



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO
DE CIMENTACIONES PROFUNDAS
TERMOACTIVAS EN LA
CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES
EN VENEZUELA**

Autores: Ocanto H. Víctor M.

CI: 24.643.797.

Vargas P. Osmer D.

C.I. 20.513.786

Tutor: MSc. Herrada P. Jutzy M.

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO DE CIMENTACIONES
PROFUNDAS TERMOACTIVAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE
EDIFICACIONES EN VENEZUELA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Autores: Ocanto H. Víctor M.

CI: 24.643.797.

Vargas P. Osmer D.

C.I. 20.513.786

Tutor: Msc. Herrada P. Jutzy M.

San Diego, octubre de 2020



FE-0052020-04-0116

Valencia, 16 de octubre de 2020

Ciudadanos:
Ocanto H., Víctor M.
24.643.797
Vargas P., Osmer D.
20.513.786
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 05-2020 de fecha 27-07-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS TERMOACTIVAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN VENEZUELA** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación de la Ing. Jutzzy Herrada C.I: 12.809.606 como Tutora Académica que los asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Dra. Zaida Osto

Decana (E) de la Facultad de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

Oz/a.sj



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Msc. Herrada P. Jutzy M. portador(a) de la cédula de identidad N°12.809.606, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Ocanto H. Víctor M., portador de la cédula de identidad N° 24.643.797 y Vargas P. Osmer D., portador de la cedula de identidad N° 20.513.786, titulado **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS TERMOACTIVAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN VENEZUELA** , Presentado como requisito parcial para optar al título de **INGENIERO CIVIL**, Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los cinco días del mes de junio del año dos mil veinte.

Msc. Herrada P. Jutzy M.
C.I.: 12809606

DEDICATORIA

Dedicamos este Trabajo de Grado primeramente a Dios Todopoderoso por darnos aliento de vida, por no permitir que se nos termine la Fe, por responder a través de hechos a cada petición que le hicimos con el corazón y salir bien librados de cada prueba o circunstancia que se presentaba para no dejarnos avanzar hacia esta meta.

Se la dedicamos a nuestros padres, quienes nos demuestran día a día el amor que nos tienen. Esto es para ustedes para que se sientan orgullosos de nosotros.

Dedico este Trabajo de Grado a la memoria de mi querido Pastor Gustavo Blanco, por enseñarme tanto, por tus consejos en los momentos exacto, por creer en mí, por aceptarme como familia, por ser ejemplar y no flaquear en tus decisiones. Sólo Dios conoce el porque en ese momento te tocaba partir de este mundo, tu legado, tus enseñanzas, están en mí. Te quiero y sí lo digo en tiempo presente.

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios, por darme la fuerza de seguir adelante y haberme permitido llegar hasta este momento importante de mi formación como profesional.

Doy gracias a mi segunda casa de estudio, La Universidad José Antonio Páez por haberme abierto las puertas y ser parte de ella para poder estudiar la carrera de Ing. Civil.

A mis padres, Víctor H. Ocanto y Lery Herrera, quienes apoyaron y ayudaron económicamente para poder culminar esta fase. Y a mi familia en general por el apoyo que siempre brindaron en el camino.

A Marialejandra Viera, por tu ayuda y motivación estos dos últimos semestres de carrera, en especial este. Te lo agradezco muchísimo, amor.

Le doy mil gracias a la Sra. Mervis De Vargas madre de mi compañero Osmer Vargas por su tiempo y apoyo en esta etapa final y a Daniel Martínez por darme un techo los días de estudios con mis compañeros de clase.

Agradezco también a mi tutora de Trabajo de Grado, la Ing. Jutzy Herrada por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad para guiarme, y sobre todo de haber tenido la paciencia para el desarrollo de la misma.

Les agradezco a todos los profesores que durante la carrera me aportaron sus conocimientos, dieron ánimo y consejos para la vida profesional.

Para finalizar, mi agradecimiento también va dirigido a mis amigos desde que inicié en la Escuela de Ing. Civil, y a los que fui conociendo en el camino; Alexis Gordon, Ma. Gabriela Méndez, Zachary Ramírez, Omar Armas, Osmer Vargas, Jorge Ospino, Daylibeth López (Nani), Carlos Angulo, Bárbara Avendaño, Silvia Fernández, Carlos Cuenca, Daniel Apure, María Andara, los esposos Díaz Peña, Argenis Castillo y muchos más. Personas incondicionales como ustedes no existen en todas partes, eternamente agradecido por el apoyo moral, compañerismo y amistad.

Atte. Víctor M. Ocanto H.

AGRADECIMIENTO

Te doy gracias mi Dios por el amor que me tienes, por guardarme de todo mal y por permitirme alcanzar esta meta.

Doy gracias a la institución José Antonio Páez, mi segunda casa, donde se hizo tangible este logro, donde adquirí todos los conocimientos a través de grandes personas, queridos maestros, excelentes profesionales, Ingenieros: Emerly Castillo, Lic. Liana Faria, Alicia Pizzella, José Antonio Ruíz, Luis Francisco Rodríguez, Manuel Figueira, Angel Medina, Joel Curreri, Freddy Lanza, José Antonio Rodríguez, Gledys López, Alba Sanabria, Pedro Ramíres, Mariella Pizzella (UC), Semia Rafeh (UC), Carlos García (UC), Carmelo Key (UC), Bruno Scannone (UC) y Por su puesto Jutzy Herrada.

Te doy gracias a ti mamá porque eres mi pilar, eres quien me motiva a seguir, a luchar por lo que quiero, por ti este trabajo de grado se logró, eres maravillosa.

Papá, como no agradecerte si por ti es que estoy alcanzando mi meta, gracias por ser paciente, por apoyarme y por nunca decir NO.

A mis hermanos, por apoyar a su hermano mayor, en este nuevo comienzo daré aún más lo mejor de mí para que me tengan de ejemplo.

A Mis cuñadas bellas, cada una supo brindarme su apoyo de la mejor manera y a toda mi familia, abuelos, tios, primos, gracias por estar siempre ahí, puedo contar con ustedes en todo momento, los quiero. En especial Matilde Peraza, Magyuri Vasquez, Luisandry Nuñez.

Gracias a mis amigos incondicionales de años, con ustedes he vivido todas las etapas que logré pasar para llegar hasta aquí: Daniel Martínez, Migdalia Maldonado, Allickson Jaen, Jesús Alvarado, Antonio González, Alba Inchima, Mireya Estaba. Ustedes son irremplazables.

Gracias a la familia Tabernáculo Bíblico, pasé grandes momentos de mi vida con ellos aprendiendo y Dios hablándome, mostrándome el camino.

Agradezco a las familias: Blanco, Valera y Ocanto, por permitirme entrar en sus hogares y hacer me sentir un miembro más de ustedes. En especial Aby Valera y Aura de Valera.

Le doy gracias a mi grupo de estudio, sin su apoyo no sería posible este logro: Víctor Ocanto, Daylibeth López (Nani), Jorge Ospino, Yoselina Suárez, Argenis Castillo, Bárbara Avendaño y Adriana Páez. Entre obstáculos, discusiones y nosches en vela, lo hicimos muchachos.

Gracias a mis compañeros de estudio que de ellos aprendí no solamente en lo académico, si no en enseñanzas de vida como el valor del respeto, admiración, luchar por lo que quiero, ser comprensivo, amable, humilde, a querer. Espero nombrarlos a todos, son muchos con los que pude compartir desde que comencé este camino llamado Ingeniería Civil, a ustedes les doy las gracias: Oswaldo Aparicio, Yanexy Gil, Gustavo Briceño, Andrés Moreno, Nicolás Morelo, Melvin Prieto, Francisco Panza, Leonel Pinto, Carlos Garrido, Edgar Chambuco, Yacnelis Miranda, Luisana Pérez, Sandy Abreu, Andreina Quintero, Ing. Luis, esposos Yoanli Pena y Luis Díaz, María Andara, Vicsari Aponte, Y. Cristal Mena, Dubraska Figueroa y su hermosa madre, Nasthalie Martinez, Arybet Campos, Samuel Lara, Joqueily Mendez, Sandra Rincón, Juan Urquía, Christopher Sanhueza, Daniel Campos, Daniel Apure. Espero haber los nombrado a todos.

Agradezco al maestro de teatro José Albán Torres y Marichely Vivas, y ustedes dirán que tiene que ver el teatro con ingeniería civil; tiene que ver y mucho. Usted profesor, a través de sus enseñanzas y las puestas en escenas me enseñaron a conocer me más, a vencer mis temores, a transmitir a las personas mis emociones, a hablar en público, a analizar a las personas.

Por último le doy gracias a Jutzy Herrada, querida Ingeniero y Tutora de este Trabajo de Grado, gracias profesora por ser paciente, su carácter y ese temple, motivo por el cual me hice más fuerte y decirme, yo si puedo, le agradezco mucho por motivarme a no desmayar en la última semana de entrega. Gracias!

Atte. Osmer D. Vargas P.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pp.
ÍNDICE DE FIGURA	x
ÍNDICE DE CUADROS	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del Problema.....	6
1.3 Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Alcance.....	9
1.6 Limitaciones de la Investigación.....	10
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	11
2.2 Bases Teóricas.....	14
2.2.1 Las Cimentaciones.....	15
2.2.2 Tipos de Cimentaciones.....	15
2.2.3 Pilotes y Tipos.....	19
2.2.4 Uso de las Cimentaciones Profundas.....	21
2.2.5 Equipos Utilizados en la Construcción.....	25
2.2.6 Excavación.....	27
2.2.7 Procedimiento de Construcción.....	29
2.2.8 Eficiencia y Racionalidad Energética.....	31
2.2.9 Reducción de la Contaminación y Toxicidad.....	31
2.2.10 Ley de Construir.....	32
2.2.11 Producción Local y Manufactura Flexible.....	34
2.2.12 Comportamiento de los Suelos.....	35
2.2.13 Propiedades de los Suelos.....	35
2.2.14 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	36
2.2.15 Suelo Altamente Orgánico.....	37
2.2.16 Condiciones que debe cumplir una cimentación.....	40
2.2.17 Capacidad Estructural del Cimiento.....	41
2.2.18 La Cimentación Termoactiva.....	42
2.2.19 Función de los Cimientos.....	44
2.2.20 Estudio de Factibilidad para el Uso de Cimentaciones Termoactivas en el sector de Construcción.....	45
2.2.21 Análisis Sostenible.....	48

2.3 Bases Legales (Normativa).....	51
2.4 Definición de Términos Básicos.....	58
III MARCO METODOLÓGICO	
3.1. Tipo de la Investigación.....	63
3.2 Diseño de Investigación.....	63
3.3. Nivel de Investigación.....	64
3.4. Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos.....	64
3.5. Técnica de Análisis e Interpretación de los Datos.....	65
3.6. Fases de la Investigación.....	65
IV PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1. Fases de la Investigación.....	69
4.1.1 Fase I: Diagnosticar la viabilidad del uso de uso de cimentaciones profundas termoactivas.....	69
4.1.1.1 Ubicación Geográfica y Tipos de Suelos.....	69
4.1.2 Fase II: Identificar los parámetros y variables que deberán considerarse en el diseño de cimentaciones profundas termoactivas.....	77
4.1.3 Fase III: Evaluar sistemas de cimentaciones profundas termoactivas que pueden ser utilizadas en la construcción de edificaciones.....	81
4.1.3.1 Estudios Geotécnicos.....	83
4.1.3.2 Diseño Estructural.....	84
4.1.4 Fase IV: Verificar la factibilidad termo-económico de uso de cimentaciones profundas termoactivas para el aprovechamiento de energía geotérmica.....	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	Pág.
1 Tipos de Zapatas.....	17
2 Tipos de Cimientos.....	21
3 Partes de un Pilote.....	22
4 Vaciado con tubería tremie.....	23
5 Proceso constructivo de un pilote.....	26
6 La cimentación termoactiva en la construcción.....	43
7 Tipos de suelos en Venezuela.....	70
8 Zonificación sísmica de Venezuela.....	72
9 Grado se zona sísmica de Venezuela.....	73

10 Factores internos y externos.....	75
11 Pilotes.....	83
12 Durabilidad de las cimentaciones.....	87

ÍNDICE DE CUADRO

CUADRO

1 Matriz FODA uso de cimentaciones profundas termoactivas.....	76
2 Estructura de costos KWh	90
3 Gastos en consumo KWh Venezuela.....	90
4 Comparación costos unidad aire acondicionado y sistema termoactivo..	91
5 Lista de chequeo.....	95



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DEL USO DE CIMENTACIONES PROFUNDAS TERMOACTIVAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN VENEZUELA

Autor: Ocanto H. Victor M.
Vargas P. Osmer D.

Tutor: Msc. Jutzy M. Herrada P.

Fecha: octubre, 2020

RESUMEN

Es una investigación de diseño factible tipo documental, tiene como Objetivo general Analizar la factibilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela. Las cimentaciones activas, desde el punto de vista energético, y otras estructuras geotécnicas termo-activas, incorporan tecnologías innovadoras que contribuyen a la protección del medioambiente, proporcionando importantes ahorros en los siguientes aspectos: a. Recursos energéticos, b. Emisiones de CO₂, c. Recursos económicos a mediano y largo plazo. Desde el punto de vista de ejecución, solo es necesaria la instalación de conducciones en los elementos estructurales convencionales de cimentación y sostenimiento, como por ejemplo: a. Pilas, b. Pilotes, entre otros, se pudo llegar a la Conclusión que la Factibilidad es teórico, demostrando la validez del empleo de cimentaciones profundas termoactivas con pilotes como una cimentación adecuada para soportar grandes cargas y obtener menores asentamientos. Finalmente, permiten obtener resultados satisfactorios, próximos a los usados en suelos específicos y similares a los obtenidos en estudios comparados en la ejecución en otros Países.

Descriptor: Cimentaciones, Factibilidad, Pilotes.

INTRODUCCIÓN

Durante el proceso constructivo de un edificio, de forma indirecta, se están creando unas condiciones propicias para el intercambio de energía geotérmica de muy baja temperatura con el terreno. Sería suficiente con insertar en el interior de parte, o de la totalidad, de las cimentaciones del edificio, una red de tubos de polietileno por los que circule agua con un anticongelante y conectarlos en circuito cerrado con una bomba de calor o con una máquina de refrigeración.

A finales de los años setenta y principios de los ochenta, esta tecnología se empleaba en las construcciones. La termoactivación de los cimientos de un edificio recibe diferentes denominaciones como cimiento geotérmico, energético o termoactivas, geoestructuras, pilotes intercambiadores de calor, entre otros.

Dentro de las tecnologías existentes de explotación geotérmica somera, las **cimentaciones termo-activas** (pilotes, pantallas, túneles, anclajes) son estructuras de cimentación que permiten captar y disipar la energía térmica del terreno (VISIÓN 2030 – GEOPLAT), cumpliendo así una doble funcionalidad: en primer lugar, como elementos estructurales, transmiten las cargas del edificio al terreno; en segundo lugar, como elementos termoactivas, intercambian calor con el suelo circundante.

Entre ellos, los pilotes energéticos son posiblemente el tipo de cimentación termo-activa que se emplea actualmente con mayor profusión. Desde que aparecieran en Austria al principio de los años 80, este tipo de instalaciones se han ido incrementando hasta la actualidad (Brandl 2006).

En este sentido, aunque ya existen diversas instalaciones de pilotes termo-activos, todavía existe una importante falta de conocimientos en los fenómenos de transferencia de calor, y cargas entre pilote y terreno bajo la acción combinada de solicitaciones mecánicas y térmicas, en términos de restricciones de movimiento por punta, fuste y en cabeza, generación de tensiones y deformaciones internas de origen mecánico y térmico y cómo éstas afectan el estado tenso-deformacional del conjunto.

De modo que, conocer el comportamiento de estos fenómenos permitiría ajustar con criterio los coeficientes de seguridad de cimentaciones con un diseño, sin disminuir la eficiencia energética del sistema termoactiva. Solo de esta forma se puede diseñar este tipo de pilotes con rigor, eficacia y eficiencia tanto estructural como termoactiva.

Por último se estructuró el estudio de esta investigación fundamentalmente en cuatro capítulos distribuidos de la siguiente manera:

Capítulo I, el cual abarca todo lo relacionado al planteamiento del problema, objetivos de la investigación, justificación y delimitación de la investigación.

Capítulo II, se desarrolló el marco teórico, es decir todo lo concerniente con los antecedentes de la investigación y la fundamentación teórica, definición de términos y bases legales.

Capítulo III, se desarrolló marco metodológico que contiene el tipo de investigación, el diseño de la investigación, población, muestra, instrumento para la recolección de datos, la validez y la confiabilidad del instrumento, la técnica de análisis de datos y el procesamiento general empleado.

Capítulo IV, se desarrolló los análisis y resultados que arroja la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El antecedente más destacado de cimentación se da en Egipto, ya se habían puesto en marcha algunos sistemas de cimentación, evidentemente no con el nivel tecnológico de la actualidad, pero se puede decir que la esencia estaba ya en esa época. Las bases de piedra, por ejemplo, eran penetraciones en el terreno de elementos verticales que sostienen techos por medio de una hincia o de la excavación de un hoyo, muy similar en la actualidad con nuestras **zapatas (cimentaciones) aisladas**. También se utilizaron los pozos de cimentación como apoyo en los zigurats mesopotámicos (templos en forma de pirámides) , Estas técnicas no pueden resultar extrañas, ya que se considera que los egipcios eran unos expertos en el arte de perforar pozos para la captación de aguas.

De hecho, es muy probable que fueran los primeros en utilizar sondas para la perforación del terreno, y que lo hicieran, precisamente, para captar las aguas subterráneas, una vez que habían localizado la capa freática mediante la excavación de un pozo.

Sin embargo, los antecedentes de nuestras cimentaciones son poco conocidos porque, hasta bien entrado el siglo XVIII, donde se puede obtener escasos documentos que indique los métodos constructivos aplicados al dimensionado y a la ejecución de los cimientos. Cabe destacar que en la década de los setenta se inicia, en diversas partes del mundo, una de las tecnologías más relevantes en la cimentación que son los pilotes termoactivas, esta tecnología trata de incorporar a través de la cimentación de la estructura y la edificación, un conducto (tubería de polietileno) donde por la misma se hace circular agua que pasará por una bomba de calor, la cual transforma la temperatura que proviene del subsuelo en energía, brindándole así el confort al interior de la

edificación climatizándola, ya sea por calefacción o refrigeración, de esta manera generando un ambiente de satisfacción para los que ocupen dicha edificación y ayudando a conservar el medio ambiente, aprovechando la temperatura de los estratos profundos del subsuelo, disminuyendo los daños al ambiente con esta gestión ambiental, ya que la energía del mismo no proviene de recursos no renovables, haciéndolo así sustentable.

Sin duda se trató la posibilidad de hacer un análisis de factibilidad en el uso del potencial energético que se puede extraer del subsuelo a través de elementos constructivos, en especial los de cimentación, de las dimensiones y el tipo de cimientos. Éstos obedecen a su vez a las condiciones del suelo y las exigencias estáticas de las obras que se construye. Por esta razón, en lo que respecta a la factibilidad del uso de una cimentación termoactiva, es necesario realizar unos estudios previos para conocer de antemano las condiciones del terreno, validar su implantación y diseñar adecuadamente por lo que es importante conocer, que es una tecnología de aprovechamiento energético para la climatización del edificio mediante el empleo de la geotérmica. Este tipo de cimentaciones se basa en el aprovechamiento de la temperatura constante del terreno a poca profundidad para mejorar el rendimiento de las bombas de calor.

Se Habla de cimentaciones profundas cuando la relación de profundidad/ancho es mayor a cinco metros. Según el Ministerio de Vivienda y Construcción, encajan dentro de este tipo de cimentaciones pilotes, micro pilotes, pilotes para densificación, pilares, cajones de cimentación, así como también cualquier otro elemento estructural que transmita la carga de las construcciones, las cuales deben tener cimentaciones cuando las cimentaciones superficiales sean tan pesadas que representen un riesgo para la seguridad. Por su parte la utilización de energías renovables toma más fuerza con el correr de los años. Si bien nuestro país, aún está lejos en el desarrollo de esta tecnología, otros países como Suecia, Alemania, Francia y Suiza son líderes en la utilización de instalaciones de cimentaciones profundas termoactivas en el mundo, Europa se lleva más del 60% de ellas, dejando al continente Europeo como el de mayor desarrollo en

la utilización de climatización mediante el uso de la misma, ya que este logra alcanzar la íntegra explotación de recursos naturales, entre otras características. Por consiguiente las cimentaciones termoactivas en la construcción de edificaciones, desde el punto de vista energético, y termo-activas, incorporan tecnologías innovadoras que contribuyen a la protección del medioambiente, proporcionando importantes ahorros en los siguientes aspectos: Recursos energéticos, Emisiones de CO₂, Recursos económicos a mediano y largo plazo.

Desde el punto de vista factible, solo es necesaria para su ejecución, la instalación de conducciones (rellenas de fluidos adecuados para la transmisión térmica) en los elementos estructurales convencionales de cimentación y sostenimiento, como por ejemplo: Pilas, Pilotes, Muros pantalla, Muros de sótano, Losas, Túneles y costos que genera aplicar dicha tecnología. Como parte de las actividades necesarias para la elaboración de este estudio, se analizó la información suministrada por el soporte bibliográfico de trabajos recientes en la ingeniería civil donde a su vez emplean el estudio en las propiedades geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas y geotérmicas del terreno donde se realizó la construcción de un edificio. Todo ello, con el objeto de establecer de una forma preliminar, el uso de tecnología termoactivas de las estructuras consideradas.

Para ellos es necesario utilizar medidas que permitan analizar la factibilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas en edificaciones, para otros fines luego desarrollar la energía geotérmica, ya que crea una disminución en el requerimiento de energía eléctrica, que se compensa con el aporte de la energía geotérmica, por ende produce ahorros en el punto de vista económico dependiendo de la región (país) donde se vaya a ejecutar esta tecnología y por último, es adaptable a toda edificación sin restricciones ni limitación si se ve socialmente.

Finalmente para realizar un proyecto de factibilidad en el uso de cimentación termoactiva en la construcción de edificaciones, de manera exitosa es preciso integrar esta tecnología dentro de la propia planificación general de la obra desde el primer momento, ya que su ámbito de aplicación trasciende de las meras técnicas de

generación de frío y calor. Su aplicación adecuada precisa conocer en detalle las condiciones generales de la mecánica del suelo, la hidrogeología, así como los distintos sistemas de cimentación a utilizar. Igualmente, es muy importante contar desde el inicio de la planificación con un equipo multidisciplinar de expertos en proyectos de cimentaciones termoactivas y/o gestión de recursos energéticos.

Por consiguiente, este trabajo de investigación pretende hacer un análisis del uso de Cimentaciones Profundas Termoactivas en Edificaciones, para proporcionar energía limpia, renovable y muy económica al sistema de climatización del edificio proyectado, además el cálculo realizado en este Estudio de Factibilidad es teórico. Esta tecnología pretende implementarse en edificios aún por construir dado la elevada dificultad para acceder a las cimentaciones una vez construido, teniendo otra gran ventaja, que es casi inagotable por el constante calentamiento en el interior de la Tierra y por la obtención de agua dulce y de sales como subproducto, y su impacto por el no uso de combustibles.

1.2 Formulación del Problema

¿Cuál es el uso de cimentaciones profundas termoactivas en el sector de la construcción en Venezuela?

¿Cuáles son las aplicaciones prácticas del uso de Cimentaciones Termoactivas en base a los avances tecnológicos, que se pueden implementar en el sector de la construcción en Venezuela?

¿Sera viable el uso de cimentaciones profundas termoactivas en el sector de la construcción en Venezuela?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar la factibilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la viabilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas.
- Identificar los parámetros y variables que deberán considerarse en el diseño de cimentaciones profundas termoactivas.

- Evaluar sistemas de cimentaciones profundas termoactivas que pueden ser utilizadas en la construcción de edificaciones.
- Verificar la factibilidad tecno-económico del uso de cimentaciones profundas termoactivas para el aprovechamiento de energía geotérmica.

1.4 Justificación

Se trata de Analizar la factibilidad del uso de Cimentaciones Profundas Termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela, ya que es aporte tecnológico que relaciona la cimentación de la estructura con el confort al interior de la misma, a través de la obtención de energía del subsuelo para la climatización de edificio. La cimentación puede definirse en general como el conjunto de elementos de cualquier edificación cuya misión es transmitir al terreno que la soportan las acciones procedentes de la estructura. Su diseño dependerá por tanto no solo de las características del edificio sino también de la naturaleza del terreno. Una cimentación inadecuada para el tipo de terreno, mal diseñada o calculada se traduce en la posibilidad de que tanto el propio edificio como las fincas colindantes sufran grandes asentamientos provocando deterioro de los mismos pudiendo llegar incluso al colapso.

Ahora bien la factibilidad del uso de las Cimentaciones, se crea para dar un valor agregado a cualquier proyecto donde se contemple una solución a base de Cimentación Profunda Termoactiva, ya sea con pilas, pilotes o algún sistema de contención o mejoramiento de suelo, participando en conjunto con los especialistas en suelos y el responsable del diseño estructural, lo anterior para revisar la mejor opción constructiva y económica para el proyecto. Cuando es factible a la hora de elegir el sitio donde se ubicará el edificio, es conveniente un lugar de terreno firme, libre de problemas de las amplificaciones locales del movimiento del terreno que suelen presentarse en los terrenos blandos, y de asentamientos excesivos y pérdida de capacidad de apoyo que ocurre en algunas arenas poco compactas con un sismo. Evidentemente el propósito principal de la cimentación en la construcción, es sostener la estructura por encima de ella y mantenerla en posición vertical.

Ya que un cimiento mal construido puede ser peligroso para los ocupantes y el vecindario. Con los edificios de gran altura tocando el cielo en estos días, se ha vuelto aún más importante tener cimientos poderosos. Según los expertos e ingenieros de la construcción, la cimentación debe ser capaz de soportar las cargas «muertas» y «vivas». La carga muerta es el peso o la carga de la propia estructura básica. Esto se llama carga muerta ya que permanece constante. Por otro lado, la carga viva es el peso de las personas y otros objetos que traen consigo. Los cimientos deben ser firmes y deben ser capaces de canalizar el peso de todo el edificio hacia el suelo. Si el edificio se está construyendo en regiones inclinadas o en terrenos húmedos, los cimientos deben ser personalizados y duraderos.

Sin duda los beneficios de la implementación de estructuras termoactivas, son diversos e incluyen aspectos económicos, energéticos, tecnológicos, ambientales y sociales. Al respecto, la incorporación de los intercambiadores de calor en elementos de cimentación permite reducir significativamente los precios de este sistema. Sin embargo, desde el punto de vista geotécnico un inconveniente de lo anterior es la limitada comprensión del comportamiento termomecánico de estas estructuras y la falta de especificaciones internacionales para su diseño. Como señala el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), (ubicado en la Calle de la Madera, 8, 28004 Madrid, España), los avances tecnológicos actuales en equipos y las mejoras en la prospección y perforación permiten a la geotermia producir electricidad a partir de recursos geotérmicos de temperaturas muy inferiores a las que se precisaban años atrás, lo que añade un gran potencial de futuro para esta energía limpia que nos ofrece la Tierra. Hasta ahora, la utilización de esta energía en el mundo ha estado limitada a áreas en las cuales las condiciones geológicas eran muy favorables.

Por lo tanto, la energía geotérmica es una forma de aprovechamiento energético sostenible con presente y futuro, tanto desde el punto de vista de aprovisionamiento energético de elevadas garantías, como desde el punto de vista térmico, como alternativa de alta eficiencia energética frente a los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración. En Venezuela no se han realizado grandes inversiones en

materia de energía, sobre todo en lo que son energías renovables como los molinos de viento o los paneles solares.

Por ello, esta investigación abre camino a nuevas investigaciones y futuras aplicando las herramientas necesarias, ya que se establece una metodología a seguir, y se da a conocer procedimientos para el análisis de la factibilidad del uso de Cimentaciones Profundas Termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela, rigiéndose así, en las normas venezolanas y universales, para que sus estudiantes puedan conocer y apoyarse sobre esta base al momento de realizar nuevos estudios y además educar al país, y que al exhibir esta información y su posible ejecución, contribuye como un antecedente sobre temas relacionados, para elaboraciones de futuros trabajos de grado en ésta área.

1.5 Alcance

El presente trabajo se constituyó en base al análisis de los usos de las cimentaciones, prácticas de las construcciones de edificaciones, sobre la factibilidad por los siguientes aspectos:

Venezuela no cuenta con el manejo de una metodología precisa para el diseño y ejecución de cimentaciones, lo que hace de estos procedimientos algo empírico (basado en experiencias). Por esta razón es de importancia la realización de este análisis de uso de factibilidad, incluyendo instrumentos como, normativas extranjeras, bibliografías diversas y experiencias de profesionales de la materia en el país, conjugados en el proceso de realización de este trabajo de grado.

La presente investigación tiene aspectos formativos dirigidos a los Ingenieros Civiles a fin de lograr que las cimentaciones profundas en el área de la construcción se lleven a cabo con un amplio conocimiento de su uso en el ejercicio. Lo que garantizaría integrar esta tecnología dentro de la propia planificación general de la obra. Su aplicación adecuada precisa conocer en detalle las condiciones generales de la mecánica del suelo, la hidrogeología, así como los distintos sistemas de cimentación a utilizar.

La información más accesible con la que se contó para poder realizar el presente trabajo es la bibliográfica. La literatura y los trabajos efectuados por diferentes autores, países como Australia, Suiza, Londres, Inglaterra, Venezuela, con trabajos similares, todos han trabajado en un segmento de su muestra sobre las cimentaciones en la construcción.

1.6 Limitaciones de la Investigación

El estudio se circunscribe geográficamente al País Venezuela; temáticamente, se limita a las categorías Cimentaciones Profundas y Factibilidad.

Dentro de las limitaciones del estudio se encuentra la falta de información, relacionada con la situación País; actualmente falla de corriente eléctrica que ocasiona el no uso de internet, sin señal al momento de comunicación por redes sociales y métodos de barrera o medidas preventivas del COVID-19 a la hora de tener reuniones presenciales. Así como también la ausencia de datos importantes para el análisis de registro tales como entrevista a cada individuo; ingenieros civiles, constructores de edificaciones, albañiles, entre otros.

Este estudio pretendió dejar abierta la necesidad de realizar investigaciones futuras aplicando las herramientas necesarias, una propuesta de diseño para cimentaciones profundas, que sea el más factible en lo técnico y económicamente posible en el área delimitada para Venezuela, estará limitado a los recursos y equipos que sean utilizados en el país, sin exceptuar la maquinaria extranjera.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Para sustentar la presente investigación se realizó una revisión bibliográfica de los estudios relacionados con el tema tratado. A continuación se hace referencia a las investigaciones vinculadas con el estudio. De acuerdo a Tamayo, M. (2012) señala que *“todo hecho anterior a la formulación del problema que sirve para aclarar, juzgar e interpretar el problema planteado, constituye los antecedentes del problema”* (p.149). De esta manera se puede entender que establecer los antecedentes del problema, de ninguna manera es hacer un recuento histórico del mismo, sino se trata de hacer una síntesis conceptual de las investigaciones y trabajos realizados sobre el problema formulado, con el fin de determinar el enfoque metodológico de la misma investigación.

Mazariegos et al. (2009), define “cimentación termoactiva o termo-activa” Como una tecnología aplicable a los elementos de las estructuras de hormigón armado de las cimentaciones como pilotes, pantallas subterráneas, muros de contención o losas, con el fin de aprovechar, mediante bombas de calor geotérmicas, la temperatura del terreno para la obtención de energía para climatización de edificios.

Es por ello, que esta cita antes mencionada ayuda a dar soporte para definir de manera correcta lo que es una cimentación termoactiva, ya que se toma como cimientos estructurales que se emplean en suelos donde no se puede diseñar cimentaciones superficiales .

Desde el principio de los años 80 del siglo XX que se utilizaron por primera vez las cimentaciones termo-activas, la obtención de energía geotérmica a partir de este tipo de estructuras ha ido creciendo. En primer lugar surgieron las losas, seguidas de los pilotes termo-activas o geotérmicos (1984) y finalmente, en 1996, se construyen los

primeros muros-pantalla (Brandl 2006). A continuación se exponen algunas de los antecedentes que se consideraron como base para la presente investigación:

Celis & Villacis (2018), presentó su tesis de: **“La zonificación en base a la capacidad portante y demás características del suelo en la Localidad de Shamboyacu Provincia de Picota Región San Martín”**. Planteó como objetivo elaborar la zonificación en base a la capacidad portante y demás características del suelo en la Localidad de Shamboyacu Provincia de Picota Región San Martín. Concluyó diciendo: se hizo la exploración para la investigación en el suelo de la localidad de Shamboyacu, para ello se determinó la cantidad y el lugar de los puntos a muestrear, teniendo en consideración la topografía y el plano urbano de la localidad; realizándose la exploración de 28 puntos por medio de excavaciones a cielo abierto de 3.00 m. de profundidad.

De acuerdo a estos estudios se determinó la clasificación mediante el método SUCS donde se obtuvieron los siguientes tipos de suelos: arcillas de baja plasticidad (CL), gravas limosas (GM), gravas pobremente graduadas (GP), de acuerdo a estos resultados se obtuvo para los suelos de grano grueso una cohesión de 0 kg/cm² y un ángulo de fricción de 31° y para los suelos de grano fino una cohesión de 0.24 kg/cm² y un ángulo de fricción de 21°. En concordancia se relaciona a este trabajo debido a la importancia de determinar el tipo de suelo para conocer sus principales características y a partir de esta información poder tomar decisiones al momento del diseño, lo cual hace el uso de factibilidad para el momento de realizar la cimentación en una edificación.

Ninanya (2018), realiza el trabajo **Evaluación de la capacidad de carga de pilotes excavados en arcillas a través de métodos estáticos y pruebas de carga, en la Universidad Ricardo Palma**; la investigación tiene como objetivo comparar los resultados de la capacidad de carga de pilotes ubicados en Perú, Brasil y Kuwait obtenidos por métodos estáticos y ensayos de carga, se analizan pilotes excavados ubicados en suelos finos y arena; el estudio concluye que el uso de métodos que consideren efectos particulares del tipo de suelo en el que se trabaja, mejora los valores

de capacidad de carga obtenidos, como es el caso de la fricción negativa de los suelos arcillosos, las diferencias entre métodos usados varían para los diferentes casos de estudio por las condiciones de suelo particulares de cada lugar.

Por consiguiente tiene relación con este trabajo ya que gracias a ello, se ha recopilado una serie de conocimientos sobre las cimentaciones profundas utilizando un diseño tipo pilotes, ya que son elementos fundamentales para cualquier estructura, y por ello es de vital importancia comprender y calcular con precisión su capacidad de carga, especialmente cuando se hace necesario la implementación de fundaciones profundas como alternativa en los procesos de diseño debido a la magnitud de las cargas, como es el uso de piloteaje debido a que los suelos donde están soportadas tienen poca capacidad, y a su vez a hacer análisis de los tipos de suelos.

También, Cruz, N. (2016), presentó su tesis de: **“Las causas de daños Estructurales y Deterioros Originados en las Cimentaciones de Viviendas Construidas en la Urbanización Residencial Villa Médica de la Ciudad de Juliaca”**. Planteó como objetivo determinar las causas de daños estructurales y deterioros originados en las cimentaciones de viviendas construidas en la urbanización residencial Villa Médica. Concluyó diciendo: las construcciones de viviendas en la urbanización residencial Villa Médica, se efectuó sobre terrenos, que tienen carácter de humedales, que no son recomendables; por otro lado, los suelos naturales son de capacidad portante muy baja, el relleno no ha sido controlado ni cumple con las características mecánicas, por lo que se originó daños estructurales.

Por otro lado, la estructura de cimentación construida para las viviendas en general de la urbanización Villa Médica, son de zapatas aisladas 1.00m x 1.00 m, con cuatro aceros de ½” en cada columna, y con capacidad de carga admisible de 0.12 kg/cm² a 0.48 kg/cm²; debió de considerarse por lo menos zapatas combinadas y/o conectadas, como indican los planos y verificación IN SITU. Cabe destacar que durante la ejecución de los rellenos de estas viviendas las entidades que participaron en la construcción de éstas, no verificaron el material empleado y menos aún las técnicas de compactación para evitar los asentamientos mayores a los permisibles. A su vez tiene

relación con este trabajo ya que el uso de factibilidad de cimentaciones va depender de un análisis de suelos y es de importancia para realizar un correcto diseño de cimientos que sean a futuro económicos. Si buscamos un buen diseño de cimentación que brinde seguridad y una capacidad de soporte de la estructura que se fuese a edificar entonces el primer paso es realizar un correcto estudio de suelo.

Por último, Moya, G. (2015), presentó su tesis de **"Estudio y análisis del comportamiento estructural de cimentaciones superficiales por efectos de consolidación del suelo de fundación, según la metodología propuesta por la norma ecuatoriana de la construcción"**. Pudo concluir que es muy importante ejecutar un estudio completo de suelos ante posibles problemas de consolidación y asentamientos en cualquier terreno de cimentación. Se debe realizar el análisis y diseño sísmo-resistente de una estructura, así como todas sus verificaciones, para que esté en capacidad de responder ante cualquier requerimiento no solamente de capacidad sino de rigidez. En este estudio se analiza el comportamiento dinámico, mediante el tipo de suelo y la estructura de cimentación específica de tales sistemas con evidencia de fenómenos de interacción suelo-estructura.

Por tal motivo se consideró que tiene relación, ya que el sistema "suelo Cimentación" debe ser analizado como un todo, donde los aspectos geotécnicos y estructurales se convergen en los puntos de apoyo de nuestras edificaciones. Es de notar que su relación con este trabajo se basa en el diseño de cimentación y que se debe tomar en cuenta las normas sísmo resistentes, las cuales dividen al país en zonas con distintos niveles de sismicidad. Este análisis es de gran importancia, ya que de ser inadecuada para el tipo de terreno o mal diseñada, o calculada se traduce en la posibilidad de que tanto el propio edificio sufran grandes asientos provocando el consiguiente deterioro de los mismos, pudiendo llegar incluso al colapso de la obra.

2.2 Bases Teóricas

En este capítulo se analizan y exponen teorías, investigaciones, leyes y antecedentes consideradas válidas y confiables, en dónde se organiza y conceptualiza el estudio. Es importante acotar, que la fundamentación teórica, determina la

perspectiva de análisis, la visión del problema que se asume en la investigación y de igual manera muestra la voluntad del investigador, de analizar la realidad objeto de estudio de acuerdo a una explicación pautada por los conceptos, categorías y el sistema preposicional, atendiendo a un determinado paradigma teórico (Balestrini, 2002).

2.2.1 Las Cimentaciones son elementos que se encuentran en la base de las estructuras, se utilizan para transmitir las cargas de la estructura al suelo en que se apoyan, las cuales se diseñan para evitar la falla a corte del suelo que viene a ser el flujo plástico y/o una expulsión de suelo por debajo de la cimentación, y por otro lado para evitar el asentamiento excesivo del suelo bajo las cargas de la estructura.

El término cimentación puede ser definido como aquella parte de la estructura, situada en su base, que constituye un elemento intermedio a través del cual se transmiten las cargas al suelo o roca subyacente (Calavera, 1991; Whitlow, 1994). En un sentido más amplio podemos llamar con propiedad cimiento, tanto al elemento encargado de transmitir las cargas resultantes de la superestructura, como a la región del terreno que interviene soportando dichas cargas o, de un modo más general, colaborando mediante sus propiedades resistentes a la estabilidad de la construcción (Ayuso et al., 1989).

2.2.2 Tipos de Cimentaciones:

Todas las estructuras de Ingeniería Civil, edificios, puentes, carreteras, muros, canales, presas, entre otros, deben cimentarse sobre la superficie de la tierra o dentro de ella. Para que una estructura se comporte en forma satisfactoria debe poseer una cimentación adecuada. Las cimentaciones pueden clasificarse en tres grupos: cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas y las cimentaciones especiales. (Vásquez F., 1987; Programa para el Análisis y Diseño de Losas de Cimentación).

- **Cimentaciones superficiales**

Cuando el terreno firme está próximo a la superficie, una forma viable de transmitir al terreno las cargas concentradas ya sea de muros o columnas de un edificio, es mediante zapatas, un sistema de este tipo se conoce como cimentación superficial.

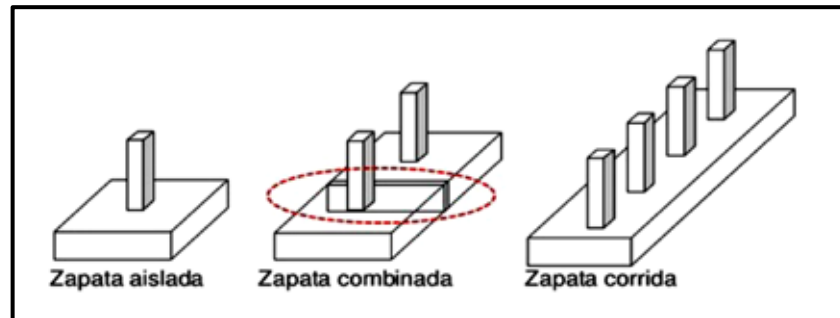
Antiguamente se empleaban como zapatas entramados de madera o metal, en ocasiones capas de grava, entre otros, en la actualidad las zapatas son casi sin excepción de hormigón armado. Las cimentaciones superficiales se las conoce también como cimentaciones directas, por cuanto en ellas los elementos verticales de la superestructura se prolonga hasta el terreno de cimentación, descansando directamente sobre él, mediante el ensanchamiento de su sección transversal con la finalidad de reducir el esfuerzo unitario que se transmite al suelo.

En resumen, las zapatas reparten las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal, es decir, las cargas actuantes se transmiten al suelo a través de la base del cimiento. De una manera general podemos decir que, son aquellas que tienen una razón de profundidad de empotramiento y ancho aproximadamente menor que cuatro metros. A este grupo pertenecen las zapatas aisladas, las zapatas ligadas, las cimentaciones por medio de trabes y losa de cimentación, entre otros. Mencionando otro tipo de cimentación superficial son las zapatas corridas, las mismas que se emplean para cimentar muros portantes, o hileras de pilares. Estructuralmente funcionan como viga flotante que recibe cargas lineales o puntuales separadas, en general a través de un muro, que si es de hormigón armado, puede transmitir un momento flector a la cimentación. Son cimentaciones de gran longitud en comparación con su sección transversal.

Es por ello que las zapatas corridas están indicadas cuando se trata de cimentar un elemento continuo donde se quiere homogeneizar los asientos de una alineación de pilares, que sirve para arrostramiento, cuando queremos reducir el trabajo del terreno para puentear defectos y heterogeneidades del terreno por la proximidad de las zapatas aisladas, resulta más sencillo realizar una zapata corrida. Las zapatas corridas se aplican normalmente a muros, y pueden tener sección rectangular, escalonada o estrechada cónicamente. Sus dimensiones están en relación con la carga que han de soportar, la resistencia a la compresión del material y la presión admisible sobre el terreno. Sin embargo, una zapata combinada es un elemento que sirve de cimentación para dos o más pilares. En principio las zapatas aisladas sacan provecho cuando diferentes pilares

tienen desiguales en momentos flectores. Si estos se combinan en un único elemento de cimentación, el resultado puede ser un elemento más estabilizado y sometido a un menor momento resultante. (Ver figura 1).

Figura 1 Tres tipos de zapatas en tres dimensiones.



Fuente: slideshare.net

- **Cimentaciones profundas.**

Cuando el terreno firme no está próximo a la superficie, un método habitual para transmitir el peso de la estructura al terreno es mediante elementos verticales como pilotes, cajones o pilas. Si la cota de cimentación se establece entre los 3 y 6 m. se utilizan los denominados pozos de cimentación o caissons, son en realidad soluciones intermedias entre las superficiales y las profundas, por lo que en ocasiones se catalogan como semiprofundas, estos se plantean como solución entre las cimentaciones superficiales, (zapatas, losas, entre otros) y las cimentaciones profundas. Así mismo la elección de pozos de cimentación aparece como consecuencia de resolver de forma económica, la cimentación de un edificio cuando el suelo firme se encuentra a una profundidad de 4 a 6 metros. Algunas veces estos deben hacerse bajo agua, cuando no puede desviarse el río, en ese caso se trabaja en cámaras presurizadas; arcos de ladrillo sobre machones de hormigón o mampostería. Los muros de contención bajo rasante: no necesitan anclar el muro al terreno.

Por otra parte, los Micropilotes, son una variante basada en la misma idea del pilotaje, que frecuentemente constituyen una cimentación semiprofunda. Los pilotes son estructuras hechas de madera, concreto o acero, que transmiten la carga de la

superestructura a los estratos inferiores del suelo, éstos son de gran longitud en relación a su sección transversal, y pueden hincarse (introducido ejerciendo presión) o construirse “in situ “en una cavidad abierta en el terreno. Finalmente, otro tipo de cimentación profunda son las denominadas pilas, las cuales consisten en taladrar un agujero en el subsuelo y luego rellenarlo con concreto, para esto se usa un ademe (cilindro) de metal. El diámetro de una pila perforada es mucho mayor que el de un pilote. Estas se comportan como columnas enterradas; de acuerdo con uno de sus usos, una pila es un miembro estructural subterráneo que tiene la función de una zapata, su trabajo es transmitir las cargas de la estructura a un estrato que sea capaz de soportar las mismas, sin que se produzcan peligros de falla o asentamientos excesivos; sin embargo, a diferencia de una zapata, la relación de profundidad de la cimentación al ancho de la pila es mayor.

- **Cimentaciones especiales**

En ciertos casos, la naturaleza del terreno, o el destino del edificio pueden imponer un tipo de cimentación que no se incluye en las clasificaciones anteriores. En un terreno muy húmedo o inundable, la protección de los sótanos o de los propios muros obliga a la construcción de cajones o cubas estancas. Estas deberán ser del tipo de losa general y su ejecución obliga en muchas ocasiones al uso de diferentes métodos constructivos, debiendo tener en ellos precauciones especiales. Cuando los edificios están sometidos a importantes y continuas vibraciones, pueden producirse daños importantes al cabo de cierto tiempo. Por esta razón será necesario construir cimentaciones capaces de absorber estas vibraciones que son producidas por máquinas instaladas en el exterior o bien por otras causas ajenas a la estructura.

A diferencia de las cimentaciones de edificación, que generalmente están sometidas a cargas estáticas o casi estáticas, las cimentaciones de maquinaria están sometidas frecuentemente a cargas cíclicas. La existencia de cargas cíclicas obliga a considerar el estado límite de servicio de vibraciones y el estado límite último de fatiga.

2.2.3 Pilotes y Tipos

Los pilotes son piezas relativamente largas y delgadas, construídas o insertadas dentro del terreno para transmitir las cargas de la estructura a través de estratos de suelo de poca capacidad de carga hacia estratos de suelo o roca más profundos y con una mayor capacidad de carga. Se considera que una cimentación es profunda cuando su extremo inferior está a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho.

Clasificación de pilotes:

La clasificación de los pilotes es diversa y varía según los parámetros con los que se esté trabajando, a continuación se mencionan algunas de estas clasificaciones.

- Según el material del que están construídos.

- a) **Pilotes de madera:** usados en europa, con datos de hace no menos 12000 años.
- b) **Pilotes de concreto:** fabricados “ IN SITU”, efectuando una perforación en el terreno y se rellena con hormigón fresco, que fragua ya en su interior.
- c) **Pilotes pretensados:** se desarrollan a partir de los pilotes de hormigón armado, elegidos principalmente por las grandes longitudes que se pueden alcanzar.
- d) **Pilotes metálicos:** utilizado en Europa por las características de trabajo, es de forma tubular, condicionando para soportar lo abrasivo del agua de mar, caracterizado por alcanzar grandes profundidades mediante la soldadura de partes.

- Según el mecanismo de transferencia de carga al suelo.

Si el estrato de carga para pilotes de la cimentación es de un material duro y relativamente impenetrable, como roca o arena y grava muy densas, los pilotes derivan la mayor parte de su capacidad de soporte de la resistencia del estrato a la punta de los pilotes. En estas condiciones, se llaman pilotes de carga final o de punta. Por otro lado, si los pilotes no alcanzan un estrato impenetrable, pero son llevados por alguna distancia hacia suelo impenetrable, su capacidad de soporte se deriva en parte de la carga final y en

parte de la fricción superficial entre la superficie empotrada del pilote y del suelo adyacente. Los pilotes que obtienen su capacidad de soporte por medio de fricción superficial o adhesión, son llamados pilotes de fricción.

- **Según la forma de instalación del pilote en el sitio.**

Los principales tipos de pilotes de uso general son los siguientes:

- a) **Pilote hincado:** son unidades preformadas, usualmente son hechos de madera, concreto o acero, hincado hacia el suelo mediante martillo.
- b) **Pilotes hincados y colocados en sitio:** formados hincando un tubo, con una orilla cerrada hacia el suelo y llenando el tubo con concreto. El tubo puede ser removido.
- c) **Pilotes de gato:** unidades de acero o concreto, hincados en el suelo mediante gato hidráulico.
- d) **Pilotes perforados y colocados en sitio:** son pilotes formados, perforando un orificio en el suelo y llenandolos de concreto.
- e) **Pilotes mixtos:** es cuando se combinan dos o más de los tipos de pilotes, mencionados anteriormente, o combinaciones de diferentes materiales en el mismo pilote.

Otras denominaciones de pilotes:

- a) **Pilote aislado:** aquel que está a una distancia lo suficientemente alejada de otros pilotes como para que no tenga interacción geotécnica con ellos.
- b) **Grupo de pilotes:** son aquellos que, o bien por su proximidad interaccionan entre sí, o bien están unidos mediante elementos estructurales lo suficientemente rígidos como para que trabajen conjuntamente.
- c) **Zonas pilotadas:** son aquellas en las que los pilotes están dispuestos con el fin de reducir asientos o mejorar la capacidad frente al hundimiento. Suelen ser pilotes de escasa capacidad portante individual y están regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos.
- d) **Micropilotes:** son pilotes con diámetros comprendidos entre los 6cm y 25cm (excepcionalmente 30cm y 35cm).

En general serán siempre elementos cuya longitud es mucho mayor que la dimensión transversal media. La forma de su sección transversal podrá ser circular o casi circular (cuadrada, hexagonal u octogonal) de manera que no sea difícil asimilar la mayoría de los pilotes a elementos cilíndricos de una cierta longitud y de un cierto diámetro. Como caso excepcional deben considerarse los pilotes pantalla. Los pilotes pantalla o elementos portantes de pantalla, suelen ser de hormigón con una proporción longitud - anchura tal que la asimilación a la forma circular es difícil.

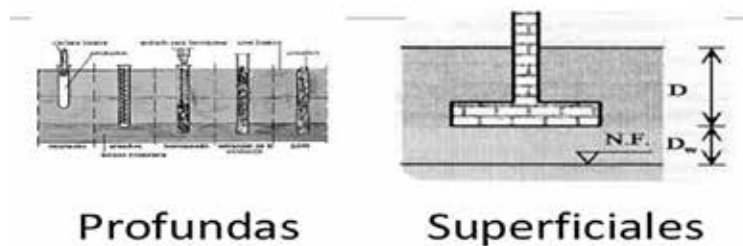
2.2.4 Usos de las Cimentaciones Profundas

Se utilizan principalmente cuando:

- El terreno resistente está profundo.
- No hay terreno resistente (baja capacidad portante del suelo) y por tanto se excede de la capacidad portante del existente.
- Los pilotes son solicitados a tracción.
- Es necesario resistir cargas inclinadas.
- Nivel alto de la capa freática que producirían elevados costos de agotamiento.
- Existencia de estratos de subsuelo de alta compresibilidad, como turbas y materiales de relleno de reciente colocación que todavía no se ha consolidado totalmente.
- Subsuelos susceptibles de sufrir movimientos debidos a humedad o ruptura plástica.

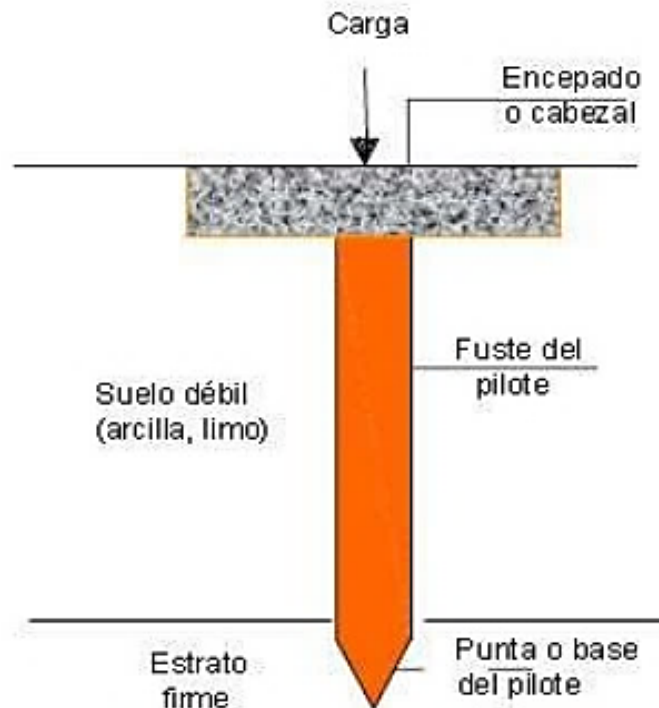
(Ver figura2).

Figura2 Dos tipos de cimientos en tres dimensiones.



Fuente: slideshare.net

Figura 3 Partes de un pilote.



Fuente: slideshare.net

La construcción de cimientos profundos, en muchas ocasiones es un proceso ciego, y es mayor su incertidumbre cuando se efectúa en medio del agua, para lo cual la metodología de vaciado con tubería tremie (ver figura 4) , aunque sin poder ver qué ocurre en lo profundo de la excavación durante el vaciado del concreto, sí permite disminuir la incertidumbre de lo que debe ser la calidad del cimiento.

Estos procedimientos dependen de las condiciones del terreno, capacidades de carga del suelo, la magnitud de las estructuras, disponibilidad de equipo y otros. Eligiendo por medio del diseño, el tipo de cimentaciones profundas a emplearse, ya sean pilotes hincados o colados in situ. Para estos pilotes se excava el terreno mediante el equipo de perforación en varios diámetros. Estas excavaciones pueden hacerse en seco o con alguna protección temporal de la perforación; para tener mayores rendimientos y seguridad en las obras, es recomendable realizarlas utilizando equipos de perforación hidráulicos.

Figura 4. Vaciado con tubería tremie



Fuente:<https://www.pinterest.com/>

En nuestro país, se cuenta con equipos de perforación de varios diámetros. Estos equipos permiten la ejecución de pilotes en diámetros desde 0.30 m hasta 2.50 m y con profundidades hasta alcanzar los 45 m. Dependiendo del tipo del terreno y dimensiones de los pilotes, estos pueden tener una capacidad de carga entre 10 Kg/cm² hasta 40 Kg/cm².

Para realizar construcciones de pilotes con diámetros y profundidades mayores que los mencionados anteriormente, se tendrá que gestionar con empresas extranjeras para el alquiler de equipos ó subcontratos para su ejecución.

El concreto

El concreto es un material que tiene extraordinarias propiedades físicas y múltiples ventajas, del que se requiere conocer sus principales características para su manejo y beneficio, sin embargo, generalmente se especifica el tipo de mezcla por resistencia y consistencia, sin incluir otros aspectos importantes en las mezclas de concreto, como las siguientes:

En cimentaciones profundas fundidas in situ

Adicional a las anteriores, se puede dar mención a los siguientes aspectos en las mezclas de concreto:

- Contenido mínimo de pasta
- Contenido mínimo de cemento
- Contenido mínimo de finos
- Viscosidad

Es importante tener en cuenta que asentamientos superiores generan inestabilidad en la mezcla y pueden producir segregación en el concreto; y asentamientos inferiores a la especificación generan baja manejabilidad que puede incrementar la contaminación del concreto con el suelo o los fluidos de excavación, afectando la adherencia del concreto con el acero.

En cimentaciones profundas con pilotes o pantallas hincadas

Adicional a lo descrito en cimentaciones superficiales, se debe tener en cuenta, que estos pilotes son prefabricados, y para optimizar espacio y tiempo del concreto en los moldes, se requieren resistencias tempranas, por lo cual es necesario conocer:

- Resistencia mínima para movimiento e izaje del elemento.
- Tipo de cemento.
- Relación arena / agregado.
- Tiempo y tipo de curado.

El acero de refuerzo

El acero a utilizar como complemento del concreto reforzado, debe garantizar que cumpla con las propiedades de: resistencia a la tracción y a la fluencia, deformaciones, ductilidad, dureza, tenacidad, entre otros, enmarcadas dentro de las respectivas normas; sin embargo en obra es importante atender los siguientes aspectos que pueden afectar la durabilidad del elemento:

- Barras y flejes libres de suciedad e impurezas.
- Libre de corrosión.

- Figurado, armado y traslajos con las medidas y diámetros especificados.
- Utilizar distanciadores para garantizar el recubrimiento especificado, el cual para elementos de concreto en contacto con el suelo es de 75 mm.
- Tener cuidados en el izaje e instalación de las canastas en la excavación para evitar rotura de amarres o deformaciones y desplazamiento de barras principales.

2.2.5 Equipos Utilizados en la Construcción

Grúas

Son máquinas que sirven para el levantamiento y manejo de objetos pesados, contando para ello con sistema de malacates que acciona a uno o varios cables, montados sobre una pluma y cuyos extremos terminan en gancho. Para facilitar su función, la unidad motriz y los diferentes mecanismos de la máquina le permiten girar alrededor de un eje vertical y a la pluma moverse en un plano horizontal. Las plumas de la grúa pueden ser rígidas cuando están formadas por estructuras modulares (de tubo o de ángulo estructural), o bien telescópicas cuando están formadas por elementos prismáticos que deslizan unos dentro de otros. Para la construcción de cimentaciones profundas se usan generalmente grúas móviles de pluma rígida, bien sea para montar sobre ellas equipo especializado.

Para el montaje de equipo de perforación o hincado, usualmente se requieren grúas de 45 a 80 ton de capacidad nominal, con plumas rígidas de 18.3m de largo. Para las maniobras se emplean grúas de menor capacidad nominal, aunque superior a 15 ton, las condiciones del terreno dictaminan la conveniencia de que estén montadas sobre neumático o sobre orugas.

Perforadoras

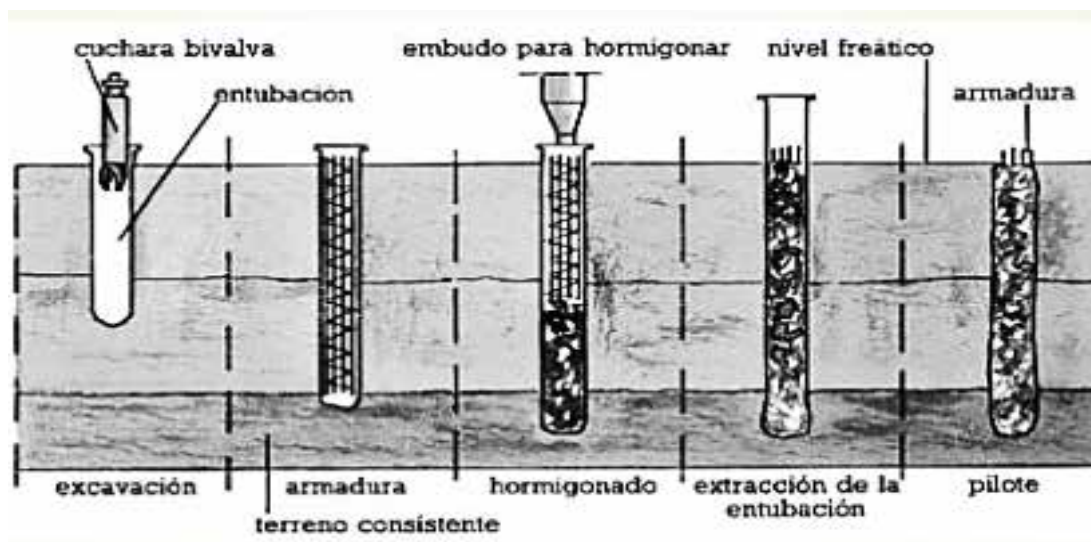
Son máquinas para hacer barrenos en el suelo por rotación y percusión. En el caso de las rotatorias, la torsión se transmite por medio de una barra en cuyo extremo inferior se coloca una herramienta de avance tal como una broca, un bote cortador, una hélice. La barra se hace girar con algún mecanismo o bien se levanta y se deja caer

sobre el fondo de la perforación, lo cual da lugar a que las perforadoras sean rotatorias o de percusión respectivamente.

Martillos para Hincado

Son equipos que generan impacto en serie para el hincado de pilotes. Los martillos piloteadores originales, fueron masas de caída libre, que se colocaban en posición previa al descenso mediante sistemas manuales o mecánicos. Con el desarrollo de la tecnología se utilizó vapor de agua o aire comprimido para levantar la masa que cae; mejoras posteriores dieron lugar al uso del vapor y aire comprimido para acelerar la caída de la masa durante su descenso, lográndose una mayor energía en el impacto. Los más comunes, son martillos de combustión interna que emplean diesel como combustible para levantar la masa golpeadora, al mismo tiempo que se aprovecha su explosión para incrementar el impacto del hincado.

Figura 5 Proceso constructivo de un pilote.



Fuente: slideshare.net

Existen diversos tipos de martillos para el hincado de pilotes:

Los tipos de martillos más usados son los de doble acción y de tipo hidráulico, a manera de ejemplo, a continuación se presentan los martillos IHC (hincado de pilotes universal), de la serie S y SC:

- **Serie “S”**. El peso de la masa de golpe de la serie S, es relativamente ligero, la velocidad de impacto hace que estos martillos sean ideales para hincar pilotes de acero (tubos), vigas H y pilotes en la costa.
- **Serie “SC”**. Este tipo de martillos tienen una velocidad de impacto más baja que el de la serie S, por ser el pistón más pesado. Son la mejor elección para hincar pilotes de concreto ó para usarse en diferentes obras.

2.2.6 Excavación

Entre los puntos que se deben verificar o anotar durante la excavación, destacan:

- Información general: fecha, condiciones atmosféricas, identificación individual, hora de inicio y de terminación de la excavación, equipo utilizado, personal.
- Localización topográfica de la pila o pilote al inicio y al finalizar la excavación.
- Conformidad del procedimiento de excavación con las especificaciones de construcción o con la práctica correcta (se aconseja que toda obra de cimentación tenga sus propias especificaciones que rijan durante toda la construcción).
- Verticalidad y dimensiones de la excavación a intervalos regulares. La verticalidad de la excavación se debe comparar con el valor de proyecto y con la desviación permisible especificada.
- Bondad del método y equipo usado para atravesar estratos permeables, si los hubiere.
- Bondad del método y equipo usado para atravesar grandes obstrucciones, si las hubiere.
- Seleccionar adecuadamente la secuela de excavación y colado, cuando se contemple ejecutar simultáneamente varios pilotes o pilas relativamente cercanas, a fin de garantizar el movimiento del equipo, su seguridad, la de las construcciones vecinas, así como la estabilidad de las excavaciones.

- Registro de los estratos de suelo atravesados durante la excavación.
- Profundidad de empotramiento en el estrato de apoyo y cota del fondo de la perforación.
- Elevación y geometría de la campana, si hubiere.
- Calidad del estrato de apoyo (esto debe hacerse mediante inspección visual, siempre que sea posible).
- Para altas capacidades de carga se recomienda la obtención de núcleos y el ensayo in situ del material hasta una profundidad de 1 a 2 diámetros bajo el nivel de desplante.
- El supervisor debe decidir cuando se a alcanzado el estrato de apoyo y cual es la profundidad correcta de los pilotes o pilas.
- Limpieza del fondo y de las paredes de la excavación y del ademe permanente (o perdido), si lo hubiere, con la herramienta adecuada.
- Gasto de filtración hacia la excavación.
- Calidad del lodo bentonítico, si se requiriera.
- Perdida del lodo, si la hubiera (hora, elevación, cantidad).
- Cuando la excavación atraviese arcillas blandas bajo el nivel freático, no debe extraerse la cuchara a velocidad tal que provoque succión y, en consecuencia, caídos. En este caso conviene subir la cuchara en etapas, permitiendo el establecimiento de la presión, o dejando en el centro de la misma una tubería que permita el rápido paso del lodo hacia la parte inferior de la cuchara mientras este suba despacio.
- Se debe evitar el uso indiscriminado de los lodos y el nivel del lodo deberá permanecer lo más arriba posible del nivel freático.

Agua

El agua para la fabricación de los lodos de perforación y del concreto deberá ser potable, limpia, fresca y libre de materia orgánica e inorgánica, ácidos y álcalis, en suspensión o en solución, y de cualquier sustancia que pueda causar efectos deletéreos

(causan daños) en el concreto, en cantidad tal que puedan afectar la calidad y durabilidad del lodo de perforación o del concreto.

Cemento

El cemento es el conglomerante hidráulico que resulta de la pulverización del clinker a un grado de finura determinado, al cual se le adiciona sulfato de calcio y agua.

El clinker es el material sintético granular, resultante de la cocción a una temperatura de 1,400°C de materias primas de naturaleza calcárea y arcilloferuginosa, previamente triturados, dosificados, mezclados, pulverizados y homogeneizados. Esencialmente está constituido de silicatos, aluminatos y ferroaluminatos cálcicos.

El cemento internacionalmente utilizado es el tipo Pórtland, que debe satisfacer la norma COVENIN. Entre los tipos de cemento Pórtland tenemos: ordinario, puzolánico, con escoria granulada de alto horno, y compuesto.

2.2.7 Procedimiento de Construcción

Concreto

El concreto es un material compuesto, formado esencialmente por un medio cementante en el cual están embebidas las partículas o segmentos de agregados y aditivos, si es el caso. El concreto de cemento hidráulico, el cementante lo forma una mezcla (pasta) de cemento y agua.

Antes del vaciado de concreto:

- Siempre utilizar fluidos estabilizadores de excavación (polímeros o bentonita), para evitar derrumbes en la excavación y **evitar la sedimentación** en el fondo de la excavación.
- Se debe realizar control de viscosidad, densidad, pH y contenido de arena a los fluidos de excavación.
- No utilizar agua como estabilizador puesto que se corre el riesgo de inestabilizar la excavación, contaminar el acero y producir segregación y lavado del concreto.
- Verificar que se cumple con el recubrimiento del acero de refuerzo.

Durante el vaciado de concreto:

Una vez validado y aceptado el cumplimiento de la consistencia de la mezcla de concreto, se procede al vaciado del mismo en los elementos.

Después del vaciado

El concreto después de vaciado queda en condiciones ideales de humedad y temperatura, que garantizan un curado ideal. Posteriormente y después de la excavación se debe realizar el descabece del pilote retirando el concreto contaminado.

Reducción del consumo de recursos

La necesidad de reducir el impacto que genera la explotación de recursos no renovables en el ambiente para producir materia prima, ha generado la aparición de soluciones alternativas cuya fuente proviene de recursos renovables y de procesos de reutilización o reciclado. La búsqueda de estas nuevas alternativas ha dado paso a la conciliación de diversas técnicas bajo el concepto de “sincretismo tecnológico”, en donde se plantea la combinación de técnicas y componentes provenientes de la gran industria, con técnicas y materiales autóctonos de bajo consumo energético que puedan ser asimilados por el ecosistema o las mismas edificaciones, según sea el caso; buscando lograr un balance apropiado entre factores ambientales y culturales, las necesidades de seguridad y confort, y la reducción de la energía incorporada en materiales, componentes y procesos constructivos. (Calvo, 2008).

Este nuevo planteamiento abarca la idea de la “desmaterialización”, en la cual se reduce no sólo la cantidad de material empleado para la construcción; sino también, se disminuye el uso de recursos irremplazables, motivando la reutilización, el reciclaje y la remanufactura. Dicha reducción en el consumo de materiales de construcción influye directamente sobre el dimensionamiento y el desperdicio generado durante el proceso constructivo, haciendo; de esta forma, que la lógica constructiva se apegue a un marco racional en tanto y cuanto al empleo eficiente de los recursos, disminuyendo considerablemente el impacto ambiental que de ella se deriva. (Calvo, 2008).

2.2.8 Eficiencia y Racionalidad Energética

Es imprescindible comprender a cabalidad las consideraciones ambientales de la locación en la cual se emplazan las edificaciones, a fin de reducir el consumo de energía y garantizar el confort de los usuarios a través de estrategias de orden pasivo que responden coherentemente a la reducción asociada al uso de recursos locales. Algunas de estas estrategias se encuentran referidas al empleo de sistemas de ventilación pasiva, sistemas y recursos energéticos ecológicos como la energía solar a través de celdas y la energía eólica, que; a su vez, forman parte de los requerimientos asociados a la disminución del consumo energético, costos de construcción y mantenimiento.

Del mismo modo; dichas estrategias deben ir fielmente alineadas a las exigencias humanas de habitabilidad y confort en las edificaciones. (Calvo, 2008). Los cerramientos exteriores y cubiertas de las edificaciones deben responder adecuadamente a las condiciones del sitio, reduciendo el consumo de energía y cumpliendo con las demandas del confort de los usuarios. Generalmente; estos elementos pertenecientes a la piel de la edificación cumplen una importante función en la administración térmica de la edificación a través de un proceso que se desarrolla por medio de la siguiente lógica:

1. Captar energía.
2. Almacenar energía.
3. Ceder y distribuir energía.

2.2.9 Reducción de la Contaminación y Toxicidad

Durante el proceso de desarrollo y planificación del proyecto, es necesario identificar la magnitud de los desechos contaminantes que la actividad de la construcción y la edificación misma producirá; de manera tal, de evaluar la trascendencia que estos tendrán desde el punto de vista de impacto ambiental para tomar los correctivos necesarios durante todo el ciclo de vida del material, componente, proceso o estudio de la edificación. (Calvo, 2008). Parte de la búsqueda en la reducción de la contaminación, radica en disminuir los niveles de emisiones de CO₂, aumentando

la eficiencia energética en el uso de las edificaciones y en el diseño de procesos que disminuyan la energía incorporada en los materiales y componentes.

Del mismo modo; nuevas soluciones que supriman materiales que representan un problema para la salud de los usuarios constituye un factor de suma importancia. Por ejemplo, la disminución del plomo en las tuberías para instalaciones sanitarias para dar paso a las tuberías de PVC; que si bien puede ser tóxico, disminuye considerablemente los posibles niveles de contaminación. Al igual que el plomo, el uso del asbesto debe ser eliminado de los materiales empleados para la construcción; así como también, de aquellos materiales utilizados para la protección contra el fuego de estructuras metálicas. (Calvo, 2008). Los criterios orientados a la reducción de elementos, materiales y sistemas contaminantes, disminuye el impacto negativo de las edificaciones sobre el ambiente.

2.2.10 Ley de Construir:

Bien desde el inicio

Construir con más calidad a menor costo es uno de los objetivos de la sostenibilidad; es por ello que se considera de vital importancia “construir bien” desde la fase inicial, en donde se toman decisiones que normalmente determinan el éxito o el fracaso de la edificación en términos de los conceptos promulgados por una construcción sostenible. “Construir bien desde el inicio” se trata de diseñar y construir bajo la premisa de promover una larga vida útil, con calidad y durabilidad, previendo la transformabilidad y la reutilización de las edificaciones; de manera tal, que los cambios en los que se pueda incurrir, no impliquen grandes demoliciones y modificaciones estructurales, reduciendo la generación de desperdicios y desechos. (Calvo, 2008).

Conviene que las infraestructuras propias de la sostenibilidad, presenten un carácter ligero y reconvertible, capaces de absorber las mutaciones de la demanda, caracterizándose por una mayor versatilidad funcional, adecuándose a las variaciones inherentes de la complejidad socioeconómica. Todo esto, sin actuar en detrimento de la calidad de los espacios y la estética de la edificación, garantizando también la

calidad, confort y menores costos de adaptación asociados al cambio, logrando; incluso, una mayor durabilidad.

En tal sentido; es de gran importancia entender las implicaciones éticas derivadas de la búsqueda improvisada e irreflexiva de la reducción de costos, ya que el carácter ligero y reconvertible al cual se hace referencia, podría ser malinterpretado por los profesionales responsables del diseño y la construcción en la búsqueda perenne de esa tan ansiada reducción de costos, repensando; de esta forma, los valores éticos asociados a un ejercicio profesional responsable. (Calvo, 2008). Los pilotes se consideran la opción principal para una cimentación profunda. Son elementos esbeltos que se introducen en el suelo por percusión o perforación buscando llegar a un estrato de suelo competente, según los requerimientos de resistencia para la fundación de la estructura, o desarrollando su capacidad de soporte por fricción. Pueden trabajar solos o combinados con sistemas de placas de cimentación.

A su vez, tener conocimiento o acompañarse de los expertos que sepan cómo evaluar el asentamiento en estas cimentaciones es clave para el éxito en su construcción.

Construir bajo la premisa de “cero desperdicio”

Los procesos de diseño asociados a la planificación integral de edificaciones deben contemplar la reducción drástica de los desperdicios que son consecuencia de los descuidos y de la falta de consideración técnica del equipo de profesionales involucrados en los mismos. Es por esta razón que el enfoque sostenible, plantea un conjunto de propuestas de minimización de residuos desde la fase comprendida para la elaboración del proyecto, presentándose de la siguiente manera:

1. Mejorar el mantenimiento y la durabilidad de las edificaciones.
2. Evitar la demolición acelerada de las edificaciones, promoviendo criterios de deconstrucción.
3. Optimizar las soluciones constructivas para; de esta forma, disminuir la cantidad de material empleado.

4. Emplear soluciones tecnológicas eficientes que disminuyan la generación de desperdicios.
5. Reutilizar los desperdicios producto de la propia construcción. (Calvo, 2008).

La estandarización y prefabricación cumplen un papel importante en la disminución de residuos de la construcción, ya que los materiales y los componentes pueden ser fabricados con anterioridad en otras locaciones y ser trasladados al lugar de la obra, siendo estos instalados sin modificaciones ni alteraciones en sus dimensiones, evitando cortes y roturas que generan desperdicios. (Calvo, 2008).

2.2.11 Producción Local y Manufactura Flexible

Se puede alcanzar la producción de edificaciones en gran escala, a través de múltiples operaciones de pequeña escala, dejando un lado largas series de producción superdotadas a procesos continuos. Las estrategias de descentralización promueven la aparición de demanda local y; al mismo tiempo, ésta puede ser calificada de acuerdo a la disponibilidad de recursos que se puedan obtener localmente, resultando en una producción versátil a pequeña escala, teniendo implicaciones adicionales en lo referido al ahorro de energía, la preservación del medio ambiente, el reciclaje de los residuos de procesos agrícolas, industriales y de la propia construcción. (Calvo, 2008).

La pequeña empresa juega un papel fundamental dentro de este proceso, ya que de su capacidad innovadora para incorporar nuevas tecnologías y conocimientos de forma progresiva, dependerá el éxito en la gestión para eliminar la inercia administrativa, producto de la burocratización creciente que genera una producción a gran escala. Una alternativa promisoriosa, representa la creación de juntas vecinales que promuevan e incentiven una producción local a menor escala con mayor control y posibilidades de fiscalización, siempre partiendo de las necesidades y aspiraciones de cada comunidad en específico, evitando; de esta manera, la dependencia de un sistema de producción centralizado que limite dichas necesidades. (Calvo, 2008).

2.2.12 Comportamiento de los Suelos

El suelo desde la selección de la implantación de la estructura juega un papel determinante, bien como elemento estructural-soporte de lo que se le coloca encima, como material aprovechable para terraplenes o rellenos e incluso como material de construcción en diques, presas u otras obras de tierras comunes en las obras estructurales. Luego, es menester analizar el suelo, según el uso o empleo que se le de al mismo en la obra. Un ingeniero que se dedica a las obras de cimentación, necesita un conocimiento completo de los suelos considerados como materiales estructurales. Sin duda alguna tendrá que poseer una sensibilidad aguda para detectar el peligro donde exista; hará falta mucho ingenio para captar y valorar lo que ve, lo cual se adquiere a medida que vaya haciendo este tipo de obras, y con esta experiencia poder predecir cuál será el comportamiento probable de los suelos en sus diferentes variedades de disposiciones y propiedades. Las pruebas que se realizan en el laboratorio son de gran utilidad, pero también lo son la observación en el campo, el conocimiento de cómo funcionan las estructuras sobre materiales comparables o similares y un empleo adecuado de la experiencia e imaginación.

Es decir, las cargas que transmite la cimentación a las capas del terreno causan tensiones y, por tanto, deformaciones en la capa del suelo que lo está soportando. Como en todos los materiales, la deformación va a estar en dependencia de las tensiones y de las propiedades del suelo. Estas deformaciones tienen lugar siempre y producen asentamientos entre las superficies de contacto de la cimentación y el suelo.

2.2.13 Propiedades de los Suelos

Los geólogos definen los suelos como rocas alteradas, mientras que para los ingenieros es cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases y líquidos incluidos, preferirían definirlos como el material en que se apoyaran las estructuras. Todo suelo debe ser identificado y clasificado por un laboratorista antes de ser sometido a un ensayo, por lo general para obtener el tipo de suelo y su clasificación, se hace a través del Sistema Unificado de Clasificación de los

Suelos (SUCS) o el American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Para simplicidad, los suelos se pueden dividir en dos clases:

- a) Granulares:** Son los suelos que no poseen ninguna cohesión (unión entre las moléculas de un cuerpo), y consisten en rocas, gravas, arenas y limos.
- b) Cohesivos:** Son suelos que poseen características de cohesión y plasticidad (propiedad de un material que puede ser moldeado).

Dichos suelos pueden ser granulares con parte de arcilla o limo orgánico, que les importen cohesión y plasticidad, o pueden ser arcillas o limos orgánicos sin componentes granulares.

Para la completa identificación de un suelo el ingeniero necesita saber lo siguiente: - Tamaño - Granulometría - Forma - Composición química de las partículas - Las fracciones coloidales y sedimentables que contiene. Cuando las propiedades superficiales de las partículas son importantes, las formas de éstas adquieren por lo menos la misma importancia que la granulometría. En condiciones normales, una característica significativa es la ubicación relativa de las partículas dentro del suelo, lo que determina la resistencia a los desplazamientos internos y ayuda a constituir una medida cualitativa de las fuerzas de resistencia a las fuerzas cortantes y a la compresión.

2.2.14 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS

Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casa grande.

Hay dos sistemas de clasificación de suelos de uso común para propósitos de ingeniería.

1. El Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS) que se utiliza para casi todos los trabajos de ingeniería geotécnica.
2. El sistema de clasificación AASHTO que se usa por la construcción de carreteras y terraplenes. Ambos sistemas utilizan los resultados del análisis granulométrico y la determinación de los límites de Atterberg (LL, LP, IP), Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad, respectivamente, para determinar la clasificación del suelo.

Las fracciones texturales del suelo son: **Grava, Arena, Limo, Arcilla**. A un suelo que comprende uno o más de estos componentes se le da un nombre descriptivo y una designación que consta de letras o números y letras. Estas letras dependen de las proporciones relativas de los componentes y de las características de plasticidad del suelo.

Este sistema clasifica los suelos en dos amplias categorías: **Suelos de grano Grueso**, que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando el tamíz No. 200... **Suelos de grano Fino** con 50% o más pasando el tamíz No. 200”

Determinar si el suelo es fino o granular:

Granular..... % pasando N° 200 < 50%. -

Fino..... % pasando N°

Suelos Gruesos: Estos suelos pueden ser **a) Gravas o b) Arenas**. Las gravas y las arenas están divididas por el tamíz No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo genérico "G" (Gravel), si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en el tamíz No. 200) no pasa el tamíz No. 4, y es del grupo genérico "S" (Sand) en el caso contrario.

Las arenas y gravas se subdividen en cuatro grupos:

1. Material prácticamente limpio de finos, bien graduado. Símbolo "W" (well graded), que en combinación con los símbolos genéricos anteriores da lugar a los grupos GW y SW (grava bien graduada y Arena bien graduada, respectivamente).
2. Material prácticamente libre de finos, mal graduado, con el símbolo "P" (poorly graded), en combinación con los anteriores genera GP y SP (grava mal graduada y Arena mal graduada, respectivamente).
3. Material con cantidad apreciable de finos no plásticos. Símbolo "M" (del sueco *mo* y *mjala*), en combinación con los símbolos anteriores da lugar a GM y SM (grava limosa y Arena limosa, respectivamente).
4. Material con cantidad apreciable de finos plásticos, con el símbolo "C" y en combinación con los anteriores genera GC y SC (grava arcillosa y arcillosa, respectivamente).

Suelos Finos:

En este caso, el sistema (SUCS) considera los suelos agrupados, formándose el símbolo de cada grupo por dos letras mayúsculas, elegidas con un criterio similar al usado para los suelos gruesos y dando lugar a las siguientes divisiones:

- a) Limos inorgánicos, de símbolo "M".
- b) Arcillas inorgánicas, de símbolo "C".
- c) Limos y arcillas orgánicas, de símbolo "O".

Cada uno de los grupos anteriores se subdivide según su límite líquido en dos grupos. Si el límite líquido es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra "L" (low compressibility), obteniéndose por esta combinación los grupos ML, CL y OL (Limo de baja

compresibilidad, Arcilla de baja compresibilidad y Limo o Arcilla Orgánica de baja compresibilidad, correspondientemente). Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea, de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra “H” (high compressibility), teniéndose así los grupos MH, CH y OH.

Ha de notarse que las letras “L” y “H” no se refieren a la alta o baja plasticidad, pues esta propiedad del suelo, ha de expresarse en función de dos parámetros, el límite líquido (LL) y el Índice Plástico (IP). Por otra parte, la compresibilidad de un suelo es función directa del Límite líquido, de manera que a mayor límite líquido, mayor compresibilidad del suelo.

Grupos GW y SW: En estos grupos el contenido de finos es menor al 5% en peso. El coeficiente de uniformidad deberá ser mayor a 4, mientras que el de curvatura deberá oscilar entre 1 y 3. Para las arenas, el coeficiente de uniformidad deberá ser mayor a 6.

Grupos GP y SP: Deben cumplir los requisitos anteriores en cuanto a contenido de partículas finas, no obstante, la graduación para ser considerados como bien graduados es insatisfecha.

Grupo GM y SM: Contienen porcentajes mayores a 12% de suelos finos, en peso. La plasticidad de los finos en este grupo varía entre “Nula” y “Media”, es decir, se deben realizar las pruebas necesarias para determinar los índices de plasticidad (<4) en la fracción que pasa la malla No 40 (debajo de la línea A de la carta de plasticidad).

Grupo GC y SC: Como antes, el contenido de finos es mayor al 12% en peso, sin embargo, en este caso los finos son de media a alta plasticidad y ahora el requisito es que el índice plástico sea mayor a 7 (por encima de la línea A).

Clasificaciones de los Suelos

SUCS –UCS: se utilizan los símbolos de cinco letras:

- **G** por grava (Gravel).
- **S** por arena (Sand).
- **M** por limo (silt).

- **C** por arcilla (clay).
- **O** por suelos orgánico (organicsoil).
- **P** por turba (peatsoils).

Teoría de Plasticidad de Suelos

Es la propiedad que expresa la magnitud de las fuerzas de las películas de agua dentro del suelo ya que éstas permiten que el suelo sea moldeado sin romperse hasta un determinado punto. Es el efecto resultante de una presión y una deformación. En relación con la plasticidad de los suelos, durante un proceso de deformación, el volumen de una arcilla permanece constante. Por el contrario el volumen de una arena cambia continuamente durante el mismo. Si se intenta deformar una masa de arena húmeda rápidamente, esta se desagrega (la arena es friable). En virtud de esto, puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material que permite resistir deformaciones rápidas, sin cambiar de volumen y sin agrietarse ni desagregarse.

Casagrande (1938) sugirió que el responsable de la plasticidad de los suelos es el agua de adsorción, cuya viscosidad es semejante a la de una goma líquida. La plasticidad de un suelo es controlada por el contenido de minerales arcillosos: el tipo de mineral y la cantidad presente.

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

2.2.16 Condiciones que debe cumplir una cimentación

Estabilidad Global.- La estructura y su cimiento pueden fallar globalmente sin que se produzcan, antes, otros fallos locales. Este tipo de rotura es típico de cimentaciones en taludes o en medias laderas. Estabilidad al hundimiento.- Este fallo del terreno puede ocurrir cuando la carga actuante sobre el terreno, bajo algún elemento del cimiento, supera la carga de hundimiento.

Estabilidad frente al deslizamiento. - El contacto de la cimentación con el terreno puede estar sometido a tensiones de corte. Si éstas superan la resistencia de ese

contacto se puede producir el deslizamiento entre ambos elementos, cimentación y terreno.

Estabilidad frente al vuelco. - El vuelco es típico de rupturas cimentadas sobre terrenos cuya capacidad portante es mucho mayor que la necesaria para sostener la cimentación, de otra forma, antes de producirse el vuelco se provocaría el hundimiento del cimiento.

2.2.17 Capacidad Estructural del Cimiento

Los esfuerzos en los elementos estructurales que componen el cimiento, igual que cualquier otro elemento estructural, pueden sobrepasar su capacidad resistente. Los estados límites últimos que, en ese sentido, deben considerarse son los mismos que con el resto de los elementos estructurales. Las cimentaciones transmiten las cargas del edificio al terreno y buscan para ello, la parte firme del mismo. Según la situación de este terreno firme, bien en la superficie o bien en la profundidad, es preciso ejecutar cimentaciones superficiales o cimentaciones profundas. En el caso de que no se pueda alcanzar el terreno firme mediante recursos económicos variables, o no exista, la solución que queda es la de realizar cimentaciones flotantes. Aun así y sea cual sea el tipo de cimentación se tendrá en cuenta que:

- El sistema elegido para la cimentación de una obra será homogéneo en cada una de las partes en que pueda estar dividida, no admitiéndose distintos sistemas dentro de la misma unidad.
- Cuando el terreno presente discontinuidades o cambios en su naturaleza, deben disponerse los cimientos independientes a cada lado de la discontinuidad o cambio.
- La estructura del edificio será cuidadosamente anclada a la cimentación del mismo, con el fin de evitar desplazamientos relativos entre ésta y aquella.
- En caso de cimientos discontinuos (zapatas aisladas, zapatas corridas, pilotes) éstos deberían enlazarse entre sí mediante vigas de atado, formando así una retícula que evite desplazamientos.
- Las juntas estructurales no se reflejan en los cimientos.

- El terreno “manda” el tipo de cimentación:

1. Cimentaciones Superficiales o directas.
2. Cimentaciones Profundas.

- **Cimentaciones directas**

Una cimentación es directa cuando se reparten las cargas de la estructura un plano de apoyo horizontal. Cuando las condiciones lo permitan, las cimentaciones directas se construyen a poca profundidad bajo la superficie (3 m a 4 m) por lo que también son llamadas superficiales. Se clasifican en:

- Zapatas aisladas
- Zapatas corridas
- Zapatas corridas para pilares
- Losa de cimentación

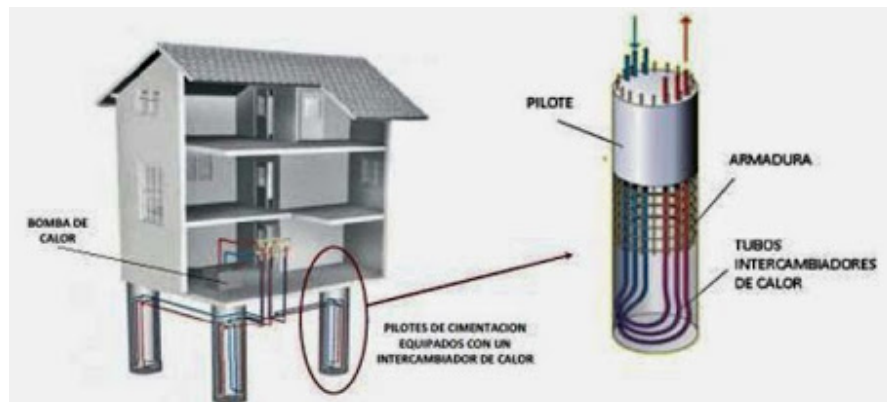
Todas las cimentaciones superficiales corren el riesgo de heladicidad (ciclos sucesivos de congelamiento/descongelamiento al estar totalmente impregnado con agua), por lo que deben enterrarse por lo menos de 80 a 130 cm por debajo del nivel del terreno. En el caso de excavaciones para zapatas de distinto nivel, se realizarán de forma que no se produzcan desplazamientos de las tierras entre los dos niveles. En general serán siempre elementos cuya longitud es mucho mayor que la dimensión transversal media. La forma de su sección transversal podrá ser circular o casi circular (cuadrada, hexagonal u octogonal) de manera que no sea difícil asimilar la mayoría de los pilotes a elementos cilíndricos de una cierta longitud y de un cierto diámetro. Como caso excepcional deben considerarse los pilotes pantalla. Los pilotes pantalla o elementos portantes de pantalla, suelen ser de hormigón con una proporción longitud –anchura, ya que, la asimilación a la forma circular es difícil.

2.2.18 La Cimentación Termoactiva

Es una tecnología de aprovechamiento energético para la climatización del edificio mediante el empleo de la geotérmica y la utilización de los elementos de la

estructura de hormigón armado de la cimentación, como pilotes y pantallas, aunque en algunos casos se puede utilizar otras estructuras. (Ver figura 6).

Figura 6 La cimentación termoactiva en la construcción.



Fuente: <http://wp.cienciacemento.com/>

Este tipo de cimentaciones se basa en el aprovechamiento de la temperatura constante del terreno a poca profundidad para mejorar el rendimiento de las bombas de calor. En invierno transfiere calor del subsuelo al edificio, mientras que en verano funcionaría a la inversa transfiriendo el calor del edificio al subsuelo, refrigerando al edificio.

Las **cimentaciones activas**, desde el punto de vista energético, y otras estructuras geotécnicas termo-activas, incorporan tecnologías innovadoras que contribuyen a la protección del medioambiente, proporcionando importantes ahorros en los siguientes aspectos:

- a. Recursos energéticos,
- b. Emisiones de CO₂,
- c. Recursos económicos a mediano y largo plazo.

Desde el punto de vista de ejecución, solo es necesaria la instalación de conducciones (reellenas de fluidos adecuados para la transmisión térmica) en los elementos estructurales convencionales de cimentación y sostenimiento, como por ejemplo:

- a. Pilas,

- b. Pilotes,
- c. Muros pantalla,
- d. Muros de sótano,
- e. Losas,
- f. Túneles.

2.2.19 Función de los Cimientos

Los cimientos son partes de las estructuras, que actúan como transición entre las mismas estructuras y el suelo portante. La condición esencial de una apropiada cimentación es que las presiones transferidas al suelo portante no excedan las presiones admisibles, correspondientes al suelo de que se trate. Esta indeseable eventualidad podría originar daños en las edificaciones.

Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas del uso de una cimentación termoactiva:

1. Todas las ventajas propias de la geotérmica como energía renovable y en términos de eficiencia energética.
2. Económica, aunque necesite una inversión inicial, su amortización supone un ahorro económico en su vida útil.
3. Impacto arquitectónico o visual nulo.
4. Independencia del clima externo.
5. Larga vida útil, siempre que se empleen materiales adecuados.

Mientras que el principal inconveniente:

En función de las necesidades energéticas, la mayoría de los casos no cubre el 100% de demanda aprovechando sólo la cimentación, debido a la profundidad menor de las sondas verticales.

Normativa

En lo referente a normativa, el Código Técnico de la Edificación (CTE), DB-HE “Ahorro de Energía”, exige la aplicación mínima de energías térmicas renovables solar y fotovoltaica para la edificación y abastecimiento de agua caliente sanitaria, pero deja una puerta abierta a otras energías renovables o alternativas de ahorro energético. Entre

estas otras alternativas tienen cabida las instalaciones para el aprovechamiento de energía geotérmica.

2.2.20 Estudio de Factibilidad para el uso de Cimentaciones Termoactivas en el sector de Construcción.

En relación al uso de los elementos de cimentación y contención de tierras (estructuras de hormigón) que están en contacto directo con el terreno y, actúan como eficientes intercambiadores de calor. Como fuente de calor en el invierno y de enfriamiento en el verano, aprovechando la temperatura natural del terreno, sin perjuicio a emplear otro tipo de captadores (verticales /horizontales), si así fuese necesario.

Análisis de Factibilidad del uso de Cimentaciones Profundas Termoactivas en la Construcción de Edificaciones en Venezuela.

Aunque la utilización de las cimentaciones termoactivas se ha desarrollado en numerosas edificaciones localizadas en Europa, la práctica de diseño habitual consiste en incrementar el coeficiente de seguridad de forma que las cargas de origen térmico queden cubiertas por éste (Boënnec, 2009). Sin embargo, en los últimos años se está realizando un esfuerzo por aclarar si ese coeficiente de seguridad está justificado o, por el contrario, merece la pena establecer un criterio de diseño menos conservador que ayude a la reducción de costos. En este sentido, muy poca información se encuentra disponible sobre el impacto que los ciclos de enfriamiento - calentamiento tienen sobre el rendimiento geotécnico de los pilotes geotérmicos.

Para describir el estado del conocimiento actual en este campo, se han revisado brevemente las conclusiones más importantes deducidas de los escasos estudios experimentales realizados hasta la fecha y descritos anteriormente. A partir de estos estudios, se ha consensado en unas bases mínimas de comportamiento termomecánico de cimentaciones termoactivo, que se describe a continuación, para concluir este apartado enumerando las incógnitas que aún quedan por resolver y los retos aún más.

Considerando a que se enfrenta la comunidad científico-técnica en el ámbito del comportamiento de estructuras de cimentaciones termoactivos, pues desde los años 80

del siglo XX, la tecnología de las cimentaciones ha experimentado una rápida expansión en Europa, aunque en la mayoría de los casos la práctica más común en su diseño como elemento de cimentación ha sido aplicar un coeficiente de seguridad amplificado que cubra las posibles cargas adicionales derivadas de las variaciones térmicas. Dado que los primeros estudios de cimentaciones tales como pilotes se centraron básicamente en el funcionamiento como intercambiador térmico de estos elementos, admitiéndose en un principio que ni el comportamiento estructural del pilote ni su capacidad portante se verían significativamente afectados por los ciclos de intercambio de calor con el terreno.

Sin embargo, en los últimos años se han llevado a cabo algunos estudios que han analizado la relación entre las variaciones térmicas en el pilote y los cambios en la carga por fuste y por punta en el mismo. De ellos parece deducirse que la aplicación de cargas cíclicas de temperatura puede inducir modificaciones significativas en el sistema suelo-estructura, dando lugar a cargas adicionales que deben ser consideradas en el diseño de la cimentación termo-activa. Así mismo, la evolución de los conocimientos publicados sobre comportamiento termo-mecánico de pilotes posiblemente comienza con el artículo de Brandl (2006), que describe diversos proyectos realizados en Austria. El autor concluye diciendo que la resistencia por fuste, la presión en la base y la capacidad portante del terreno no se ven afectados por la absorción de calor en una cimentación termoactiva. También afirma que el asentamiento o levantamiento producido por las variaciones térmicas son despreciables.

Posteriormente, Laloui, et al. (2006) identifica el problema de la aparición de modificaciones significativas en la interacción suelo-estructura debido al proceso de enfriamiento-calentamiento asociado a la explotación geotérmica. Estas modificaciones llevan a la aparición de esfuerzos adicionales en el pilote, disminución en la fricción lateral y la posibilidad de desarrollo de discontinuidades entre el pilote y el terreno.

A continuación, Bourne-Webb, et al. (2009) describen en su trabajo variaciones en la carga axial y la resistencia por fuste del pilote, debidos a cambios en la temperatura del mismo. Bourne-Webb, et al. (2009) y Ouyang (2011) proponen, a partir de las experiencias adquiridas hasta el momento, un modelo básico de comportamiento de pilotes termoactivos, en el que se razona el origen de las cargas internas adicionales que surgen por enfriamiento o calentamiento del mismo. Si un pilote en condiciones ideales de movimiento y deformación libre es calentado, reaccionará expandiendo proporcionalmente a la variación térmica en función de su coeficiente de dilatación o expansión térmica.

De igual manera, si este pilote con libertad absoluta de movimiento y deformación es enfriado, tenderá a contraerse de forma proporcional a la variación térmica según el mismo coeficiente. En ambos casos, la libertad absoluta de deformación hace que no se genere ningún tipo de tensión. Si el pilote está libre tanto en pie como en cabeza y se puede deformar libremente, no estará sometido a ningún tipo de tensión. Si, por el contrario, se encontrara constreñido en cabeza o en punta por la presencia de una carga mecánica o de un nivel geológico resistente, la restricción de movimiento hace que se generen en el interior del pilote cargas internas extensivas o compresivas según el caso, de origen meramente térmico.

Éste es un modelo básico en el que a priori sólo se considera la posibilidad de existencia o ausencia de una carga mecánica sobre el pilote al que, adicionalmente, se somete a procesos de enfriamiento y calentamiento, este modelo se puede complicar incorporando fenómenos de interacción entre el pilote y el terreno en la superficie de contacto, así como variaciones de los parámetros geotécnicos con la temperatura, tanto en el pilote como en los materiales geológicos que lo rodean. El estado saturado o no saturado del terreno puede ser otro factor importante en términos de variaciones de la presión intersticial (presión en exceso sobre la presión atmosférica), y por tanto del estado tensional efectivo como consecuencia de la variación de temperatura.

2.2.21 Análisis Sostenible

En un entorno como el actual en el que resulta crucial aumentar la utilización de energías renovables y desarrollar un crecimiento demográfico y urbanístico más sostenible, la utilización de elementos estructurales de edificios u obras civiles como partes de un sistema de explotación geotérmica somera (ligeramente), abre un amplio abanico de posibilidades en el ámbito de la eficiencia energética. En algunos países europeos como Alemania, Inglaterra, Suiza o Austria ya se ejecutan obras con elementos termoactivos que permiten aprovechar la energía almacenada en el subsuelo. Sin embargo, la práctica de este tipo de estructuras no ha ido acompañada de una investigación que justifique un correcto dimensionamiento, diseño, ejecución y explotación, sino que se ha optado por asumir que el funcionamiento térmico no afecta al comportamiento estructural o se ha sobredimensionado el coeficiente de seguridad para garantizar un correcto funcionamiento a largo plazo, a costa de un incremento del costo de ejecución.

Es por ello que siendo conscientes de la necesidad de investigación en este campo, son todavía escasos los estudios realizados hasta el momento. Gracias a éstos, se ha recopilado una serie de conocimientos sobre el comportamiento termo-activo de elementos de cimentación, que han hecho posible crear un modelo básico susceptible de aumentar los conocimientos en este tema, hacer lo más amplio y complejo a medida que se vayan incrementando las experiencias y los datos en ensayos experimentales como el que se ofrece en este trabajo de grado.

Centrándose en los pilotes, resulta necesaria una mayor investigación que permita tener en cuenta debidamente los efectos térmicos en el diseño estructural de los elementos de cimentación, y se incluyan en las correspondientes normativas y códigos de construcción venezolano: En primer lugar, es importante evaluar los efectos a corto, medio y largo plazo de las cargas termo-mecánicas en las cimentaciones termo-activas, la evolución de los estados tenso-deformacionales con la profundidad, las propiedades geotécnicas del terreno circundante y la variación de temperatura, como ya han sido medidos y descritos por Laloui, et al. (2006) y Bourne-Webb, et al. (2009).

Por ejemplo, los ensayos realizados hasta el momento indican que en cimentaciones de pequeño tamaño y en condiciones operacionales de temperatura normal, las tensiones cíclicas generadas en el fuste se encuentran dentro del límite elástico. Sin embargo, los ciclos de enfriamiento y calentamiento pueden dar lugar a una disminución acumulada de la resistencia por fuste si el suelo no se recupera con la cimentación durante el enfriamiento, esta afirmación no ha sido ampliamente estudiada hasta el momento. Aunque las evidencias disponibles hasta el momento parecen apuntar a que la capacidad portante de los pilotes no se ve afectada de forma adversa por los ciclos térmicos a los que se ve sometido, resulta de vital importancia evitar que el pilote se congele. Es decir, ello añade condicionantes en el diseño de este tipo de estructuras. En cuanto a los esfuerzos y deformaciones en el hormigón, los ensayos realizados hasta el momento evidencian que las tensiones axiales originadas por las alternancias de expansión - contracción debidas al calentamiento y enfriamiento del pilote se mantienen dentro de los límites aceptables para el hormigón (Laloui et al., 2006). De hecho, los mismos ensayos ofrecen un coeficiente de expansión térmica sin restricciones de $8,5 \cdot 10^{-6}$ m/m/°C. Usando este dato, un aumento de 10°C en un pilote de 13 m de longitud sufriría una expansión térmica sin restricciones de 1 mm.

Por ende, los movimientos del pilote debidos a cambios de temperatura deberían ser tenidos en cuenta junto con los movimientos debidos a las cargas mecánicas, para evaluar los límites aceptables de diseño. El terreno que rodea al pilote se puede ver también afectado por las variaciones térmicas producto de la explotación geotérmica. Los ciclos térmicos de calentamiento y enfriamiento pueden causar contracción y expansión del volumen del suelo y dar lugar a cambios en las tensiones horizontales totales del terreno.

Además, en función de la permeabilidad del material geológico y su capacidad de disipar (hacer desaparecer) las presiones intersticiales generadas por el aumento de temperatura, se pueden producir flujos hidráulicos en función de gradientes (variación de una magnitud en función de la distancia) térmicos o aumentos de presiones intersticiales y, por tanto, habrá disminución de tensiones efectivas. Este efecto puede

dar lugar a reducciones en la fricción superficial del pilote, o la reducción del volumen del suelo, que a su vez puede producir efectos de fricción negativa en suelos normalmente consolidados.

¿Qué se entiende por sostenible según Esquivel (2006)?

La capacidad del término “sostenible” para calificar procesos de desarrollo, se deriva más de su alcance implícito que de su contenido lingüístico como tal. Su raíz latina se encuentra en *susteneire*, con significado básico de sostener, sustentar, mantener, pero en el que también se encuentran aspectos de soportar, tolerar, llevar, que son más afines al uso del término en inglés “sustainable”. Por ambiguo que sea el término sostenible, su idea clave se basa en la noción de “sostenibilidad” como característica de un proceso que puede mantenerse indefinidamente. Y su fundamento viene dado por el concepto de equilibrio en relación a las capacidades y limitaciones existentes.

La búsqueda entre las capacidades y limitaciones existentes se cumple sólo si:

1. Existe una sostenibilidad económica cuya actividad de producción hace financieramente posible y rentable la sostenibilidad social y ambiental,
2. Cuando se desarrolla una sostenibilidad social que trabaja en la búsqueda de objetivos comunes en beneficio de todos los individuos que forman parte activa de la comunidad,
3. Surge una sostenibilidad ambiental, entendida como una compatibilidad entre la sostenibilidad social y económica, actuando en beneficio de la preservación del medio ambiente, erradicando el consumo excesivo y la explotación de los recursos renovables.

El desarrollo sostenible también hace referencia a la idea de límites. Desde 1950 los habitantes del planeta han consumido más bienes y servicios que todas las generaciones anteriores. Ahora se plantean catástrofes que estaban lejos de ser una fuerte preocupación para las mismas, sea por ignorancia o porque la tecnología no se había desarrollado lo suficiente.

En esta nueva era, como los tiempos han cambiado y la velocidad de desarrollo tecnológico ha aumentado rápidamente, se hizo necesario idear nuevos conceptos integradores que integraron apropiadamente el desarrollo de estrategias que llevaron a promover la formulación de nuevos caminos orientados a disminuir el impacto ambiental inherente (que permanece unido) a la construcción. Contribuyendo de esta forma, a la mejora activa del medio ambiente, evolucionando hacia un hábitat sostenible en la consecución (acción de conseguir) de una mejor calidad de vida.

2.3 Bases Legales

En la normativa vigente en Venezuela lo que respecta al diseño de cimentaciones no está del todo desarrollada, por lo cual será necesaria la utilización de normativas internacionales con la finalidad de obtener los requerimientos básicos para el diseño. En el capítulo 15 de la norma venezolana FONDONORMA 1753:2006-R “Proyecto y construcción de Obras en Concreto Estructural” basada en el ACI 318-11 “Building Code Requirements for Structural Concrete”, se establecen los estados límites y requisitos generales de **emplazamiento y arriostramiento**, así mismo hace mención a que el área de la base de la zapata o el número y distribución de los pilotes, se determinará con las solicitaciones de servicio provenientes de la estructura y que deben ser transmitidas al terreno con la condición de no exceder la capacidad del suelo o la de los pilotes determinadas según los principios de la Mecánica de los Suelos.

Así pues, para el chequeo de estabilidad en la norma COVENIN –MINDUR 2002:88. Criterio de acciones mínimas para el proyecto de edificaciones, en la sección 7.3.1, se establecen los factores de seguridad al volcamiento y deslizamiento para el cálculo de la capacidad admisible. En lo que se refiere al diseño Sismoresistente en el capítulo 11 de la norma 1756-2001. Edificaciones Sismoresistente, se indica que las zapatas deben resistir las solicitaciones mayoradas en condiciones sísmicas y postsísmicas. Las secciones críticas para el diseño por corte se establecen la sección 15.5 de mencionada norma FONDONORMA 1753-2006-R, así como algunas especificaciones del detalle de acero de refuerzo en zapatas.

Adicionalmente esta investigación se apoyó en la norma colombiana NSR-10. Reglamento Internacional para construcción de cimentaciones resistentes, en el título H, donde se establecen los procedimientos para la determinación de propiedades de los suelos, así como también se establecen requerimientos de armado y determinación de presiones de contacto en zapatas para distintas condiciones de excentricidad, lo cual servirá de base para el entendimiento del diseño y obtención de cuantías de acero y concreto de los elementos de que conforman el sistema de fundación, siendo esto parte de los objetivos planteados.

En este orden de ideas se indican los códigos que sirvieron de apoyo a la presente investigación:

· **Nacionales**

- COVENIN-MINDUR 1756:2001-1 “Edificaciones Cimentaciones Profundas. Articulado”.
- COVENIN-MINDUR 1756:2001-2 “Edificaciones Sismorresistentes. Comentarios”.
- FONDONORMA 1753:2006-R “Proyecto Estructural para edificaciones en concreto armado”.
- COVENIN-MINDUR 2002:88-R “Criterio de Acciones Mínimas para proyectos de edificaciones”.

· **Internacionales**

- ACI 318-11 “Building Code Requirements for Structural Concrete”.
- NSR-10. Reglamento Internacional para Construcción Sismoresistente.

El Marco Legal que rige la formulación y evaluación del presente estudio de factibilidad, se encuentra conformado por las siguientes leyes y normativas.

1. **Ley Orgánica del Ambiente.** Tiene por objeto definir las disposiciones y los principios rectores para la correcta gestión del ambiente, partiendo del concepto de desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad en la contribución por la seguridad y el máximo

bienestar de la población y del sostenimiento del planeta, actuando siempre en interés de la humanidad, estableciendo normas que desarrollan garantías y derechos constitucionales para un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, 2006).

2. **Ley de Bosques y Gestión Forestal.** Establece los principios y las normas para la conservación, protección y uso sustentable de los bosques y todos aquellos componentes de naturaleza forestal, en beneficio de las generaciones actuales y futuras, atendiendo al interés social, ambiental y económico de la Nación. La aplicación de dicha ley se encuentra orientada a los ecosistemas y recursos naturales que integran el patrimonio forestal del país; así como también a la gestión orientada a su conservación y el desarrollo forestal sustentable. (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, 2006).
3. **Ley Penal del Ambiente.** Contempla todas las disposiciones relativas a la violación de la conservación, la defensa y la mejora del medio ambiente, estableciendo las sanciones penales correspondientes. Del mismo modo, determina las medidas precautelativas concernientes a la restitución y las reparaciones que, en virtud de lo acontecido, sean necesarias realizar para minimizar el posible daño ocasionado al ecosistema.
4. **Normas Covenin (Comisión Venezolana de Normas Industriales).** Normas estándares de calidad, donde se describen los procedimientos a seguir en una actividad determinada, éstas son aprobadas por un comité especial que las somete a pruebas y evaluaciones antes de ser publicadas.
5. **Código Eléctrico Nacional.** Manual referencial elaborado con el propósito de salvaguardar la integridad de las personas de los peligrosos asociados al uso de energía eléctrica, estableciendo las reglas mínimas para la instalación segura de conductores y equipos.

6. **Normas Sanitarias.** Contiene las disposiciones correspondientes al adecuado dimensionamiento de cuartos sanitarios, las áreas tributarias normadas para las piezas sanitarias, según sea el caso; la definición de las especificaciones técnicas para el diseño de la aducción de aguas blancas, de la disposición y tratamiento de las aguas servidas y los drenajes de aguas de lluvia.
7. **Instrumento de Evaluación de Viviendas de Interés Social.** Define lineamientos organizativos y dimensiones efectivas que garantizan que las actividades que se desarrollan en los recintos propios de viviendas de este tipo, se puedan efectuar adecuadamente tanto desde el punto de visto funcional como afectivo.

La Sismo-resistencia es una especialidad que, ejercida con creatividad y destreza en el manejo de los conocimientos, hace posible el estudio del comportamiento estructural de las edificaciones en zonas sísmicas, el cual plantea un complejo esquema de fuerzas que actúan en tres dimensiones y que tienen un flujo horizontal y vertical. Este flujo de fuerzas está condicionado, por supuesto, a la ubicación y tamaño de los elementos componentes de la edificación, sean o no estructurales, y puede verse obstaculizado al interrumpirse un elemento constructivo o al establecerse un cambio brusco de sección.

Lograda una estructura con estos principios, con la continuidad descrita, podrá la edificación como un todo, soportar los efectos consecuentes de un terremoto en forma armónica; las cargas se distribuirán a través de sus partes en la forma prevista y cada elemento componente realizará la fracción de trabajo que le corresponda. En cambio, si la trabazón mecánica de las partes o elementos estructurales es deficiente, o no integran líneas de resistencia, la acción del terremoto se manifestará separadamente sobre cada uno de ellos, en forma proporcional a sus masas, lo que se traduce en un peligro evidente.

Los edificios sismo-resistentes deben soportar las fuerzas que se prescriben en nuestras NORMAS sin colapsar; aún cuando puedan ocurrir en ellos algunos daños

tanto estructurales como no estructurales. En la mayor parte de las estructuras se espera que el daño estructural, en un terremoto mayor que el considerado en nuestras NORMAS, pueda ser limitado a un daño reparable.

Importancia de las normas sísmicas

Las normas sísmicas tienen el objetivo de proporcionar recomendaciones y lineamientos para el diseño de edificaciones seguras ante la ocurrencia de movimientos sísmicos. Las normas constituyen una manera de sistematizar la incorporación del conocimiento en la práctica ingenieril. Es una vía esquemática de plasmar los avances del conocimiento en temas relacionados con la amenaza sísmica, la respuesta y vulnerabilidad estructural, en una compilación de reglas, un código que puede ser utilizado en la práctica profesional, por ingenieros y calculistas, deseablemente de manera simple y clara. Es por ello que, a medida que el conocimiento va avanzando, las normas requieren revisión, actualización y renovación periódica, a fin de mantener su aplicabilidad. En América Latina, ya desde los años 40 del siglo XX, se pusieron en práctica ciertas previsiones para el diseño sísmico. Para los años 50, ya se elaboraban mapas con datos de sismicidad histórica en algunos países de la región. A finales de la década de los 80, la mayoría de los países de la región contaban con normas o requisitos formales de diseño sismorresistente de edificaciones. Actualmente, la revisión y actualización de las normas vigentes es una tarea continua que deben realizar los distintos países de la región.

Sin embargo, las fortalezas institucionales, el desarrollo de las normas y la efectividad con que se aplican, difieren de un país a otro. La situación es muy variable en la región, y en numerosos países, todavía la información disponible para determinar la amenaza sísmica es escasa y/o poco confiable. Comenzando el siglo XXI, muchos países enfrentan la necesaria tarea de actualizar sus normas y adaptarlas a los avances del conocimiento, a los procesos de innovación en la industria de la construcción, el uso de nuevos materiales y tecnologías, las recientes transformaciones en la filosofía del diseño de la ingeniería y las herramientas de cálculo, entre otros aspectos que cambian rápidamente. En general, las normas sísmicas de edificaciones incluyen

recomendaciones para el análisis, diseño y construcción de estructuras de pórticos, de muros o de combinaciones de estos sistemas, en los materiales más usuales como acero, concreto reforzado, mampostería y madera. Este alcance puede ser cubierto en un solo documento normativo o en varias normas diferentes. También, las normas deberían incluir disposiciones para el diseño de fundaciones y elementos no estructurales, pero no en todos los países se regulan estos aspectos.

Es de hacer notar que, además de las normas para edificaciones, los países disponen de normas sísmicas de otros tipos, por ejemplo relacionadas específicamente con puentes, instalaciones eléctricas, viviendas, estructuras especiales, componentes estructurales, entre otras muchas normas que pueden mencionarse. Cuando se examina la situación regional, resaltan deficiencias generalizadas en casi todos los países, particularmente en relación a la disponibilidad de normativas específicas destinadas a reglamentar el análisis y diseño sísmico de puentes, represas y túneles. Cabe comentar que, en Costa Rica, se ha publicado recientemente un documento que incluye lineamientos para el diseño sísmico de puentes y su rehabilitación, y que puede servir de base para el desarrollo de normas o recomendaciones en otros países de la región.

Es por ello que en Venezuela existe un rezago importante, con respecto a otros países de la región, en cuanto al desarrollo y actualización de la normativa sísmica. La norma de diseño sísmico de edificaciones vigente es la norma COVENIN 1756-1:2001, titulada “EDIFICACIONES SISMORRESISTENTES”, aprobada por el Consejo Superior de Fondonorma (Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad), el 25 de julio de 2001. Esta norma es de aplicación obligatoria y de utilización corriente en el país, para el diseño de estructuras de concreto armado y de acero. No existen en el país normas para edificaciones de mampostería o prefabricados, y muchas veces se extiende erróneamente el uso de la citada norma 1756, a este tipo de estructuras. En algunos casos, para resolver aspectos particulares que escapan al alcance de la citada Norma COVENIN vigente desde 2001, los ingenieros recurren a normas y especificaciones propias de la industria petrolera e instalaciones de líneas de extra-alta tensión. En otros casos, los ingenieros utilizan normas extranjeras. Cabe mencionar

que, recientemente, Funvisis ha emprendido la actualización de la norma COVENIN 1756-1:2001, que en muchos aspectos se encuentra ya obsoleta. En este trabajo se presenta una contribución en el tema de la revisión y actualización de las normativas sísmicas vigentes, tanto en Venezuela como en otros países de la región: se comentan aspectos de las normativas de Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Perú y República Dominicana.

Así mismo, debido a la influencia que las normativas de Estados Unidos han tenido sobre el desarrollo de la ingeniería sísmica en América Latina, se han incluido también algunos comentarios sobre las normas de Estados Unidos. En particular, el trabajo se centra en la discusión de las normativas para el análisis y diseño sísmico de edificaciones.

Análisis FODA

El análisis FODA consiste en realizar una evaluación de los factores fuertes y débiles que en su conjunto diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa; es decir, las oportunidades y amenazas. También es una herramienta que puede considerarse sencilla y permite obtener una perspectiva general de la situación estratégica de una organización determinada. **Thompson (1998)** establece que “el análisis FODA estima el hecho que una estrategia tiene que lograr un equilibrio o ajuste entre la capacidad interna de la organización y su situación de carácter externo”; es decir, las oportunidades y amenazas. Es una herramienta que nos permite evaluar la situación actual de nuestra empresa o idea de negocio, lo que nos permite tener un diagnóstico para poder tomar una serie de decisiones que vayan conforme a los objetivos que tenemos definido en nuestra empresa o idea de negocio.

La palabra FODA significa Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, de las cuales las fortalezas y debilidades son interna de nuestra empresa o idea, mientras que las oportunidades y amenazas son externas.

1. **Fortalezas:** son las características especiales con las cuales cuenta nuestra idea o empresa frente a las demás empresas.

2. **Oportunidades:** son los factores que favorecen a nuestra empresa en el entorno en que esta se desarrolla.
3. **Debilidades:** son aquellos factores que afectan nuestra idea o negocio, frente a nuestros competidores.
4. **Amenazas:** son aquellos factores que provienen de nuestro entorno y que pueden afectar nuestro negocio.

Es importante a la hora de emprender un negocio hacer un análisis FODA a su idea para saber que medidas tiene que tomar.

Oportunidades y Amenazas.

En esta parte debemos considerar:

1. **Análisis del entorno:** Estructura del negocio como son: proveedores, canales de distribución, clientes, mercados y competidores.
2. **Grupos de interés:** Es el público al cual nuestros servicios van dirigidos por ejemplo: gobierno, instituciones públicas, sindicatos, gremios y comunidad.

Fortalezas y debilidades.

En esta parte debemos considerar:

1. **Análisis de recursos:** En esta parte debemos considerar capital de trabajo, recursos humanos con que contamos y los activos fijos y no tangibles.
2. **Análisis de riesgos:** En esta etapa debemos considerar los riesgos económicos que puede involucrar la actividad económica que realizamos.
3. **Análisis de actividades:** Aquí consideramos los recursos estratégicos y la creatividad con que cuenta nuestra propuesta de trabajo.

El análisis FODA lo enfocamos en los factores que son claves para que nuestro negocio tenga éxito.

2.4 Definición de Términos Básicos

AASHTO: La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials, es un órgano que establece normas, publica

especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas, es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos.

Análisis: Dentro de la investigación, es el proceso que consiste en la realización de los procedimientos a los que el investigador deberá someter la información recabada con la finalidad de alcanzar los objetivos que el estudio se propone.

Arcilla: Es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato.

Arena: Es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño.

Cajones de cimentaciones: Son cimientos de grandes dimensiones, de sección transversal hueca, que se hacen penetrar a través de los estratos débiles o compresibles del suelo, para apoyar sobre el terreno firme, y dar adecuado soporte a las construcciones de proyectos de gran envergadura.

Caloportador: En las Instalaciones de los edificios se denomina caloportador al fluido que transporta, por conducciones, calor de un lugar a otro. Normalmente se lleva por un circuito cerrado, de modo que, una vez ha cedido parte del calor lleva por vuelve al calentador para reiniciar el ciclo.

Capa freática: es una acumulación de agua subterránea que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo.

Cimentación: conjunto de elementos estructurales de una estructura encargada de transmitir todas las cargas o elementos apoyados al suelo. Distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. La cimentación es importante porque es el grupo de elementos que soportan a la superestructura. La estabilidad de una edificación depende en gran medida del tipo de terreno sobre el que se asienta.

Construcción: Es el arte o técnica de fabricar edificios e infraestructuras.

Diseño: Es la integración de requisitos técnicos, sociales y económicos, necesidades biológicas.

Diseño estructural de las cimentaciones: Representa la frontera y unión del diseño estructural y la mecánica de suelos.

Edificaciones: Son obras que diseña, planifica y ejecuta el ser humano en diferentes espacios, tamaños y formas, en la mayoría de los casos para habitarlas o usarlas como espacios de resguardo.

Energía Geotérmica: La energía geotérmica se define como la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra y procede de la energía acumulada en el núcleo de la tierra.

Estructura. En construcción, es el nombre que recibe el conjunto de elementos, unidos, ensamblados o conectados entre sí, que tienen la función de recibir cargas, soportar esfuerzos y transmitir esas cargas al suelo, garantizando así la función estático - resistente de la construcción.

Excavación: Cavidad o hueco hecho en el suelo natural extrayendo la tierra. Acción y efecto de excavar.

Factibilidad: Se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados. Generalmente la factibilidad se determina sobre un proyecto.

FODA: significa Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas, de las cuales las fortalezas y debilidades son interna de nuestra empresa o idea, mientras que las oportunidades y amenazas son externas.

Grano Fino: Son materiales de grano fino los inferiores a 60 micras.

Grano Grueso: Son materiales de suelos granulares a aquellos que tienen un 65% más de partículas de tamaño mayor a 0,06 mm.

Grava: Son las rocas formadas por clastos de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros. Pueden ser producidas por el ser humano.

Heladicidad: Propiedad o grado que posee un material o elemento constructivo para helarse fácilmente. También se define como la pérdida de las propiedades físicas y mecánicas que experimentan las rocas después de estar sometidas a cambios bruscos de temperatura.

Licuefacción: Fenómeno por el cual los suelos no cohesivos sueltos o las arcillas sensibles pueden sufrir una súbita pérdida de resistencia en una gran porción de su masa, por causa de una vibración, un impacto o un elevado esfuerzo cortante localizado, y adquieren un cierto grado de movilidad por desplazamiento de sus partículas.

Limos: Es un sedimento clásico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados.

Micropilotes: Son pilotes de pequeño diámetro de perforación.

Muros pantallas: Es un muro de contención que se construye antes de efectuar el vaciado de tierras, y transmite los esfuerzos del terreno. Estos elementos subterráneos se emplean también en forma temporal para la contención y retención de paredes.

Constituyen un tipo de cimentación profunda muy usada en edificios de altura, y que brinda muchas ventajas por ahorro de costos y mayor desarrollo en superficies.

Orgánico: Es materia elaborada de compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural.

Pilares: Son elementos alargados, normalmente verticales, destinado a recibir cargas (de compresión principalmente) para transmitir las al terreno mediante la cimentación.

Pilotes: Son miembros estructurales de gran esbeltez, con sección transversal circular o poligonal, que penetran en los suelos de baja capacidad portante, a fin de transmitir las cargas a niveles más profundos del subsuelo. Los pilotes pueden clasificarse de diferentes formas, según: el material usado, la forma de ejecución y colocación, la capacidad resistente, el tipo de trabajo, la forma de su sección transversal, la altura alcanzada, el perfil longitudinal.

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

Suelo: Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre él.

Suelos Cohesivos: Son aquellos constituidos por partículas muy pequeñas donde predominan efectos electroquímicos superficiales, las partículas tienden a juntarse (interacción agua-partícula). Suelos plásticos (arcillas).

Suelos Granulares: Las partículas de suelo no tienden a juntarse ni adherirse, predomina la fricción, sus partículas son relativamente grandes, también conocidos como suelos no cohesivos (arenas, gravas).

Uso: Seguir la moda o la costumbre del momento.

Zapatas: Es un tipo de cimentación superficial (normalmente aislada), que puede ser empleada en terrenos razonablemente homogéneos y de resistencias a compresiones medias o altas. Su función es transmitir al terreno las tensiones a que está sometida el resto de la estructura y anclarla.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

El marco Metodológico explica Arias, Fideas (2006), que es un “Conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas” (p.16). Este método se basa en la formulación de hipótesis las cuales pueden ser confirmadas o descartadas por medios de investigaciones relacionadas al problema, pues de esta depende la estrategia de investigación.

3.1 Tipo de la Investigación

El tipo de investigación se refiere al esquema general o marco estratégico que le da unidad, coherencia, secuencia y sentido práctico a todas las actividades que se emprenden para buscar respuesta a un problema y objetivos planteados. Por lo tanto la Investigación es de tipo Evaluativa, según Hurtado, Jaqueline. (2006):

“La investigación evaluativa es aquella que analiza la estructura, el funcionamiento y los resultados de un programa con el fin de proporcionar información de la cual se puedan derivar criterios útiles para la toma de decisiones con respecto a la administración y desarrollo del programa evaluado” (p.365 - 366).

3.2 Diseño de Investigación

Según Balestrini (2002, p.9), los proyectos factibles “son aquellos proyectos o investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad o problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer.” es aquella en la que prácticamente no se manipulan las variables independientes (causas), en algunos casos algunas de ellas, para analizar las consecuencias de la manipulación sobre alguna variables dependientes (efectos).

Sin embargo, Hurtado, Jaqueline (2006). Los proyectos factibles consisten en la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un análisis, como

solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras, es decir, con bases en los resultados de un proceso investigativo. (p.47)

De lo antes mencionado, se puede señalar que ésta investigación es un proyecto factible o proyectivo, en cuanto consiste en analizar la factibilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela.

3.3 Nivel de Investigación

Según Hernández, Fernández y Batista (2006) la investigación es de tipo descriptiva, lo cual se logra al detallar y describir el fenómeno de interés mediante el estudio de variables, que en este caso permitirán determinar el diseño óptimo del sistema de fundación variando la rigidez de los elementos para varias condiciones de suelo.

3.4 Técnica e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la obtención de los datos fue necesario utilizar distintos instrumentos de recolección, como lo define Sabino, C. (1992): “Un instrumento de recolección de datos, en un principio es cualquier recurso del que se vale un investigador para acercarse a fenómenos y extraer de ellos información” (p.143). En este sentido, se utilizaron diversas técnicas de recolección de datos, para poder cumplir con los objetivos definidos en el presente estudio y poder analizar con mayor certeza la factibilidad del mismo .

Como técnica empleada se puede hacer mención de:

- **Observación directa:** en primer lugar, como técnica de recolección de información se utilizó la observación directa, como lo expresa Sabino, C. (1992): “La observación directa puede definirse como el uso sistemático de nuestros sentidos, en la búsqueda de datos que necesitamos para resolver un problema de investigación”. (p.124).

- **Revisión literaria:** a través de la revisión literaria, se obtendrá toda la teoría con respecto al tema y la interpretación de lo que se conseguirá por la observación directa, necesario para que mediante un análisis se puedan establecer conclusiones adecuadas. Además, esta técnica permitirá extraer las bases teóricas, legales y los antecedentes del problema de investigación, sirviendo como herramientas documentales que sustenten el trabajo propuesto, como lo expresa Tamayo, M. (2012): La Revisión Literaria, es el fundamento de la parte teórica de la investigación, y permite conocer a nivel documental las investigaciones relacionadas con el problema planteado. Presenta la teoría del problema aplicada a casos y circunstancias concretas y similares a las que se investiga. (p.125).

3.5 Técnicas de Análisis e Interpretación de los Datos

Una vez hecha la recopilación de datos, se pasa al análisis e interpretación para responder a la pregunta de la investigación. De acuerdo a lo indicado por Yáber, G. y Valarino, E. (2010) “Las técnicas de análisis de información empleadas pueden clasificarse en cualitativas y cuantitativas”. En este caso para interpretación de datos se hizo un análisis de tipo cualitativo, ya que los datos obtenidos se expresaron de manera teórica, generando análisis e interpretación. Los tipos de cimentaciones representan el diseño del sistema de cimentación con el fin de que lleven a dar respuesta al análisis planteado.

3.6 Fases de la Investigación

Fase I: Diagnosticar la viabilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas.

En esta fase inicial se conoció la ubicación geográfica de Venezuela para analizar sus tipos de suelos, grado de sismicidad según la zona, lo cual complementó información necesaria para determinar las características de los mismos, y de esta manera, se pudo dar un diagnóstico a través del Análisis Estratégico de la “Matriz FODA” (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), y así determinar la viabilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela.

Fases II: Identificar los parámetros y variables que deberán considerarse en el diseño de cimentaciones profundas termoactivas.

Para llevar a acabo esta fase, se hizo una revisión bibliográfica donde se da a conocer los tipos de suelos en Venezuela y las necesidades de uso de energía no tradicional.

Fase III: Evaluar sistemas de cimentaciones profundas termoactivas que pueden ser utilizadas en la construcción de edificaciones.

Aquí se analizaron las condiciones del terreno que debían ser consideradas para que sus edificaciones no se asienten, a través de investigaciones recientes sobre los sistemas de cimentaciones profundas.

Fase IV: Verificar la factibilidad tecno-económico del uso de cimentaciones profundas termoactivas para el aprovechamiento de energía geotérmica.

Ésta última fase presenta las conclusiones finales y las recomendaciones respecto a la investigación. Una vez obtenida los usos en la fase anterior, en esta se hará un análisis de factibilidad tecno-económico en la construcción de cimentaciones profundas termoactivas. Con el fin de hallar el uso recomendable para diseño que sea de utilidad para los proyectistas.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A travez de esta investigacion se puede decir que debido a la sobrepoblacion que actualmente vive Venezuela y el poco espacio disponible, se estan construyendo edificios de gran altura, es por eso que la ingenieria Geotecnica esta obligada a desarrollar y diseñar sistemas de cimentaciones que puedan soportar grandes cargas generadas por las edificaciones ademas de tener en cuenta el tipo de suelo donde son construidos. Es asi que el diseño estructural de cimentaciones con Pilotes resulta una alternativa importantes en la tarea de brindar sostenibilidad y resistencia a la edificacion.

Por consiguiente, las consecuencias de no realizar este tipo de investigacion puede generar problemas en el futuro con las edificaciones modernas , en el puesto que puedan estar construidos con circunstancias no apropiadas las cuales pueden aumentar la vulnerabilidad de la estructura, exponiendo asi en riezgo la vida del ser humano.

Ademas Venezuela está sujeta a la acción de amenazas naturales y tecnológicas, como aludes torrenciales, inundaciones, deslizamientos, terremotos e incendios, eventos que sumados a las limitaciones de la planificación territorial y de la construcción popular, conllevan la posibilidad de que ocurran desastres. Los desastres son la materialización del riesgo que se construye socialmente. Decir que “los desastres son naturales” es algo erróneo. Para que haya un desastre no sólo es necesario que se presente el desbordamiento de un río, un deslizamiento de tierra o un terremoto, sino también que existan construcciones que se puedan inundar, tapiar o que no cumplan con exigencias sismorresistentes.

Vivimos en un entorno donde pasan muchos fenómenos dede el punto de vista ambiental, los cuales sirven de ayuda para entender la naturaleza del sitio donde nosotros decidimos construir nuestras edificaciones, construir nuestras ciudades y

realizar todo lo que es emplazamiento de ciudades (ubicación o el establecimiento geográfico o físico). En estos sitios pueden originarse algunos fenómenos ambientales como el fenómeno del niño (es un patrón climático recurrente que implica cambios en la temperatura de las aguas en la parte central y oriental del Pacífico tropical), la producción de huracanes, t-sunamis o eventos que pueden desbarrar gran cantidad de la población.

Es por ello que debemos entender el entorno donde decidimos realizar nuestras edificaciones. De igual forma existen otros tipos de fenómenos que nos son provocados por la naturaleza, como las explosiones nucleares, entre otros. Como ingenieros civiles (estructurales), debemos evitar que las edificaciones se caigan, evitar pérdidas económicas, de vidas, evitar debilidades estructurales, para ello es necesario entender el comportamiento global de las edificaciones. Es por ello que en esta área de la ingeniería civil, se ha avanzado mucho en países desarrollados, con nuevas tecnologías que mejoran los rendimientos y reducen costos de construcción, como es el método de las cimentaciones profundas, por lo que resulta interesante realizar un análisis del mismo.

En el capítulo IV que se presenta a continuación, se expondrán la viabilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas, junto con imágenes ilustrativas explicando cada una de ellas, también se menciona las tecnologías que se usan a la hora de construir este tipo de estructuras, los parámetros y variables que deberán considerarse en el diseño de cimentaciones profundas termoactivas con sus fases de ejecución. En el mismo capítulo estarán presentes tanto los sistemas de cimentaciones profundas termoactivas que pueden ser utilizadas en la construcción de edificaciones, como la factibilidad tecno-económico de la misma para el aprovechamiento de energía geotérmica, para así poder entender cómo se realizan estos tipos de estructuras en la construcción. Esto nos llevó a plantearles una solución viable tanto en el aspecto tecnológico como económico en el uso de cimentaciones profundas termoactivas, las cuales se presentan a continuación.

4.1 Fases de la Investigación

4.1.1 Fase I: Diagnosticar la viabilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas.

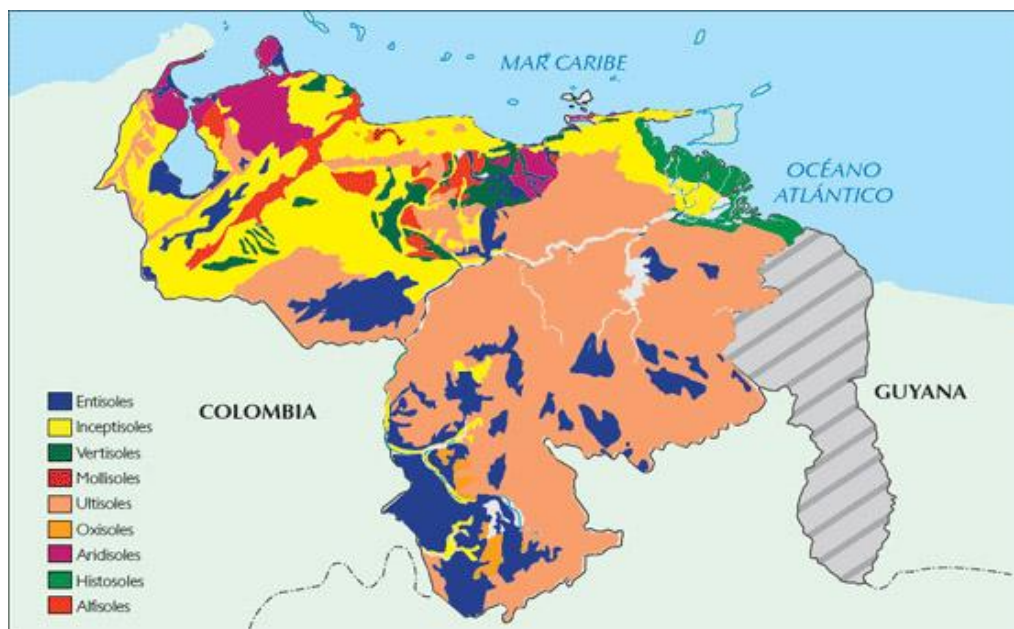
Como primera fase, se realizó una inspección de la ubicación Geográfica del presente trabajo, se buscó bibliografía referente a los tipos de suelos que en Venezuela existen, imágenes donde se observó el mapa de la zona de ubicación y zona sísmica de Venezuela, métodos para el diseño de cimentaciones más comunes, y procesos constructivos. La información fue recopilada de textos académicos, publicaciones en revistas, páginas web, las cuales fueron herramientas útiles para dar un diagnóstico a través del Análisis Estratégico “Matriz FODA” (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas). La matriz FODA genera estrategias específicas para la Carrera de Ingeniería Civil, donde de la combinación de los cuatro cuadrantes conformado por los factores externos e internos nos facilitará realizar un análisis ordenado para determinar estrategias por cuadrantes.

En esta inspección se observó que existen varios **tipos de suelos en Venezuela**, los cuales no están distribuidos uniformemente y su reparto es variado a lo largo y ancho del país. Aunque Venezuela se localiza en la zona intertropical y la formación de sus suelos responde al clima correspondiente a su latitud, no posee en todas sus regiones el mismo tipo de suelo.

4.1.1.1 Ubicación geográfica y tipos de suelos

Venezuela está ubicada al norte de América del Sur. Su límite está muy cerca de la línea del Ecuador terrestre, por lo tanto, forma parte de la zona intertropical. Sus límites geográficos son: Mar Caribe (norte), Colombia y Brasil (sur), Guyana (este) y Colombia (oeste).

Figura 7 Tipos de suelos en Venezuela.



Fuente: <https://www.lifeder.com/tipos-suelos-venezuela>.

En la imagen anterior se muestra, que normalmente los suelos de las costas se encuentran conformados por arenas y gravas; se caracterizan por presentar una alta porosidad y permeabilidad, reteniendo poca agua. Del mismo modo, presentan baja capacidad de carga y elevada deformabilidad, produciendo asientos elevados del suelo. Para este tipo de suelos se recomiendan los emparrillados o losas de fundación; recogiendo todos los elementos estructurales de la edificación para distribuir uniformemente la presión unitaria ejercida por dichos elementos sobre la máxima anchura de la cimentación. Este tipo de cimentación se empleará preferiblemente para reducir los asientos diferenciales en terrenos heterogéneos, o cuando exista una variabilidad importante de cargas entre apoyos cercanos .

Ya teniendo estos conocimientos, se llegó a concluir que lograda una estructura con estos principios, con la continuidad descrita, podrá la edificación como un todo, soportar los efectos consecuentes de un terremoto en forma armónica; las cargas se distribuirán a través de sus partes en la forma prevista y cada elemento componente realizará la fracción de trabajo que le corresponda. En cambio, si la trabazón mecánica

de las partes o elementos estructurales es deficiente, o no integran líneas de resistencia, la acción del terremoto se manifestará separadamente sobre cada uno de ellos, en forma proporcional a sus masas, lo que se traduce en un peligro evidente.

Los desastres son la materialización del riesgo que se construye socialmente. Decir que “los desastres son naturales” es algo erróneo. Para que haya un desastre no sólo es necesario que se presente el desbordamiento de un río, un deslizamiento de tierra o un terremoto, sino también que existan construcciones que se puedan inundar, tapiar o que no cumplan con exigencias sismorresistentes.

En otras palabras, un desastre se presenta no solamente cuando un evento natural ocurre sino cuando asentamientos humanos u otros bienes de la sociedad están expuestos a dichos eventos peligrosos y cuando, además, presentan niveles de vulnerabilidad adversos. Dicha vulnerabilidad es el resultado de actividades humanas y por esta razón los desastres son más fenómenos sociales que sucesos naturales.

Según FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas), un sismo es un rompimiento repentino de las rocas en el interior de la Tierra. Esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno. Estos movimientos son originados debido a que la capa más superficial de la Tierra, denominada litósfera que es rígida y compuesta por material que puede fracturarse al ejercer una fuerza sobre él, y forma un rompecabezas llamado Placas Tectónicas.

En la actualidad, aproximadamente un 80% de la población vive en zonas de alta amenaza sísmica, variable que aumenta el nivel de riesgo.

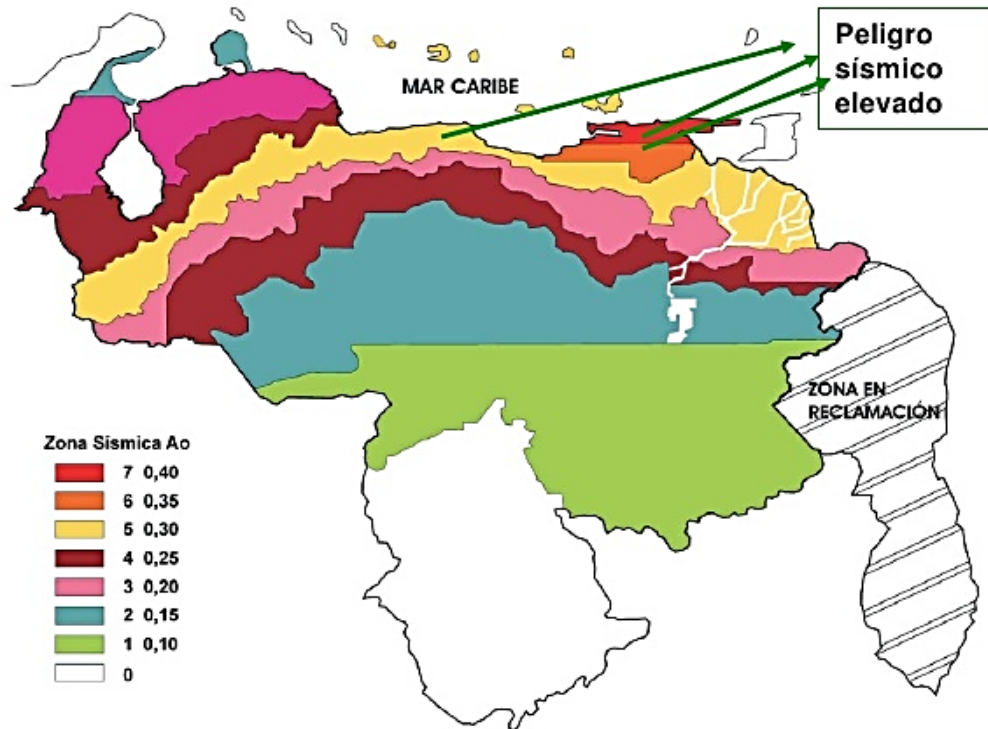
Figura 8 Zonificación sísmica de Venezuela.



Fuente: <https://www.lifeder.com/tipos-suelos-venezuela/>

Hay que insistir en que la estimación de la respuesta estructural sísmica de los edificios, no sólo es fruto de la aplicación de lo pautado en los códigos o normas y su posterior análisis, haciendo uso de un programa predeterminado en una computadora; se trata de algo más complejo, de saber intuir y deducir el comportamiento de la edificación, conociendo como se deben repartir las solicitaciones entre los diferentes elementos que la componen, como es su interacción, y que ductilidad se espera en su comportamiento, como actúan los elementos no estructurales, tales como las paredes divisorias de mampostería que se encuentran unidas a la estructura, ya que de las observaciones realizadas en sismos recientes, se comprobó que estas paredes son elementos que pueden alterar el comportamiento estructural de la edificación y siendo elementos rígidos pero frágiles, pueden presentar fallas que comprometen, además, las áreas de escape de la edificación.

Figura 9 Grado de zona sísmica de Venezuela.



Fuente: <https://www.funvivilis.gob.ve>

Una consecuencia importante del mapa de Zonificación Sísmica (ver figura 8) es la elaboración, en base a sus resultados, de Normas de Construcción Sismorresistente (2001) adecuadas a la realidad sísmica de Venezuela. La resistencia sísmica de una estructura desarrollada por los ingenieros siguen las instrucciones de la norma de acuerdo al grado de amenaza de la región. Idealmente, todas las estructuras construidas en nuestro país deberían estar sujetas a la norma COVENIN 1756-1:2001, titulada “Edificaciones Sismorresistentes”. La última actualización de la Norma de Construcción Sismorresistente se llevó a cabo en el año 2001.

Para puntualizar aún más lo antes expuesto y dar un diagnóstico óptimo donde se detalle de manera clara y concisa las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, que genera al implementar el uso de cimentaciones profundas termoactivas y analizar su viabilidad, se usó un Análisis Estratégico denominado “Matriz FODA”.

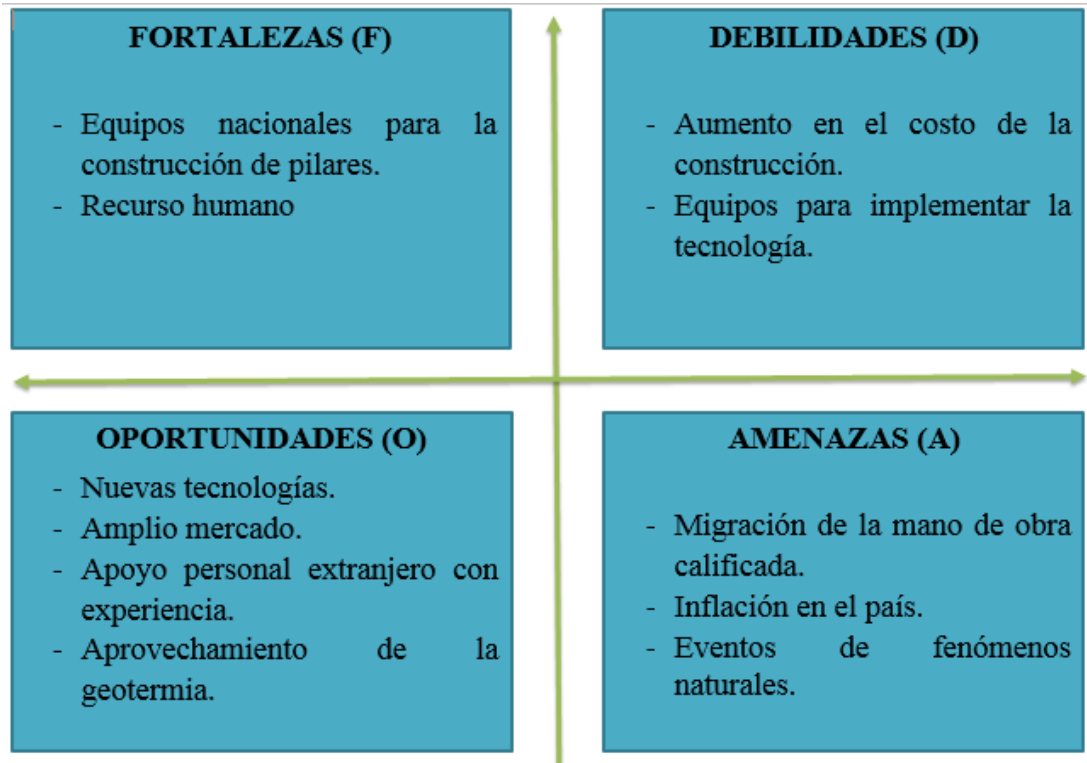
Este método consiste en detallar los factores internos, los cuales dependen de uno mismo y podemos cambiar como lo son fortalezas y debilidades, y a su vez los factores externos (oportunidades, amenazas), los cuales no dependen de uno y se pueden generar. Fue de mucha importancia conocer dichos factores, ya que es lo esencial para poder aplicar esta metodología antes mencionada y llegar a un óptimo análisis.

Ya detallados los factores internos y externos (ver figura 10), se plasman en una matriz (cuadro referencial donde se pueden entrelazar los factores antes mencionados), y de esta manera tratar de mitigar los efectos negativos que este diseño de cimentaciones profundas termoactivas pudiesen generar. Es por ello que una vez realizados los pasos anteriores se procede a concluir (diagnóstico), analizando los factores y decir si la implantación de la tecnología en estudios es viable o no para la construcción de edificaciones en Venezuela. (Ver cuadro 1).

Esta metodología es común en grandes corporaciones y es muy confiable si se aplica de manera correcta, ya que a través de ella se puede conocer con exactitud si llevar adelante el proyecto es satisfactorio o no.

A continuación se muestra los factores internos y externos para el análisis del uso de cimentaciones profundas termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela. (Ver figura 10).

Figura 10. Factores internos y externos



Fuente: Vargas y Ocanto (2020)

Como paso siguiente se llevo a cabo el diseño de la Matriz FODA, para interpretar estos factores de la manera más óptima. (Ver cuadro 1)

Análisis de factibilidad del uso de cimentaciones profundas termoactivas en la construcción de edificaciones en Venezuela

Cuadro 1. Matriz FODA uso de cimentaciones profundas termoactivas

<p style="text-align: center;">FACTORES INTERNOS</p> <p>FACTORES EXTERNOS</p>	<p>FORTALEZAS. (F)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipos nacionales - Recurso humano 	<p>DEBILIDADES. (D)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo de la construcción - Equipos - No capacitación del recurso humano
<p>OPORTUNIDADES. (O)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nuevas tecnologías - Amplio mercado - Personal extranjero con experiencia - Aprovechamiento de energía geotérmica 	<p>ESTRATEGIAS – FO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Innovar en el aprovechamiento de energía geotérmica - Obtener equipos con nueva tecnología 	<p>ESTRATEGIAS – DO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Obtener equipos de tecnología avanzada a mediano y largo plazo - Capacitar al personal nacional con la mano de obra extranjera
<p>AMENAZAS. (A)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Migración, mano de obra - Situación país - Eventos de fenómenos naturales 	<p>ESTRATEGIAS – FA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecer bonificaciones extras al recurso humano para mitigar la migración - No se cuenta con la experiencia, mano de obra calificada, materiales y equipos para el desarrollo del proyecto 	<p>ESTRATEGIAS – DA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Venezuela no posee el mismo tipo de suelo en toda la región - Aumento en el costo del proyecto - A través de empresas implementar cursos de capacitación a personas en cuanto al diseño y ejecución de esta tecnología

Fuente: Vargas y Ocanto (2020)

4.1.2 Fases II: Identificar los parámetros y variables que deberán considerarse en el diseño de cimentaciones profundas termoactivas.

Para llevar a acabo esta fase, se hizo una revisión bibliográfica donde se da a conocer los tipos de suelos en Venezuela y las necesidades de uso de energía no tradicional.

Tipos de suelos

Venezuela posee una gran variedad de suelos producto, entre otros factores de la diversidad de climas, relieves, rocas y especies vegetales que la caracterizan. Esta variedad proporciona muchas potencialidades para el desarrollo de actividades como la construcción. Sin embargo, para realizarlas con éxito y con un menor impacto ambiental, es necesario elegir suelos con las características adecuadas.

Por tal motivo, se han realizado en el país numerosos estudios para establecer su caracterización. Venezuela cuenta con 9 tipos de los 12 tipos de suelos contemplados. Éstos son: entisoles, inceptisoles, vertisoles, mollisoles, ultisoles, oxisoles, ardisoles, histosoles y alfisoles.

- **Entisoles:** son suelos más jóvenes . Generalmente presentan sólo un horizonte, el «A», cuya composición es muy parecida al material rocoso que le dio origen y sobre el cual descansa. Aunque no es un tipo de suelo predominante en Venezuela, su distribución es amplia. Se presentan en los siguientes estados: Zulia, Lara, Falcón, Yaracuy, Portuguesa, Barinas, Apure, Carabobo, Miranda, Aragua, Guarico, Anzoategui, Monagas y Delta Amacuro.
- **Inceptisoles:** son un poco menos jóvenes que los entisoles y con un desarrollo incipiente (iniciándose), de horizontes. No presentan acumulación de materia orgánica, hierro o arcilla, son unos de los suelos más abundantes de Venezuela. Están presentes en la parte noroccidental del país y en algunos estados orientales como: Sucre, Monagas y Delta Amacuro.
- **Vertisoles:** Presentan alto contenido de arcilla, formando grietas durante las épocas secas, las cuales se llenan cuando llueven. Esto se debe a que la arcilla

se contrae al secarse y se expande con la humedad. Dicha característica genera inestabilidad a las edificaciones y se asientan. Son suelos menos numerosos que los inceptisoles y entisoles, pero están concentrados en extensas zonas del estado Guárico. También se presentan en Yaracuy, Falcón, Lara, Barinas, Portuguesa y Anzoátegui.

- **Mollisoles:** Son suelos con buen desarrollo de horizontes. Su capa superficial (horizonte «A») es profunda y tiene gran concentración de materia orgánica y nutrientes, por lo que poseen alta fertilidad. Se encuentran en los estados Aragua, Carabobo, en los alrededores del Lago de Valencia. Son los menos numerosos del país.
- **Ultisoles:** son suelos arcillosos y ácidos (pH bajo), de fertilidad escasa. Ocupan un porcentaje mayor del territorio que cualquier otro tipo. Se encuentran en los estados Apure, Guárico, Anzoátegui, Monagas, Zulia y Cojedes, y abarcan la mayor parte de los estados Bolívar y Amazonas.
- **Oxisoles:** son suelos con el más avanzado desarrollo de horizontes de las regiones intertropicales. Sus componentes como el cuarzo y la caolinita (mineral tipo silicato), son muy resistentes a la meteorización. Son pobres en arcilla y materia orgánica. Se encuentran principalmente en el estado Amazonas. También se presentan en el estado Carabobo.
- **Aridisoles:** estos constituyen los suelos de las regiones áridas y semiáridas, con poca disponibilidad de agua, por lo cual sus nutrientes químicos se encuentran en abundancia. Tienen muy poca concentración de materia orgánica, ocupando extensas áreas del estado Lara y el norte de Zulia y Falcón. También se presentan en Anzoátegui, Guárico y Sucre.
- **Histosoles:** se caracterizan por ser suelos gruesos, con alta concentración de materia orgánica, retienen el agua por mucho tiempo. La mayoría son ácidos y prácticamente carecen de nutrientes minerales. Su uso para la construcción es restringido, dado que sobre los suelos húmedos las estructuras tienden a

hundirse. Se encuentran en el litoral deltaico del estado Delta Amacuro y ocupan mayor parte de esa entidad.

- **Alfisoles:** estos están constituídos por la acumulación de arcilla en el horizonte «B». Son de los suelos fértiles más abundantes del planeta. En el país ocupan una porción considerable del territorio. Se presentan en los estados Zulia, Cojedes, Guárico y Portuguesa.

Una vez identificados los tipos de suelos en Venezuela por estados, se detallan a continuación las variables por el cual se debe optar por el diseño de cimentaciones profundas termoactivas.

Necesidades de uso de energía no tradicional

Para nadie es un secreto ya que el ser humano ha impactado gravemente en el clima de la tierra. Gran parte de esta influencia se ha llevado a cabo por el uso de energías no renovables como lo son el carbón y el petróleo.

Las energías no renovables, también conocidas como energías convencionales, son formadas por las fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza, pero de forma ilimitada, se dividen en :

Los combustibles fósiles, suelen ser el carbón, el petróleo y el gas natural.

Los combustibles nucleares, tales como el uranio y el plutonio, así como todos aquellos elementos químicos que sean capaces de producir energía por fisión nuclear.

Este tipo de energías provocan contaminación directa, no sólo liberan gases de efecto invernadero, sino también gases y partículas contaminantes a la atmósfera. La Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), estima que unos 8 millones de personas mueren anualmente por la contaminación del aire.

Otras de sus desventajas son:

- Las energías no renovables son limitadas. Proceden de recursos escasos y que, muchos de ellos, están llegando a su fin.
- Son contaminantes y han provocado graves desastres en el clima y en la historia, como la energía nuclear y el desastre de Chernóbil.

- Son más caras, en otros países. No se ha mejorado la tecnología en décadas haciendo que su eficiencia haya quedado cuestionada y ya no son rentables.

En un entorno como el actual en el que resulta crucial aumentar la utilización de energías renovables y desarrollar un crecimiento demográfico y urbanístico más sostenible, la utilización de elementos estructurales de edificios u obras civiles como partes de un sistema de explotación geotérmica somera (ligeramente), abre un amplio abanico de posibilidades en el ámbito de la eficiencia energética.

Desde el punto de vista energético, y otras estructuras geotécnicas termo-activas, incorporan tecnologías innovadoras que contribuyen a la protección del medioambiente, proporcionando importantes ahorros en los siguientes aspectos: Recursos energéticos, emisiones de CO₂, recursos económicos a mediano y largo plazo.

Desde el punto de vista de ejecución, solo es necesaria la instalación de conducciones (reellenas de fluidos adecuados para la transmisión térmica) en los elementos estructurales convencionales de cimentación y sostenimiento.

Entre las ventajas de utilizar energías renovables se mencionan:

- Las energías renovables son respetuosas con el medioambiente. La mayoría de ellas no producen emisiones CO₂, gases de efecto invernadero u otras emisiones contaminantes a la atmósfera, al contrario que sucede con los combustibles fósiles o renovables. Con estas energías disminuye el efecto invernadero.
- Las energías renovables son ilimitadas. Contrariamente a lo que ocurre con la energía nuclear o los combustibles fósiles, las energías renovables se obtienen de recursos inagotables de la naturaleza y normalmente se puede recurrir permanentemente a ellas.
- Son más seguras para nuestra salud, principalmente porque es más sencillo su desmantelamiento, porque no es necesario que se custodien sus residuos a la hora de finalizar la explotación.

- Las energías renovables sortean la dependencia exterior. Desarrollan la economía de la región, promoviendo su autonomía. Como se captan a partir del aprovechamiento de recursos naturales, y éstos se ubican a lo largo de la superficie del planeta, han permitido a los países desarrollar tecnologías propias, como paneles o placas solares y molinos eólicos, y por supuesto pilotes termoactivas. Es así que al día de hoy, inclusive podemos fabricar energía en nuestras casas.

4.1.3 Fase III: Evaluar sistemas de cimentaciones profundas termoactivas que pueden ser utilizadas en la construcción de edificaciones.

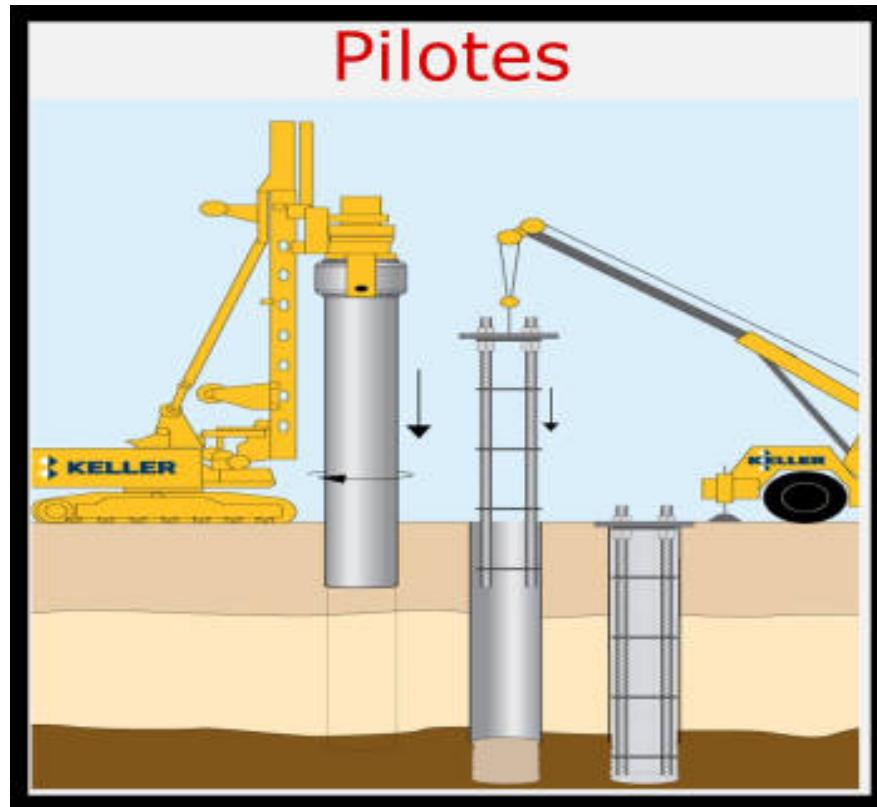
En esta fase se determinó a través de trabajos de investigación, material bibliográficos, como se menciono anteriormente. Estos artículos documentan que han sido conscientes desde hace muchos siglos que las condiciones del terreno debían ser consideradas para que sus edificaciones no se asienten, estos tipos de cimentaciones profundas que se realizan en las construcciones, aquí detallaremos las características de las más usadas en construcción, ya que existen numerosos factores a ser considerados (propiedades del suelo, profundidad de cimentación, ubicación del nivel freático,entre otros).

Las cimentaciones son la base de sustentación de las estructuras, éstas se calculan y diseñan teniendo en cuenta factores como la composición y resistencia del suelo, las cargas de la estructura, factores de sismo y empujes de tierra que se presentan. Todas las cargas de las estructuras se transmiten y se distribuyen en el terreno por medio de las cimentaciones. Los métodos de diseño se basan en el comportamiento del suelo como un medio elástico lineal, aunque en la mayoría de los casos las deformaciones que se presentan son más amplias y no se cumple el comportamiento teórico. Esto se debe a que el suelo se comporta como un material elástico que además tiene fenómenos de Creep y relajación. La revisión bibliografía se realizara para métodos de cimentaciones superficiales y cimentaciones profundas.

Cimentación por pilotes. Se llaman pilotes a aquellas cimentaciones profundas cuyo diámetro no supera los 90 cm. Los pilotes están hechos de materiales como madera, concreto o acero. Hay diferentes tipos de pilotes y estos varían según el tipo de suelo en el que se colocarán. Así, se puede hablar de pilotes aislado, pilotes en suelos granulares, pilotes en suelos cohesivos. En obras en las que se cimentará pilotes se realizan diferentes pruebas, estas son: de carga, de integridad y de tolerancia constructiva.

Los pilotes pre-excavados son el tipo de cimentación más común usada en el ámbito de la construcción. Este sistema consiste en realizar una excavación ya sea manual o por medio de una maquina piloteadora, de diámetro y profundidad establecida por el diseñador estructural. Para los pilotes con excavación por medio de maquinaria y con suelos granulares o cuando se tiene un nivel freático bajo, se hace necesario realizar la estabilización del terreno. Esto se puede lograr por medio de aplicación de lodos bentoníticos (mezcla de bentonita con agua), este lodo se coloca en las paredes del terreno durante la excavación y sirve para evitar o reducir los derrumbes del terreno, y la utilización de una camisa metálica en los estratos de suelo que presenten riesgo de deslizamiento. Una vez se tiene realizada la excavación y esta se encuentra estabilizada se procede a insertar la canasta metálica (acero de refuerzo), para luego fundir el concreto por medio de la tubería Tremie. El funcionamiento de esta tubería de 20 a 30 cm de diámetro consiste en colocar un tubo que baja hasta la parte inferior de la excavación, para luego empezar el bombeo del concreto desde la superficie. Es importante mencionar que el extremo de la tubería queda fija en el fondo de la excavación, por lo que el concreto fluye de abajo hacia arriba. Por la razón antes mencionada, es necesario realizar el descabece del pilote una vez es terminado de fundir, teniendo en cuenta que el concreto está confinado con el material de la perforación. (ver figura 11).

Figura 11. Pilotes



Fuente: <https://es.klrprod.keller.com/en/en/experiencia/tecnicas/pilotes-hincados-hormigonados-situ>

4.1.3.1 Estudios Geotécnicos

- La cantidad suficiente de sondeos y ensayos para conocer las características físicas, mecánicas y químicas del suelo sobre el cual se va a apoyar la construcción.
- La profundidad del sondeo en el nivel de investigación y nivel freático.
- Recomendar el nivel de cimentación y sistema a utilizar.

Para esta investigación se recomienda un sistema con tuberías de Polietileno Reticulado (PEX), ya que son las más económicas para llevar a cabo este proyecto y posee de excelentes propiedades como:

- 1.- Resistencia a temperaturas elevadas (hasta 110°C).

- 2.- Alta resistencia al impacto.
- 3.- Son buenos aislantes.
- 4.- Resisten a los cambios bruscos de temperatura.
- 5.- Permiten una instalación sencilla.

Hay que hacer mención que existen otros sistemas tales como:

- 1.- Polipropileno (PP-R).
 - 2.- Sistemas Multicapa (PER-AL-PER).
- Calcular la presión de contacto a la que se someterá el terreno y los asentamientos esperados.
 - Recomendar algunos procesos constructivos.
 - Con esta información, el ingeniero estructural realiza el diseño de cada elemento de la cimentación (zapatas, vigas, placa, pilotes, etc.)

4.1.3.2 Diseño Estructural

- Aplicación de las normas vigentes para el cálculo estructural.
- Adopción de coeficientes de seguridad.
- Concepción en el comportamiento estructural.
- Concepción en el comportamiento de durabilidad.

En el diseño estructural, si bien para determinar las dimensiones de los elementos se toman en cuenta la capacidad portante del suelo y la resistencia del concreto obtenida por el cálculo estructural, algunas veces no se considera el comportamiento de durabilidad. Es importante hacerlo. COVENIN-MINDUR-10-14 en el capítulo 10-80. – Requisitos de durabilidad, pag. 80 describe que el valor de la resistencia de diseño del concreto f'_c , debe ser el mayor valor obtenido de los siguientes requisitos:

- a. Por C.1.1.1, no debe ser inferior a 17 MPa
- b. Según durabilidad en el capítulo C.4, y
- c. Según los requisitos de resistencia estructural

Adicionalmente, dicta que las mezclas deben ser dosificadas para cumplir con la relación agua – material cementante (a/mc) y otros requisitos basados en la clase de exposición asignada al elemento estructural de concreto.

Muchos suelos de nuestra geografía venezolana contienen sustancias que son nocivas para el elemento de concreto, como las siguientes:

- Las aguas residuales o negras, pueden contener o formar ácidos sulfúrico y sulfuroso, produciendo sulfato cálcico en el concreto, que se precipita como yeso.
- Los suelos que contienen turbas pueden tener sulfuro de hierro, que al oxidarse produce ácido sulfúrico, produciendo sulfato cálcico.
- Las aguas subterráneas, son a veces ligeramente ácidas debido a que contienen bióxido de carbono libre disuelto, o algunos ácidos orgánicos. El ácido carbónico, disuelve la cal del concreto.
- Las aguas blandas, es decir aquellas que tienen pocas impurezas, disuelven los compuestos cálcicos del concreto, degradando la pasta de cemento.
- Suelos con contenidos de sulfato de sodio, potasio, calcio y magnesio que están naturalmente o disueltos en el agua freática, se pueden acumular sobre la superficie del concreto incrementando el riesgo de deterioro por expansión y fisuración .
- Aguas con contenidos de cloruros, que por capilaridad ingresan al concreto, llegan al acero de refuerzo, generando corrosión y la posterior degradación al elemento de concreto.
- Por lo anterior, se debe conocer muy bien el grado de exposición al cual va a estar sometido el concreto para determinar cuál es el tipo de mezcla más recomendable para garantizar la durabilidad del mismo.

Con la construcción de pilotes se evitan edificaciones costosas y volúmenes grandes de cimentación. Los casos se utilizan las Cimentaciones Profundas. Se opta por cimentaciones profundas cuando los esfuerzos transmitidos por el edificio no

pueden ser distribuidos suficientemente a través de una cimentación superficial, y en la solución probable se sobrepasa la capacidad portante del suelo. Cuando el terreno tiende a sufrir grandes variaciones estacionales: por hinchamientos y retracciones.

El inicio de la fase constructiva de una edificación incluye el diseño de una cimentación, movimiento de tierras para la viabilidad y el parcelamiento donde se construirán las mismas, para lo cual se requiere cumplir con las recomendaciones y especificaciones formuladas por un estudio geotécnico, conocido comúnmente como “estudio de suelos”. En tal sentido es importante que tanto los profesionales y técnicos no especialistas en geotecnia como el constructor tengan unos conocimientos mínimos que les permitan entender el referido estudio y poner en práctica las recomendaciones allí contenidas.

En Venezuela, las edificaciones deben cumplir con la Ley , donde se establecen los requisitos mínimos que se deben cumplir las construcciones a nivel estructural y de sismo resistencia ante fuerzas gravitacionales y sísmicas horizontales. Fallas en planeación e infraestructura en las edificaciones. La construcción de edificaciones en Venezuela, en su mayoría, se realiza por autogestión o de manera informal: sin proyecto; sin asistencia técnica; de forma progresiva y, en particular, sin las consideraciones sismorresistentes y geotécnicas necesarias para que dichas construcciones sean seguras ante la ocurrencia de eventos naturales.

Esto ocurre, principalmente, debido a los escasos conocimientos que de la materia tienen los constructores de edificaciones y por la falta de herramientas que brinden a dichos constructores informales orientaciones prácticas, sistematizadas y validadas por los entes rectores en las distintas temáticas. El comportamiento de una cimentación profunda depende, en gran medida, de su construcción. La correcta selección del procedimiento y del equipo de construcción, la calidad de la mano de obra y el control estricto de todo el proceso, son aspectos esenciales en la construcción de una cimentación profunda. La supervisión debe realizarla el proyectista, contando con personal de amplia experiencia en los trabajos de construcción de cimientos

profundos, y que tenga la preparación académica necesaria y suficiente para ver e interpretar lo que ve.

Es necesario que la supervisión sea continua durante toda la construcción, a fin de asegurarse de que las condiciones del subsuelo sean congruentes con la del diseño y que la construcción se lleve a cabo de conformidad con:

- Reconocer procedimientos de construcción eficientes.
- Interpretar correctamente los registros de perforación y de los hincados de pilotes.
- Evaluar adecuadamente las condiciones reales del subsuelo.

4.1.4 Fase IV: Verificar la factibilidad tecno-económico del uso de cimentaciones profundas termoactivas para el aprovechamiento de energía geotérmica.

En esta fase se recopiló información a través de trabajos de investigación referente al proceso constructivo el cual necesita del conocimiento de las técnicas propias de la fabricación, manejo, colocación y curado del concreto, por lo cual para entender los aspectos que pueden afectar la durabilidad. (Ver figura 12). Así mismo se mostró las especificaciones de los materiales.

Figura 12. Durabilidad de las cimentaciones



Fuente: <https://www.360enconcreto.com>

Conforme el costo de las cimentaciones pilotadas y su importancia, surge la necesidad de determinar un número de cimentaciones profundas por pilotes que no

fuese mayor que el necesario para proporcionar seguridad a la estructura; Algunas estructuras resultaron satisfactorias, sin embargo, otras fallaron. El diseño y la construcción de cimentaciones pilotadas es un campo de la mecánica de suelos en la que se requiere el criterio de un ingeniero que no se confíe en el discutible valor de una fórmula y que sepa hacer uso de su experiencia, sentido común e intuición del comportamiento de los materiales. Es por ello que para tener una cabal comprensión del comportamiento de pilotes, se debe conocer todos los tipos de pilotes que se puedan diseñar y los métodos de instalación existentes.

Una instalación geotérmica se compone de una bomba de calor (el corazón del sistema), la cual hace la función de bombear un circuito que obtendrá unas calorías.

La bomba de calor se compone de varias partes:

- **El evaporador:** del evaporador sale el circuito caloportador, el cual baja a profundidades tan largas como el pilote, cumpliendo la función de obtener el calor de la tierra, y una vez obtenido esos 3° o 4° necesarios para este sistema, volverá por otro tubo conductor al evaporador. Luego el evaporador intercambiará ese calor obtenido desde el interior de la tierra, concentrado en el fluido refrigerante, y así el fluido lo que hace es evaporarse, transformándose en gas.
- **Compresor:** su función es succionar el gas refrigerante, y una vez obtenido el gas lo comprime, este proceso hace que aumente de presión y de temperatura en ese punto, ya no se tendrá los 3° o 4° grados iniciales. Quedando con una temperatura suficiente para calentar el circuito de consumo, obtenida esa compresión y ese aumento de temperatura y presión, pasará al condensador.
- **Condensador:** este hace el trabajo más parecido a un acumulador, por medio del cuál partirá el agua.

Al respecto, la incorporación de los intercambiadores de calor en elementos de cimentación permite reducir significativamente los precios de este sistema. Sin embargo, desde el punto de vista geotécnico un inconveniente de lo anterior es la

limitada comprensión del comportamiento termomecánico de estas estructuras y la falta de especificaciones internacionales para su diseño.

Este tipo de instalaciones geotérmicas son las más rentables, ya que reduce considerablemente el consumo energético que se consumiría en climatización, que puede llegar hasta un 40% del consumo de un edificio. Por otra parte, un inconveniente sería que se tendrá que disponer de un mayor capital inicial, comparado con la ejecución de una simple cimentación profunda. Cabe destacar que las cimentaciones termoactivas, desde el punto de vista energético, y otras estructuras geotécnicas termoactivas, incorporan tecnologías innovadoras que contribuyen a la protección del medioambiente, proporcionando importantes ahorros en los siguientes aspectos: Recursos energéticos, emisiones de CO₂, recursos económicos a mediano y largo plazo.

Desde el punto de vista de ejecución, solo es necesaria la instalación de conducciones (reellenas de fluidos adecuados para la transmisión térmica) en los elementos estructurales convencionales de cimentación y sostenimiento.

Para dar respuesta a esta fase, tomando las consideraciones por el jurado calificador de esta investigación, en verificar la factibilidad tecno-económica del uso de cimentaciones profundas termoactivas para el aprovechamiento de energía geotérmica, se realizó un análisis de costos en Venezuela. Dicho análisis comparando el costo que conlleva a implementar este sistema innovador en el país, y la compra de un equipo de aire acondicionado 60.000 BTU para climatizar un ambiente de 100 m², esto junto al gasto en \$ por consumo de kilowatt / h (KWh), que le tocaría pagar a los usuarios que optan por estas opciones.

Es de hacer notar que el país no cuenta con una economía estable y el pago de los servicios es prácticamente gratuito; ya que en muchas locaciones no se paga debido a la falta de instrumentos de medición de KWh, y en otros casos donde si los hay y el gasto de consumo presentado está totalmente desactualizado con la realidad. Es por ello, que se tomó la decisión más adecuada de comparar los gastos en consumos

establecidos en las tarifas eléctricas en algunos países suramericanos como: Brasil, Chile y Perú, y en excepción los Estados Unidos.

Una vez conocidas las mismas, se hizo un promedio, donde dicho valor se tomó como referencia al gasto en consumo que generaría los KWh en nuestro país. (Ver cuadro 2).

Cuadro 2. Estructura de costos KWh

PAÍS	COSTO DE CONSUMO (\$)/kWh	USO	PROMEDIO (\$)/kWh
BRASIL	0.138	RESIDENCIAL	0.167
CHILE	0.187	RESIDENCIAL	
PERÚ	0.195	RESIDENCIAL	
ESTADOS UNIDOS	0.147	RESIDENCIAL	
EL CONSUMO DE UN (1) AIRE ACONDICIONADO DE 60.000 BTU, 780 kWh/MES			

Fuente: Vargas y Ocanto (2020)

Ahora bien, luego de obtener el el gasto en consumo de KWh para Venezuela, se proyecta como ejemplo una edificación destinada a uso residencial, construido en concreto armado. El edificio en cuestión posee siete (7) niveles y por cada nivel cuaro (4) apartamentos de 100 m2 cada uno.

Cuadro 3. Gastos en consumo KWh Venezuela

PAÍS	PROMEDIO EN (\$)/kWh	CONSUMO EN kWh/MES (A/AC 60.000 BTU)	GASTO (\$)/MES/AÑO (VIVIENDA UNIFAMILAR, 100 m2)	
			MENSUAL (\$)	ANUAL (\$)
VENEZUELA	0.167	780	130	1563

--	--	--	--	--

Fuente: Vargas y Ocanto (2020)

Cuadro 4. Comparación costos unidad aire acondicionado y sistema termoactivo

COSTO DEL SISTEMA TERMOACTIVO (€) & COSTO DE UND. DE A/AC DE 60.000 BTU (\$)		
COSTO DE UND. DE A/AC DE 60.000 BTU (\$)		
UND. A/AC DE 60.000 BTU	1400 \$	PROMEDIO
COSTO DEL SISTEMA TERMOACTIVO (€)		
TUBERÍAS DE PLIETILENO RETICULADO	150	ROLLO DE 100 m
BOMBA DE CALOR GEOTERMICA	9,000	PROMEDIO
INSTALACIÓN DEL SISTEMA	3,000	-
MANTENIMIENTO	120	CADA 6 MESES
	TOTAL (€)	12,270
	TASA DE CAMBIO €\$	1.18
	TOTAL (\$)	15,000

Fuente: Vargas y Ocanto (2020)

De la tabla anterior se obtuvo:

Gastos anual de und A/AC 60.000 BTU -----1563 \$

Gasto anual Sistema Térmico -----625 \$

Se hace una regla de tres para calcular el tiempo aproximado en recuperar la inversión si se llega a implementar esta tecnología en una vivienda unifamiliar de 100 m2.

Si una und A/AC gasta 1563 \$----- en 1 año

entonces recuperar 15000 \$ ----- X

Una vez obtenidos los resultados de esta comparación, se determinó que en estos momentos para Venezuela no sería factible llevar a cabo esta tecnología ya que el pago de los servicios es casi gratuito.

Implementar esta tecnología con estos estándares internacionales, quiere decir que al cabo de 9 años se estaría recuperando la inversión inicial, obteniendo 31 años de ganancia aproximadamente, ya que se estima la vida útil de una bomba de calor a 40 años.

Estos rangos en tiempo se calcularon en base al cuadro de costos comparativos presentado para una vivienda unifamiliar.

Plan de mantenimiento para el sistema termoactivo

El mantenimiento se define como las actividades estratégicas realizadas para corregir las fallas presentadas en las instalaciones y equipos de diferentes centros de trabajo. Su función es mantener, reparar y revisar los equipos e instalaciones. Es un conjunto de operaciones necesarias para asegurar el funcionamiento de una instalación de manera constante, con el mejor rendimiento posible, conservando perfectamente la seguridad en el servicio y la defensa del medio ambiente.

Es por ello que, un correcto programa de mantenimiento conlleva a una mayor eficiencia energética, un menor impacto ambiental, una disminución de averías, una reducción en los costos, generando una mayor duración en la vida útil de la instalación. Es de hacer notar que, el costo de operación y mantenimiento de una instalación de pilotes termoactivos con tuberías de polietileno son significativamente bajos, ya que cuando se realiza un óptimo dimensionamiento de dicha instalación, se puede asegurar que el subsuelo actúa como una fuente de inagotable energía.

Los conductos de polietileno se colocan sin ningún tipo de revestimiento (dentro de tuberías de hierro, cobre, entre otros), ya que son sumamente resistentes.

En primer lugar se debe hacer una prueba de presión. Una vez introducidas las tuberías de polietileno junto al acero de refuerzo dentro de la excavación, antes de

proceder a vaciado de concreto en las mismas, se procederá al prugado de las tuberías. Para ello es necesario que la velocidad del agua en la tubería sea como mínimo de 0.6 m/s. Tras el prugado se realiza una prueba de estanqueidad y resistencia an cada conducción termoactiva con las siguientes premisas:

- La presión de la prueba será como mínimo tres (3) veces la presión del servicio y como máximo el 80% de la presión nominal de la tubería.
- El tiempo de duración de la prueba será de una (1) hora.
- La caída de presión máxima admisible será de 3%.

En los primeros minutos de la prueba se esperará a la correcta estabilización del manómetro, presuarizando si en necesario hasta la presión mínima convenida. Una vez vaciado cada pilote se repetirá la prueba.

En el plan de mantenimiento se puede sugerir revisiones e inspecciones protocolizadas por los fabricantes de los equipos, con el fin de minimizar las averías en la instalación y elevar así su funcionamiento y rendimiento en operación. Dentro de las medidas de control se pueden establecer chequeos (mensuales, semestrales, anuales, entre otros). Estas revisiones se recomiendan a las válvulas de cierre y verificar las transmisiones de la bomba, comprobar rigurosamente que las temperaturas de impulsión y retorno se encuentren dentro de un rango de parámetros adecuado para su funcionamiento, entre otros. Conviene también seguir consejos de los fabricantes de los equipos en relación al uso de aceites, refrigerantes o cualquier otro producto que vaya a ser aplicado directamente a la instalación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La mejor propuesta, por costo y manejabilidad es la que incluye tuberías perforadas de varios diámetros, ya que no requiere de maquinarias especializadas y tenemos en nuestro país .
- Se ha determinado que el nivel freático de Venezuela donde existe el suelo adecuado es alto, por lo que las edificaciones construidas sufren asentamientos, fisuras en paredes y losas y desprendimiento de enlucidos por ascensión de humedad capilar.
- Con el estudio realizado se beneficiará gran de la población, obteniendo construcciones de mayor calidad.
- El tipo de cimentación predominante para las construcciones que están construidas en el sector son por Pilotes, por lo que en gran porcentaje con el estudio realizado se ha mantenido este tipo de cimentaciones por ser relativamente manejables en la obra y no encarecen los proyectos.
- Cuando el diseño estructural lo requiera, la excavación para los Pilotes serán Hincados para incrementar el área de esfuerzo del suelo.
- Para poder determinar el tipo de cimentación a utilizar, fue necesario conocer las propiedades y características de cada uno de los suelos encontrados, así como su granulometría y plasticidad.
- Se establecieron los distintos procesos constructivos de cimentación mediante los diferentes métodos utilizados en nuestro país.

- Toda obra de ingeniería debe hacerse cumpliendo la normatividad nacional y las buenas prácticas constructivas requeridas que garanticen la calidad y subsistencia de las edificaciones.
- Los métodos de tipos y construcción de cimentaciones dependen de las condiciones geotécnicas del lugar, tipos de suelo, de factores económicos y de las herramientas utilizadas para su ejecución.
- No es factible implementar esta tecnología por el momento en nuestro país, ya que llevar a cabo la misma aumenta los costos del proyecto debido que las bombas de calor a utilizar se fabrican en el exterior.
- Una vez más no es factible llevar a cabo este tipo de cimentaciones porque la mano de obra calificada no tiene el conocimiento óptimo para realizarlo.

Recomendaciones

- Para hacer el diseño de cimentaciones profundas termoactivas, se recomienda realizar una inspección en el sitio donde se desea ejecutar el proyecto, ya que esto es de gran importancia para garantizar la sostenibilidad y sustentabilidad del mismo. La misma se puede hacer usando como herramienta la siguiente lista de chequeo, ésta deberá dar afirmativa a todas las preguntas planteadas, de lo contrario no se aconseja llevar adelante este tipo de diseño, por lo que no cumple con los parámetros mínimos necesarios para realizar lo. (Ver cuadro 5).

A continuación se muestra como referencia un ejemplo de lo que debería incluir una lista de chequeos para el Diseño de Cimentaciones Profundas Termoactivas:

Cuadro 5. Lista de chequeo

- Marque con una (X) una sola alternativa:

ÍTEMS		Si	No
1.-	¿ El terreno tiende a sufrir grandes variaciones estacionales?		
2.-	¿ El terrenos es de relleno?		

3.-	¿ El terrenos es de baja calidad ?		
4.-	¿ La edificación es sobre el agua ?		
5.-	¿ La edificación está sometida a esfuerzos por viento?		
6.-	¿ Son estructuras que necesitan elementos sometidos a tracción para lograr estabilidad ?		
7.-	¿ El tipo de estructuras requiere de cables o cualquier estructura anclada al suelo ?		
8.-	¿ Requiere cargas inclinadas ?		
9.-	¿ Son recalce (efecto de reparar) de cimientos existentes?		
10.-	¿ El terreno tiene alto nivel de la capa freática ?		
11.-	¿ Es menos costoso la implementación de esta tecnología para climatizar una edificación ?		
12.-	¿ Existe la posibilidad que no hay obstrucción en las tuberías de Polietileno?		
13.-	¿ Existe conocimiento en el país con temas relacionados con la amenaza sísmica, y dar respuesta y vulnerabilidad estructural ?		
14.-	¿ Son de bajos costo la realizacion de cimentaciones profundas termoactivas?		
15.-	¿Se cuenta en el país con maquinarias y personal especializados en la construccion de cimentaciones profundas termoactivas?		

Fuente: Vargas y Ocanto (2020)

- El tiempo entre la excavación de los pilotes no deberá sobrepasar las 4 horas puesto que el nivel freático se acumula ostensiblemente, dificultando las tareas de los obreros.
- El mejoramiento del suelo deberá realizarse con material granular.

- La planificación de la exploración del subsuelo deberá realizarse en base a sondeos con el propósito de conocer las condiciones naturales en las que se encuentra el terreno donde se pretende construir, dicha exploración se llevará a cabo según el tipo de obra, se recomienda que la cantidad y profundidad de los sondeos sean propuestos por el ingeniero de suelos.
- Se sugiere que los profesionales, ingenieros civiles que se dedican a la construcción de cimentaciones, cuenten con los equipos, accesorios y mano de obra calificada para garantizar la calidad de los procesos constructivos de la cimentación.
- Sería conveniente que los entes reguladores de la construcción en nuestro país, tales como municipios, ministerios, etc., capaciten a los obreros para que los proyectos de construcción, cuenten con una mejor mano de obra calificada.
- Es importante respetar con las normas de diseño constructivas de nuestro país tales como las normas COVENIN relacionadas a las cimentaciones y de requerir otras normas adicionales, basarse en las normas MINDUR 1753 actualizada.
- En los estudios anteriores se puede observar proceso de construcción de cimentaciones profundas, es necesario resaltar la participación del profesional o los profesionales inspectores, como vigilantes y garantes de la obra que se ejecuta, respetando las directrices emanadas de los proyectos y especificaciones resultantes del proceso del diseño. El profesional, en este caso, tiene que entender y comprender que en sus manos está la posibilidad de ejecutar la obra de manera tal que cumpla con todas las hipótesis establecidas en el proceso del diseño. No es lo tradicional, pero se impone la necesidad de la participación del equipo de diseño en este proceso, en calidad de supervisores y asesores del equipo de inspección. Indudablemente, que de acuerdo a la magnitud de la obra esta participación tendrá mayor o menor intensidad. De esta manera se asegura, además, la corrección de cualquier

aspecto imprevisto o resuelto en forma inconveniente para cumplir con las hipótesis establecidas en el diseño, o se da cabida a la formulación de alternativas que mejoren los resultados previstos.

REFERENCIAS

- Arias, Fidias (2006). **El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica.** (5°. edición). Caracas, Venezuela.
- Auvinet, G. (2017). **Técnica Alternativa Para la Precarga del Suelo.** Nota Técnica del Instituto de Ingeniería al Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México. México.
- Auvinet, G., E. Méndez y M. Juárez (2017). **El Subsuelo de la Ciudad de México. vol. iii,** (Complemento a la Tercera Edición del Libro de R. J. Marsal y M. Mazari relativo a los avances en el conocimiento del subsuelo en el periodo 1959-2016.) México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Auvinet, G., y J. F. Rodríguez-Rebolledo (2017). **Criteria for the Design of Friction Piles Subjected to Negative Skin Friction and Transient Loads.** Ingeniería, Investigación y Tecnología (3) xviii: 279-29L
- Balestrini (2002). **Como elaborar un Proyecto de Investigación** (Sexta Edición) Servicio Editorial. Edificio Catuche.
- Boënnec, O. (2009). **Piling on The Energy.** GeorDrilling International.

- Bourne-Webb (2009). **Energy Pile Test. Geotechnical and Thermodynamic Aspects of Pile Response to Heat Cycles.** Geotechnique 59(3): 237-48. Lambeth College, London.
- Brandl, H. (2006). **Energy Foundations and other thermo-active ground structures.** Geotechnique 59(2), 81-122.
- Braja M., Das (2001). **Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Clasificación de los Suelos.** Copyright. Thomson Editores, S.A.
- Cabrera, E. (2016). **Estudio Comparativo de Cimentaciones Aisladas en la Ciudad de Cuenca Diseñadas por el Método de la Presión Admisible con los Obtenidos Aplicando el Método de los Estados Límites.** Cuenca. Ecuador.
- Calavera, J. (1991). **Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios.** (2da edición). Madrid.
- Calvo, C. (2008). **Estudio de Factibilidad para la Construcción de un Prototipo de Vivienda para las Comunidades Pesqueras del Estado Nueva Esparta.** Venezuela.
- Casagrande (1927). **Diseña Dispositivo Mecánico para Eliminar los Errores e la Determinación de Límite Líquido en la Consistencia del Suelo, Determinado por Atterberg.**
- Celis & Villacis. (2018). **La zonificación en Base a la Capacidad Portante y Demás Características del Suelo en la Localidad de Shamboyacu Provincia de Picota Región San Martín.** Provincia Picota. Shamboyacu. Perú.

- Fratelli, María G. (1993). **Suelos, Fundaciones y Muros**. Copyright. Caracas, Venezuela.
- Hernández, R., Fernández, C. Batista, P. (2006). **Metodología de la Investigación**. (3era edición). México.
- Hurtado, Jaqueline (2006). **El Proyecto de la Investigación**. (4ta. Edición) Pie de Imprenta Bogotá, Colombia.
- Laloui et. al (2006). **Experimental and Numerical Investigations of The Behaviour**. Japón.
- Mazariegos et. al (2009). **Pilotes y Pantallas Termoactivas. Ingeniería Civil**. 156,3-20.
- Meirhans. (1993). **Cimentación Termoactiva una Tecnología Prometedora para la Reducción del Consumo de Energía y para Mejora del Confort Térmico de los Ocupantes**. Madrid.
- Moya, G. (2015). **Estudio y Análisis del Comportamiento Estructural de Cimentaciones Superficiales por Efectos de Consolidación del Suelo de Fundación, Según la Metodología Propuesta por la Norma Ecuatoriana de la Construcción**.
- Navas (2008). **Fundamento de la Investigación Documental**. Metodología de la Investigación Virtual. Urbe.edu/ tesis pub/ cap. 03. Universidad del Zulia.
- Ninanya, J. (2018). **Evaluación de la capacidad de carga de pilotes excavados en arcillas**.

- Olesen et al. (2002-2006). **Cimentación Termoactiva una Tecnología Prometedora para la Reducción del Consumo de Energía y para Mejora del Confort Térmico de los Ocupantes.** Madrid.
- Ouyang, E (2011). **Analysis of Energy Pile Test.** Geo-Frontiers 2011.ASCE Geotechnical special publication 21: 440-449. Lambeth College
- Pérez, G., Alexis (2002). **Guía Metodológica para Anteproyectos de Investigación.** (1° edición). Caracas, Venezuela. Editor: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (FEDUPEL).
- Quispe & Mamani. (2017). **Estudio de Suelos para Cimentaciones de Edificaciones en la Zona de Alto Locumba del Distrito de Locumba –Provincia Jorge Basadre, Departamento de Tacna.**
- Sabino, C. (1992). **El proceso de Investigación.** Editorial Panapo. Caracas, Venezuela.
- Sunkel, O. (2010). **Desarrollo y Crecimiento Inclusivo.** Chile
- Sunkel, O. (1967). **Desarrollo y Dependencia Externa.** Chile.
- Tamayo, M. (2012). **El Proceso de la Investigación Científica.** (5° ed.). México: Limusa S.A.
- Thompson, A. (1998). **Dirección y Administración Estratégicas. Conceptos, casos y lectura.** México: McGraw-Hill interamericana.
- Vásconez, F. (1987). **Programa Para el Análisis y Diseño de Losas de Cimentación.** Ambato, Ecuador.

Yaber, G. y Valarino, E. (2010). **Metodología de la Investigación: Paso a Paso.** (1era edición). Editorial Trillas, México.

Whitlow, R. (1994). **Fundamentos de Mecánica de Suelos.** (2da edición). México. Editorial Continental.

https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos

<http://es.wikipedia.org/wiki/cimentaci3n>

http://es.wikipedia.org/wiki/c3digo_t3cnico_de_la_edificaci3n

<http://html.rincondelvago.com/cimentacion.html>

http://html.rincondelvago.com/cimentacion_pilotaje_construccion.htm

www.construmatica.com