						-2.63E-01
C-5						-9.19E-02
C-6 (5)	-1.46E-02	-1.42E-02		3.66E-03	4.60E-03	-1.38E-01

De la tabla anterior se desprende que 3 resultados exceden el máximo permitido por la norma, como son: Nivel 2-1 tiene 1.46e-2 de desplazamiento máximo y Nivel 1-0: tiene 8.17e-3 de desplazamiento máximo. Considerando que se trata de una estructura dual, los muros no permitirán mayores desplazamientos.

5.3.2 Asientos verticales permisibles.

Del mismo modo se miden los asientos diferenciales que se producen por la acción de carga del edificio. Esta medición se hace midiendo el asiento de cada apoyo y el diferencial que se produce entre cada uno de ellos, para obtener el ángulo de distorsión respectivo. Este ángulo debe ser menor que el límite permitido. (Ver tabla 5.13).

Tabla 5.13 Asientos

	Caso I – Vivienda Básica	Caso II – Guardianía	Caso III – Comedor
U _z (cm)	1.47e-1	6.06e-2	2.63e-1
R(rad)	1.79e-3		6.49E-03

De los resultados medidos en el anexo B: Cálculos se puede observar que los resultados de las rotaciones producidas en cada pilotes son pequeños, con lo cual podemos constatar con los resultados de asientos presentados en cada pilote. El asentamiento de un pilote individual o grupo de pilotes bajo carga de trabajo es usualmente tan pequeño que no representa problemas.

5.3.3 Diseño de los elementos

- **Pilotes**

Una vez analizada la estructura y cumpliendo con los límites del Reglamento Nacional de estructuras, se procede con el diseño de cada elemento participante del sistema, El diseño debe ser capaz de absorber las fuerzas internas cortantes, axiales y momentos que por consiguiente transmite. El diseño de los pilotes se efectuó con el software ALLPILE, especializado para el cálculo y diseño de pilotes y se hizo de manera individual cuidando de cumplir las condiciones de empotramiento. (Ver anexos B: Cálculos y E: Planos E).

- **Vigas y losas.**

Las vigas serán diseñadas con los diagramas de momentos y cortantes que obtenemos del programa SISMICAD. Los resultados según este caso se detallan en los planos de estructuras del sistema. (Ver anexos B: Cálculos y E: Planos E).

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se trata sobre la determinación de costos y presupuestos del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos en comparación del sistema tradicional, teniendo en cuenta los requerimientos de materiales, equipo y mano de obra que interviene en las obras.

6.1 Costos y presupuestos en construcción

El análisis económico se efectuará simultáneamente en términos de costos y presupuestos, dado que no puede haber presupuesto sin costo, el costo en el presupuesto se determina aplicado a una cantidad o metrado, de determinada unidad. La suma de los costos constituye un presupuesto.

En la programación de una obra intervienen un conjunto de actividades que se organizan con técnicas, costo y tiempo determinados como se puede ver en el diagrama 6.1; para el presupuesto, sólo nos basaremos en la línea correspondiente de costo del referido diagrama.

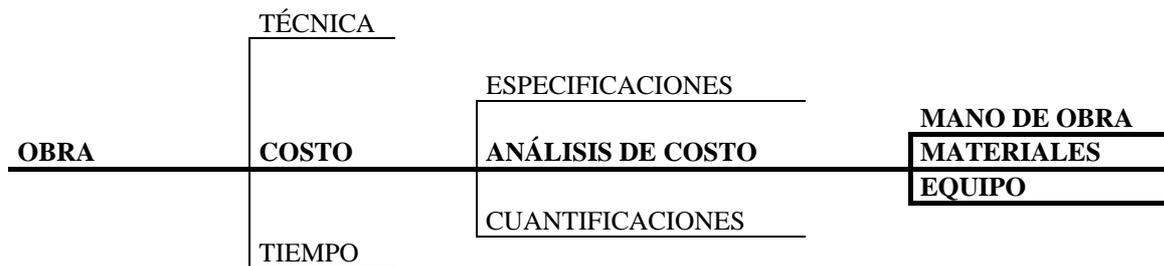


Diagrama 6.1 Elementos que intervienen en el presupuesto de toda obra.

Dentro de los tipos de costos, sólo nos remitiremos a los **costos directos** conformados por la Mano de Obra, Materiales y Equipo y Herramientas.

Definiremos a los costos como aquellos que quedan insumidos en la obra.

$$\text{COSTO DIRECTO} = \text{METRADOS} \times \text{COSTO UNITARIO}$$

Los metrados se formularán en base a los siguientes documentos:

- Planos del Proyecto, como cantidad.
- Especificaciones Técnicas, como calidad.

Los planos, como se puede ver en el anexo E: Planos, reúnen ciertas características técnicas referidas a:

- Escalas, algunas estandarizadas como para los planos de arquitectura: Elevaciones, Plantas 1:50.
- Tamaño de los planos.
- Membretes, etc.

Los **costos unitarios** están definidos por la sumatoria siguiente:

$$\text{COSTO UNITARIO} = \text{MANO DE OBRA} + \text{MATERIALES} + \text{EQUIPO/HERRAMIENTAS}$$

Conceptualmente se ha definido el Presupuesto de Obra como la determinación del valor de dicha obra conocidos con los siguientes parámetros:

- Las partidas que se necesitan: codificadas.
- Los metrados de cada una de estas partidas: sustentados.
- Los costos unitarios de cada una de ellas: revisados.
- Los porcentajes de Gastos Generales (sustentados) y Utilidad (estimada).
- El Impuesto General a las Ventas (19%).

No existe un formato oficial o único para la presentación de un Presupuesto de Obra.

En términos técnico-prácticos el presupuesto de la obra debe considerar: Arquitectura, estructuras, Eléctricas, Sanitarias. Más para los casos prácticos solo nos referiremos la estructura a nivel de cimentación. Con este documento se podrá reflejar la cuantificación económica para un periodo dado, más aún en los países con inestabilidad económica.

6.1.1 Mano de Obra

El presupuesto y costo de la mano de obra se obtiene de acuerdo al tipo de trabajadores que intervienen en las distintas fases de diseño y construcción de la obra y pueden ser: profesionales, técnicos, operarios, obreros calificados y no calificados. En el caso peruano, las retribuciones son variables de región a región y según la responsabilidad que cada trabajador, más las obligaciones legales: salud, jubilación y otros.

La mano de obra se define por el costo de un obrero de construcción civil por día o también llamado día-hombre.

Dentro de este ítem, de nuestra experiencia puedo referir que la mano de obra en la aplicación del sistema, no contaba más que con procedimientos tradicionales, cuando se les propuso este sistema, su desempeño fue lento, más su esfuerzo y ganas por realizar las actividades no comunes se demostró, aunque hubo momentos que no concebían la idea de desarrollar una actividad que tenía que hacerse lentamente, más era necesario desarrollarlo de esta manera. Más los resultados finales fue un trabajo tecnificado y logrado de manera grupal sin descuidar la calidad de construcción.

6.1.2 Materiales

Los recursos usados dentro de una edificación deben ser de buena calidad, de acuerdo a las especificaciones que exige el proyecto. Los casos II-III se han desarrollado con la intervención de recursos propios de Caritas y la mano de obra de la población de Cañete. Los materiales que se empleo fueron supervisados buscando calidad de los recursos.

Como es el caso de los agregados extraídos desde Lima, Agregado grueso extraído desde la cantera de Gloria y en otras ocasiones desde la fabrica First. De las cuales el tamizado con la malla ¼” del agregado grueso para la fabricación de los prefabricados y de tamaño máximo ½” para los demás elementos de concreto armado. El agregado fino es extraído de la cantera Molina, Lima. De las cuales se ha verificado sus características cuidando la calidad de estos. (Ver Anexo D: Fotos - Agregados.)

Para el caso I, se puede obrar de manera concreta con numerosos materiales u recursos de construcción que la región de Piura posee, así como agregados de las canteras de Sojo y Cerro Mocho y con los materiales de construcción traídos de los distribuidores cercanos a la obra. Se cuenta en Piura con la planta de cementos de Pacasmayo y si optamos por pilotes de fierro, contamos con lugares de reciclaje como la “chatarrera” de Sullana.

6.1.3 Equipo

Existen diversas maquinarias y quipos para el tipo de obra según requiera, sin embargo el análisis del costo del equipo tiene en consideración dos.

Costo hora-máquina, determinado a través del análisis del costo de alquiler de equipo por hora, siendo este costo variable en función al tipo de la máquina, potencia de motor, si es sobre llantas o sobre orugas.

Con la experiencia en Cañete, con fines prácticos y económicos, se ha utilizado como equipo un tractor común que se ha obtenido por alquiler hora-máquina cuyo costo por hora es de 40. El cual se le ha acondicionado un sistema que cambia el eje horizontal original del tractor a eje vertical para realizar la perforación.

La perforación se logró con un juego de brocas acoplables, que tiene como cabeza y guía una broca especial tipo hélice que por su geometría y función, ingresa al subsuelo y facilita el avance de la perforación y por tratarse de un tractor que tiene potencia regular, se vio necesario aplicar varios ciclos de entrada y salida con la porción de terreno que el motor puede levantar. (Ver anexo D: Fotos – No. 67, 68 y 69).

Teniendo en consideración que el proceso constructivo de cualquier obra requiere herramientas menores de diversos tipos: picos, palas, lampas, carretillas, bouggie, etc., las cuales son suministrada por el contratista, este debe incluir su depreciación dentro de los costos diversos. La práctica usual establece el costo de herramientas como un porcentaje del costo de la mano de obra. Estos porcentajes son variables y a criterio del analista, suelen ser del orden de 3% - 5 % del costo de la mano de obra.

6.2 Análisis económico comparativo.

El presupuesto comparativo se realizará a nivel de cimentación, tanto para la cimentación tradicional y el sistema propuesto en la tesis. (Ver anexo C: Presupuestos).

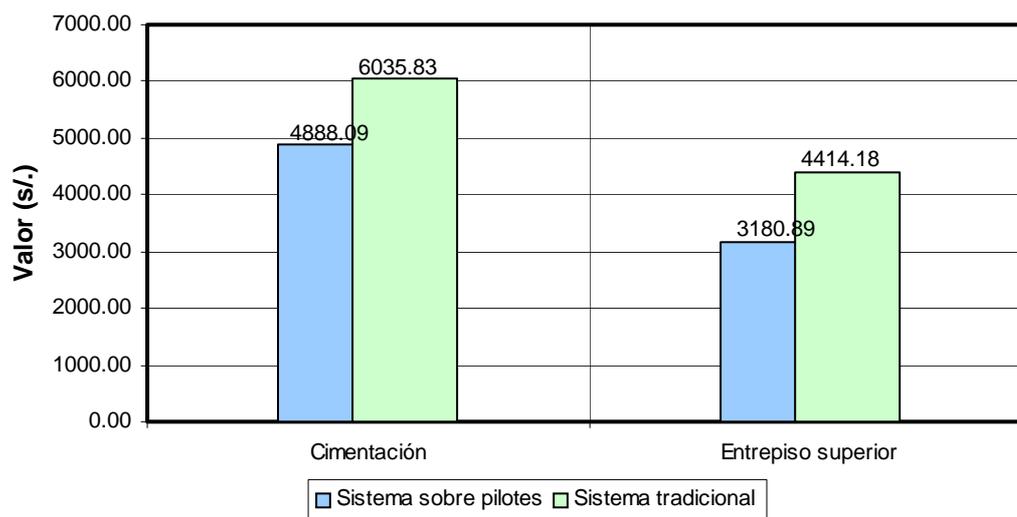
6.2.1 Presupuesto comparativo entre el método tradicional de cementos corridos y el sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos.

En el presupuesto sólo se consideran las actividades que participan a nivel de cimentación y sus correspondientes partidas además de la justificación económica del empleo de la losa propuesta como parte de los elementos del sistema.

- **CASO I – Vivienda Básica:**

DIAGRAMA COMPARATIVO DEL PRESUPUESTO

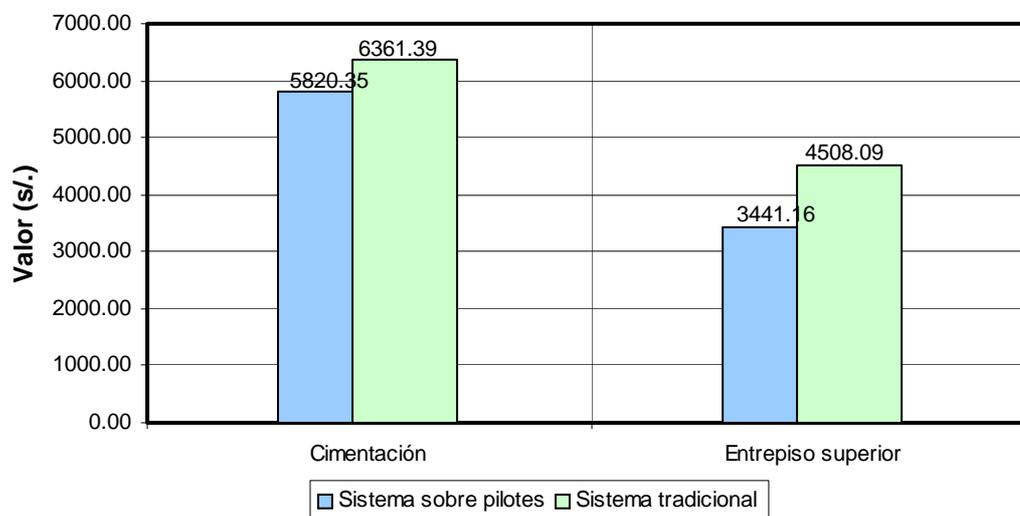
	Sistema sobre pilotes	Sistema tradicional
Cimentación	4888.09 s/.	6035.83 s/.
Entrepiso superior	3180.89 s/.	4414.18 s/.



- **CASO II - Guardianía:**

DIAGRAMA COMPARATIVO DEL PRESUPUESTO

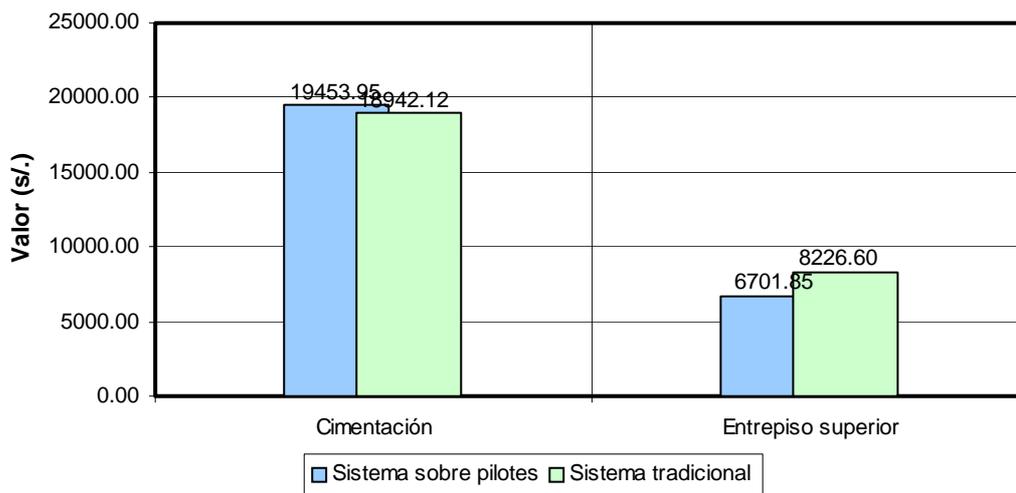
	Sistema sobre pilotes	Sistema tradicional
Cimentación	5820.35 s/.	6361.39 s/.
Entrepiso superior	3441.16 s/.	4508.09 s/.



• **CASO III - Comedor:**

DIAGRAMA COMPARATIVO DEL PRESUPUESTO

	Sistema sobre pilotes	Sistema tradicional
Cimentación	19453.95 s/.	18942.12 s/.
Entrepiso superior	6701.85 s/.	8226.60 s/.



El análisis económico comparativo de los dos presupuestos, tanto cimentación tradicional de cimientos corridos como del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos, esta reflejada al costo hasta el nivel de piso sin acabados, en los tres casos no lleva a derivar las siguientes reflexiones:

- 1ro. Que la diferencia del costo de la cimentación por pilotes es ligeramente menor del tradicional en los primeros casos.
- 2do. Que en el caso III, aun cuando el costo de la cimentación por pilotes resulto un poco mayor ante la cimentación convencional que presenta el caso, se trata de una cimentación para una edificación donde las columnas son las principales conductoras de la carga total del edificio hacia el terreno por medio de las vigas y principalmente por las zapatas a través del grupo de pilotes, mas si el caso III hubiese tenido la cimentación por medio de zapatas conectadas por medio de vigas de cimentación, este resultaría mayor que la propuesta.
- 3ro. Que en el caso del costo presupuestal comparativo entre la aplicación de la losa tradicional y la losa hormigonada, en los niveles superiores, que presentamos en el capítulo III, la diferencia es evidente alcanzando un ahorro promedio del 23% aproximadamente.
- 4to. Las primeras experiencias generalmente son más costosas y que al rutinizarse este sistema disminuirá aún más los costos.

- 5to. Los mayores ahorros presupuestales se obtendrá en edificaciones de construcción masivas porque se utilizarán los mismos encofrados.
- 6to. Cuando se edifica con cimentación corrida en terrenos pobres se requiere movimiento de tierras más profundas por las zanjas y mayor volumen de concreto simple elevando los costos presupuestales. Sin embargo, estará vulnerable a cualquier cambio o estado que se produce en el terreno y los costos por mantenimiento serán continuos. A diferencia de que la cimentación por pilotes pueden aumentar cuando los estratos estables son muy profundos (más de 5 m) pero en cambio, se obtendrá mayor funcionalidad y estabilidad del edificio, frente a actividad sísmica, reduciendo los costos de mantenimiento futuros.
- 7mo. Que en el caso concreto de la aplicación del sistema en Imperial-Cañete, se ha registrado un ahorro de un 30 % aproximadamente referido al total de la edificación. En el presente estudio no expone al detalle este resultado debido a que se centra sólo a nivel de cimentación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo final constituye la síntesis de la tesis que los presentamos como conclusiones y recomendaciones sobre el diseño y aplicación del sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos para edificaciones livianas. Así mismo, se acompañan los anexos que complementan metodológica, gráfica y fotográficamente nuestro trabajo.

Conclusiones

7.1

- Las cimentaciones superficiales frecuentemente usadas en las construcciones sufren un conjunto de daños generados por diferentes factores que mencionamos.
- Estos factores modifican la geomorfología de los suelos ocasionando fisuras, grietas, rajaduras, oxidaciones, desprendimientos, degradaciones, etc. debilitando poco a poco los elementos del edificio en contacto con el terreno como son las cimentaciones.
- Las zonas más vulnerables de estos problemas en el país se encuentran mayormente, en pie de valles, quebradas de costa y selva.

7.2

- Para afrontar los efectos de los suelos con los problemas mencionados han llevado a usar diversos tipos de cimentaciones.
- Con las cimentaciones convencionales, no siempre han podido afrontar las distintas situaciones adversas que los suelos contaminados, empobrecidos, expansivos y otros afectan la funcionalidad y durabilidad de los cimientos.
- Entre las posibles soluciones se encuentran tratamientos complicados, desconocidos que al ser usados resultan económicamente onerosos además de tener una efectividad limitada para un solo problema como agua, o sales, o humedad, etc.
- Estas son las razones por las que se justifica proponer la cimentación levantada sobre pilotes cortos.

7.3

- La cimentación por pilotes como sistema, engrana en una unidad monolítica con la losa y vigas riostras que se ofrece como una alternativa integral para edificaciones livianas por cuanto afronta simultáneamente varios problemas.
- La losa levantada sobre los pilotes sólo permite que menos del 10% de la superficie del edificio esté en contacto con el terreno, disminuyendo la transferencia de sales, humedad y otros deteriorantes.
- Así mismo permite un ambiente interno fresco debido al colchón de aire que se forma entre el suelo y la losa, a diferencia del cimiento corrido que proporciona una elevada transmisión de calor, humedad por el contacto directo con el suelo.

7.4

- El sistema, permite firmeza y solidez en la base, por cuanto enfrenta al efecto sísmico.
- El proceso de construcción de los elementos puede ser tan simple como cualquier sistema convencional. No se aleja de ser un proceso constructivo ya incursionado como se demuestra cuando las poblaciones nativas y campesinas las han utilizado empíricamente en zonas inundables y quebradas.

7.5

- Se ha observado que tanto los desplazamientos laterales como asientos verticales del edificio resultaron pequeños.

7.6

- Se demuestra que con el sistema de cimentación levantada sobre pilotes cortos se pueden obtener costos menores tanto en el presupuesto de construcción como en el mantenimiento. Este ahorro puede alcanzar hasta un 30% como ha sido en Cañete.

7.7

- Independientemente, estos ahorros se pueden incrementar si se promueven construcciones de viviendas económicas en serie para usar los mismos encofrados.

Recomendaciones

Es preciso mencionar que este sistema por ser relativamente nuevo en nuestro medio requiere de un mayor estudio del comportamiento y de manera complementaria proponer soluciones de tratamientos para limitar aun más las transferencias de sales, humedad y otros para que el sistema enfrente las adversidades venideras con el tiempo, en resumen podemos mencionar:

- Ante transmisión de sales y agentes contaminantes que por presencia de humedad reacciona originando degradaciones en los pilotes, puede hacerse un tratamiento de terreno local para cada pilote, en los primeros metros para no debilitar la capacidad de carga del pilote en el terreno.
- Ante la expansión y contracción de las arcillas expansivas, se debe definir el sistema de manera rígida que garantice solidez a la edificación, pues este sistema no restringirá su movimiento natural.
- Ante alto potencial de arenas sueltas, el pilote se debe fundar alcanzando el estrato estable, a cambio de incrementar los costos se puede lograr un mejor funcionamiento del sistema.
- Ante suelos bajos inundables, levantar adecuadamente la losa hasta llegar al nivel deseado sin la necesidad de la partida de movimiento de tierras que incrementa notablemente los costos en el presupuesto.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI – CAPÍTULO PERUANO (1998), Cimentaciones de concreto armado en edificaciones. Perú.
2. CARRILLO, A. G. (1990). Arcillas expansivas el problema de las cimentaciones livianas. Perú.
3. COSCOLLANO RODRÍGUEZ, JOSÉ (1998). Tratamiento de las humedades en los edificios. Madrid – España.
4. CRESPO VILLALAZ, CARLOS (1996). Mecánica de suelos y cimentaciones. México, España, Venezuela y Colombia.
5. HARMSSEN, TEODORO (1998). Diseño de estructuras de concreto armado. Perú.
6. PINTO ZEGARRA, CÉSAR FRANCISCO (1998). Identificación de zonas con potencial de licuación de suelos en la ciudad de Piura con ensayos SPT. Perú.
7. RODRÍGUEZ ORTIZ, JOSÉ MARÍA; SERRA GESTA, JESÚS; OTEO MAZO, CARLOS. Curso aplicado de cimentaciones. Madrid – España.
8. SOTO LASERNA, ROBERTO A.; MORALES HERNÁNDEZ, JOSE A.; COBOS LOPEZ, ROY. Nota técnica - Entrepisos y cubiertas conformados con semiviguetas de hormigón armado y losa abovedada de mortero (Sistema LAM). Cuba.
9. TOMLINSON, M. J. (1996). Cimentaciones – Diseño y construcción. México.
10. ULSAMER PUIGGARI, FEDERICO. Las humedades en la construcción. Barcelona – España.
11. CIENCIA Y TÉCNICA DE LA INGENIERÍA CIVIL. Revista de obras públicas (Nov. 2002).
12. REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES.
13. NORMAS TÉCNICAS PERUANAS.
14. NOTAS TÉCNICAS.