

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Parametrización de los resultados de las pruebas PIT (Pile Integrated Testing)

Maicol David Sierra Perdomo

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Directora del proyecto de grado:

Hebenly Celis Leguizamo

Ingeniera Civil – M. Sc.

Codirector

Carlos Eduardo Ruiz Navarro

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2020

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### **Agradecimientos**

En primera instancia quisiera dar gracias a mi familia y a cada una de las personas que durante este proceso de formación aportaron su grano de arena para verme surgir. En segunda instancia agradecer a la empresa *Ker Ingeniería* por su apoyo en este proyecto y la buena disposición de sus integrantes, de igual forma agradezco a mi directora de grado y a cada uno de los profesores que estuvieron durante mi recorrido universitario aportándome formación tanto profesional como personal.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

**Tabla de Contenido**

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Introducción .....                     | 10          |
| 1. Objetivos .....                     | 12          |
| 1.1 Objetivo General .....             | 12          |
| 1.2 Objetivos Específicos.....         | 12          |
| 2. Marco Teórico.....                  | 13          |
| 2.1 Pruebas de Integridad.....         | 13          |
| 2.1.1. Funcionamiento.....             | 14          |
| 2.1.2 Impedancia.....                  | 15          |
| 2.1.3 Influencia del Suelo .....       | 16          |
| 2.1.4 Relación L/D.....                | 16          |
| 2.2 Método de Análisis .....           | 17          |
| 3. Metodología .....                   | 19          |
| 3.1. Recopilación de información ..... | 19          |
| 3.1.1. Características propias .....   | 19          |
| 3.1.2 Establecer Parámetros.....       | 19          |
| 3.2 Clasificación por zonas .....      | 20          |
| 3.3 Variación de los Espectros.....    | 21          |
| 3.4. Resultados .....                  | 22          |
| 5. Conclusiones .....                  | 31          |

## PARAMETRIZACIÓN PIT

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 6. Recomendaciones ..... | 32 |
| Referencias.....         | 33 |

## PARAMETRIZACIÓN PIT

**Lista de Tablas**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Tabla 1. Clasificación según la velocidad ultrasónica ..... | 15          |
| Tabla 2. Datos Caracteristicos presentados .....            | 19          |
| <i>Tabla 3. Relación L/D y velocidad .....</i>              | <i>20</i>   |
| <i>Tabla 4. Número de parámetros encontrados .....</i>      | <i>22</i>   |
| Tabla 5. Proyectos que cuentan con estudio de suelos. ....  | 23          |
| Tabla 6. Promedio por capas.....                            | 24          |
| Tabla 7. Número SPT según la profundidad.....               | 29          |

## PARAMETRIZACIÓN PIT

**Lista de Figuras**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| Figura 1. Aplicación de la prueba PIT.....  | 14          |
| Figura 2. Onda con aumento significativo de la impedancia por aumento de sección..... | 17          |
| Figura 3. Aumento de impedancia por empotramiento en roca.....                        | 18          |
| Figura 4. Ubicación geográfica de los proyectos.....                                  | 21          |
| Figura 5. Profundidad contra "N" .....  | 24          |
| Figura 6. Profundidad contra velocidad. Pilote B-14 .....                             | 25          |
| Figura 7. Profundidad contra velocidad de los pilotes seleccionados por zona.....     | 25          |
| Figura 8. Sobreposición del comportamiento de "N" y la velocidad a profundidad. ....  | 26          |
| Figura 9. Espectro1, 300-2400Hz. ....   | 27          |
| Figura 10. Espectro 2, 200-2300Hz. ....   | 27          |
| Figura 11. Espectro 3, 300-2200Hz .....   | 28          |
| Figura 12. Espectro 4, 2500-3300Hz .....  | 28          |
| Figura 13. Espectro 5, 300-2200Hz. ....   | 29          |

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### **Lista de Apéndices**

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Apéndice A. Pruebas Analizadas.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### Resumen

**Título:** Parametrización de los resultados de las pruebas PIT (Pile Integrated Testing)\*

**Autor:** Maicol David Sierra Perdomo\*\*

**Palabras Clave:** Integridad de pilotes, parámetros de falla o defectos, perfil estratigráfico, reflectogramas, impedancia, suelo circundante, onda longitudinal.

### Descripción

La finalidad de las pruebas de integridad de pilotes (PIT), es detectar las fallas o irregularidades del pilote. En este proyecto se busca establecer correlación entre las variables más significativas del pilote que puedan influir en los resultados obtenidos en la prueba. En primera instancia se realizó una recopilación de datos con la información que fue suministrada por la empresa *KER ingeniería*, en la cual se obtuvo datos característicos y propios de los pilotes evaluados, junto con los parámetros de falla o defecto que se presentaran. En segunda instancia, teniendo la recopilación de datos se logró clasificar los pilotes según la zona en la que se encontraba cada proyecto, y según los parámetros que se presentaran en cada uno. Teniendo en cuenta la clasificación por zona, se buscó el estudio de suelos correspondiente para analizar el perfil estratigráfico, para luego apoyarse en los reflectogramas proporcionados por las pruebas, los cuales muestran el comportamiento de la onda longitudinal captada, que permite identificar un aumento y disminución en la impedancia en las zonas donde se genera un cambio de estrato. Permitiendo correlacionar la influencia del suelo circundante alrededor del pilote como la causa de algunas variaciones en la propagación de la onda. Para dar una continuidad en la investigación se recomienda realizar una demostración al extraer muestras de suelo y compararlas con los resultados obtenidos al aplicar la prueba PIT.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela Ingeniería Civil. Directora: Ing. MSc. Hebenly Celis Leguizamo. Codirector: Ing. Carlos Eduardo Ruiz Navarro

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### Abstract

**Title:** Parameterization of PIT test results (Pile Integrated Testing).\*

**Author:** Maicol David Sierra Perdomo \*\*

**Key Words:** Pile integrity, fault or defect parameters, stratigraphic profile, reflectograms, impedance, surrounding soil, longitudinal wave.

### Description

The purpose of pile integrity test (PIT) is to detect pile failures or irregularities. This project seeks to establish a correlation between the most significant variables that can influence the results obtained in the test. In the first instance, a data collection was carried out with the information that was provided by the company *KER Ingeniería*, in which the characteristics and specific data of the valuated piles was obtained, together with the failure or defect parameters that were presented. In the second instance, having the data compilation, it was possible to classify the piles according to the area in which each project was located, and according to the parameters that were presented in each one. Taking into account the classification by zone, the corresponding soil study was sought to analyze the stratigraphic profile, to then rely on the reflectograms provided by test, which show the behavior of longitudinal wave captured, which allows identify an increase and decrease in the impedance in the areas where a stratum change is generated. Allowing to correlate the influence of the surrounding soil around the pilot as the cause of some variations in the propagation of wave. To give continuity the investigation it is recommended to carry out a demonstration by extracting soil samples and comparing them with the results obtained by applying the PIT test.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Mechanical Physics Engineering. Civil Engineering School. Director: Ing. MSc. Hebenly Celis Leguizamo. Codirector: Ing. Carlos Eduardo Ruiz Navarro

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### Introducción

La industria de la construcción día a día se expande, trayendo consigo investigación, en sus métodos, materiales y calidad de estos, para generar seguridad y aprobación en el usuario. Cualquier obra o proyecto que se deba realizar requiere una cimentación, las cuales usualmente se llevan gran porcentaje del dinero destinado, generando una búsqueda de mayor seguridad en cuanto al funcionamiento o estado de los diversos cimientos que se pueden presentar, como lo son los pilotes, en los cuales se realizan pruebas tanto destructivas como no destructivas. Por ejemplo, la prueba de integridad de pilotes (PIT), que permite determinar la variación en las características del concreto a lo largo de un pilote de fundación (determinar fallas o defectos en el hormigonado de pilotes fundidos “in situ”) (Caicedo, 2018).

En este trabajo se pretende analizar los parámetros que puedan influir en la prueba PIT, como lo son las características propias del pilote y el suelo circundante al mismo, basándose en el comportamiento de la onda longitudinal analizada en el software WinSEIR versión 1.3, después de haber ingresado los datos obtenidos en el equipo NDE-360 Platform, que es usado para la toma de datos en campo (Olson Instruments, (2012).

Se inicia realizando la recopilación de datos y a su vez clasificándolos de acuerdo con la zona en que se haya realizado el ensayo, las dimensiones del pilote y la velocidad de reflexión de la onda.

Con la clasificación por zonas de acuerdo con la ciudad en que estuviera, se toma cada proyecto que cuenta con estudio de suelos para extraer el perfil estratigráfico, representativo o el sondeo más cercano al pilote de referencia que se tome.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Se realiza una comparación gráfica entre el comportamiento del número de golpes de la prueba Standard Penetration Test (SPT), la velocidad de la onda y el reflectograma proporcionado por la prueba, con el fin establecer una correlación dada la variación de la impedancia.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### 1. Objetivos

#### 1.1 Objetivo General

Parametrizar los resultados de las pruebas PIT (Pile integrated testing), estableciendo correlaciones entre las diferentes variables que se puedan presentar.

#### 1.2 Objetivos Específicos

- \* Recopilar y clasificar la información obtenida basándose en las variables que inciden en el ensayo.

- \* Analizar las variables en el ensayo y determinar las de mayor incidencia.

- \* Establecer correlación entre las variables más significativas y los resultados del ensayo (impedancia).

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### 2. Marco Teórico

#### 2.1 Pruebas de Integridad

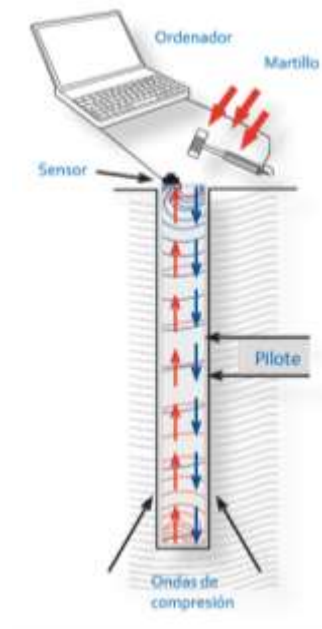
La prueba de integridad de pilotes es un ensayo para determinar la variación de las características del concreto a lo largo de un pilote de fundación, basándose en la normativa presentada por American Society of Testing Materials (ASTM) con especificación D5882, que establece unos parámetros en cuanto a la aplicación de la prueba, más no en el análisis de esta; dicha prueba se basa en la reflexión de la onda longitudinal al encontrar cualquier variación por características del material del pilote (área de sección, peso específico o módulo de elasticidad), por presencia de fricción o resistencia de punta. La onda longitudinal es inducida al aplicar varios golpes secuenciales con un martillo de mano (ver figura 1), para que el equipo registre el promedio de las señales permitiendo un filtro de “interferencias aleatorias”, sobresaliendo así las variaciones causadas por las ondas. La señal resultante recibe el nombre de reflectograma (Brihuega, 2015).

Las reflexiones causan variación en la aceleración medida por el acelerómetro, el cual se fija con un material viscoso, generalmente cera de petróleo en la sección del pilote, dado que para la aplicación de la prueba se necesita de un área de sección y un medio de propagación de la onda; para el caso de pilotes metálicos las secciones suelen ser reducidas y al ser tan pequeña la relación entre el área de la sección y la longitud, la onda se disipa rápidamente, tornando difícil su análisis; para el caso de pilotes prefabricados no es viable el análisis de la prueba, dado que suelen presentar empalmes que generarían una irrupción en la onda, y para pilotes inyectados bajo presión, se genera una gran variación en la impedancia a lo largo del fuste del pilote, que limita o dificulta el

## PARAMETRIZACIÓN PIT

diagnostico. Para el caso de los pilotes fundidos “in situ” es aplicable y dedicada para la detección de fallas en el hormigonado de este (Pellicer, s.f.).

*Figura 1. Aplicación de la prueba PIT.*



Nota: Adaptado de: Solís & Castillo. (2004).

### **2.1.1. Funcionamiento**

El método consiste en estudiar la amplitud de la onda. El tiempo que tarda la señal en reflejarse sobre la discontinuidad o la punta del pilote, permite calcular la distancia “L” (ver Ecuación 1), ente el punto de emisión y el reflejo de la onda vibratoria:

$$T = \frac{2L}{c} \quad (1)$$

Siendo “T” el tiempo que tarda en reflejarse, “L” la longitud de reflejo y “C” la velocidad de la onda.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

La onda se propaga con una velocidad a lo largo del fuste, que depende exclusivamente de las características del material (ver Ecuación 2)

$$C = \sqrt{\frac{E \cdot g}{\gamma}} \quad (2)$$

Donde “E” es el módulo de elasticidad, “g” la aceleración de la gravedad y “ $\gamma$ ” la densidad del material del pilote (Gaviria & Thomson, 2008). De tal forma, se podría clasificar la calidad del concreto según la velocidad ultrasónica (ver Tabla 1), sin tener en cuenta la influencia de los suelos circundantes.

*Tabla 1. Clasificación según la velocidad ultrasónica*

| CONDICIÓN GENERAL | VELOCIDAD [m/s] |
|-------------------|-----------------|
| EXCELENTE         | > 4575          |
| BUENO             | 3660 <V< 4575   |
| CUESTIONABLE      | 3050 <V< 3660   |
| POBRE             | 2125 <V< 3050   |
| MUY POBRE         | < 2125          |

Nota: Adaptado de: Solís & Castillo. (2004).

### 2.1.2 Impedancia

Las reflexiones de la onda se generan al tener cualquier variación por características del material, presencia de fricción, resistencia de punta o la punta del pilote; a dicha variación se le da el nombre de impedancia mecánica, que puede relacionarse a través de la ecuación 3.

$$Z = A * \sqrt{\frac{E \cdot \gamma}{g}} \quad (3)$$

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Siendo “Z” la impedancia y “A” el área de la sección del pilote. La reflexión de la onda dependiendo de su comportamiento, según se presentará más adelante, podrá ser sinónimo de aumento o disminución de la impedancia presentándose en los casos de aumento un empotramiento, un ensanchamiento o un aumento de sección, por el contrario, para una disminución podría estar relacionado con una reducción de área, una inclusión de lodos o una segregación (Gaviria & Thomson, 2008).

### ***2.1.3 Influencia del Suelo***

Los efectos presentados por la fricción del suelo alrededor del fuste del pilote se observan en la señal al incrementar o reducir la impedancia. El suelo a lo largo del eje de pila actúa como un amortiguador y genera una reducción de la energía de onda. La disipación de energía afecta la amplificación de la onda que se refleja, imposibilitando a veces detectar la señal reflejada desde el fondo del pilote (Schellingerhout & Middendorp, 2006).

Las capas de suelo rígidas generan una mayor amortiguación que las capas blandas, lo cual genera que en la transición de una capa suave a una rígida se presenten reflejos similares al de un posible “ensanchamiento” por el aumento de la impedancia, mientras que, de una capa rígida a una suave, se podría interpretar como una disminución de la impedancia (posible “reducción”).

A mayor resistencia del suelo se genera una señal ascendente mientras que una reducción genera una señal descendente (Schellingerhout & Middendorp, 2006).

### ***2.1.4 Relación L/D***

La esbeltez del elemento, dada por la relación longitud/diámetro (L/D), influye en la interpretación de sus datos, dado que para terrenos blandos o sueltos pueden interpretarse bien los

## PARAMETRIZACIÓN PIT

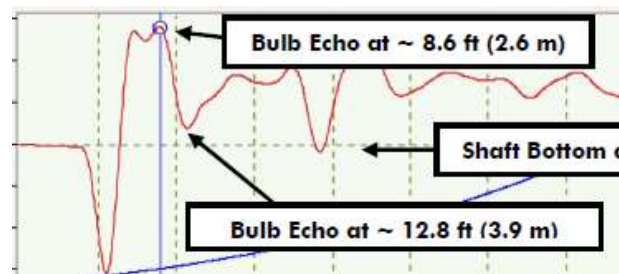
registros de pilotes hasta con relación 30:1 o superiores, pero de ser un terreno rígido, puede ser muy difícil analizar los registros con relaciones incluso inferiores a 20:1 (Santos, 2016).

### 2.2 Método de Análisis

Para el análisis de datos se usa el software WinSEIR, donde se puede apreciar los reflectogramas, y aplicar los filtros correspondientes dependiendo de la zona que se quiera analizar. Se usa normalmente un filtro de paso bajo, con frecuencia de corte establecida entre 400 y 4000Hz. Un corte de baja frecuencia (1000Hz o menos), generará ecos profundos en el fondo, pero enmascarará los ecos poco profundos de los defectos. Un corte de frecuencia más alta permitirá ver los ecos superficiales, pero los ecos superficiales pueden sonar durante un tiempo relativamente largo en el registro y enmascarar los ecos inferiores (Olson Instruments, 2012).

El análisis principalmente se basa en el comportamiento de la onda a criterio del revisor, según el incremento o disminución de la impedancia, que se observe en el reflectograma, como por ejemplo un aumento (ver Figura 2).

*Figura 2. Onda con aumento significativo de la impedancia por aumento de sección*

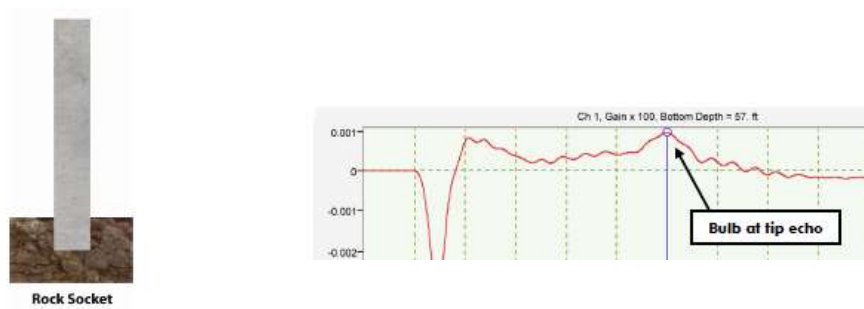


Nota: Adaptado de: Olson Instruments, (2012).

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Para el caso de empotramiento en un estrato competente se puede observar un aumento en la impedancia, pero con un comportamiento distinto de la onda (ver Figura 3).

*Figura 3. Aumento de impedancia por empotramiento en roca*



Nota: Adaptado de: Olson Instruments, (2012).

Con la misma metodología y con distintos comportamientos de onda presentados en el manual de WinSEIR (Olson Instruments, 2012)., se encuentra y se establece la presencia de parámetros como una fisura, una segregación, una reducción de área, entre otros.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

**3. Metodología****3.1. Recopilación de información**

Los datos recopilados de los resultados presentados por la empresa proporcionan información tanto característica y propia del pilote, como de las fallas y defectos que se pudieran encontrar.

En primera instancia, información característica del pilote (ver Tabla 2).

*Tabla 2. Datos Caracteristicos presentados*

| PROYECTO    | LOCALIZACIÓN               | PILOTE         |
|-------------|----------------------------|----------------|
| PROYECTO 21 | BUCARAMANGA<br>- SANTANDER | Pilote<br>191" |
| PROYECTO 21 | BUCARAMANGA<br>- SANTANDER | Pilote<br>194' |

**3.1.1. Características propias**

También se encuentran datos propios del pilote, como lo es su diámetro, resistencia del concreto, y la longitud teórica y construida.

**3.1.2 Establecer Parámetros**

Se establecieron parámetros según la información de fallas y defectos en la onda presentes en el análisis realizado por la empresa.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Siendo:

E.E: Empotramiento en el estrato

R.A: Reducción de área

S.G: Segregación

J: Junta

F: Fisura

I.L: Inclusión de lodos

ENS: Ensanchamiento

Adicionalmente se agregó la velocidad promedio que tardó la onda en realizar su recorrido a través del fuste del pilote y la condición L/D para saber qué tan efectiva podría ser la lectura o interpretación de los datos. Se presenta ejemplo del pilote 191 perteneciente al proyecto 21 (ver Tabla 3).

*Tabla 3. Relación L/D y velocidad*

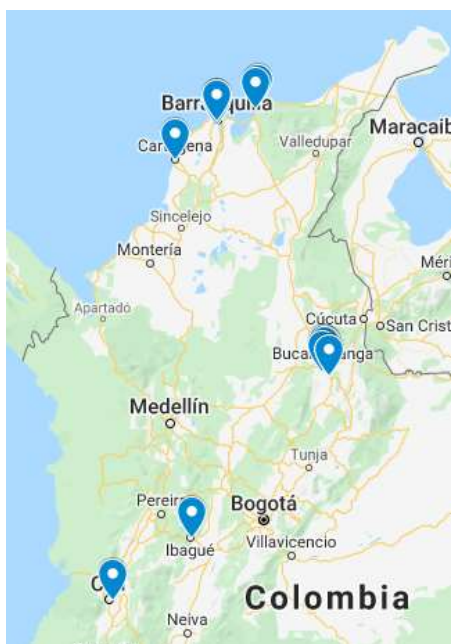
| CONDICIÓN<br>L/D | VELOCIDAD ONDA [m/s] |
|------------------|----------------------|
| 20.00            | 3029                 |
| 20.00            | 3046                 |

### 3.2 Clasificación por zonas

Se procedió a clasificar por zonas de acuerdo con la ciudad en que se encontraba cada proyecto, y como principal requisito tener el estudio de suelos correspondiente para conocer el tipo de suelo circundante del pilote. Se identificó la ubicación geográfica donde se realizaron los proyectos (ver Figura 4).

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Figura 4. Ubicación geográfica de los proyectos.



Nota: Adaptado de: Google maps

Teniendo los estudios de suelos se extrae los perfiles estratigráficos, teniendo en cuenta las zonas de cambio de un estrato a otro para realizar un promedio en la velocidad y el número de golpes (N), por capa.

### 3.3 Variación de los Espectros

Para poder verificar la correlación que hay entre el suelo y el comportamiento de la onda, se utilizan los filtros de Lowpass (paso bajo) y Bandpass, siendo el último el más utilizado por su posibilidad de variar las frecuencias tanto altas como bajas y que permiten mostrar con más detalle el comportamiento de la onda. Esto se hace en su mayoría con una variación de 0-2000Hz en la frecuencia baja del filtro y variando entre 2500-4000Hz las frecuencias altas del mismo. La

## PARAMETRIZACIÓN PIT

frecuencia baja podrá evidenciar la variación de la impedancia en la parte superior del espectro y permite observar la onda con mayor claridad.

En cuanto a la influencia del suelo, se compara la variación de N, junto con la presencia de picos en las ondas en profundidades similares, y que se evidencien en los distintos espectros obtenidos en la prueba de un mismo elemento.

### 3.4. Resultados

Entre la información que fue posible recopilar se encontraron 32 proyectos entre los cuales se realizaron 770 pruebas y en los que se presentaron un total de 1101 parámetros (ver Tabla 4).

*Tabla 4. Número de parámetros encontrados*

|   |     |
|---|-----|
| <b>R.A:</b> Reducción de Área           | 129 |
| <b>S.G:</b> Segregación                 | 27  |
| <b>J:</b> Junta                         | 303 |
| F: Fisura                               | 247 |
| <b>E.E:</b> Empotramiento en el estrato | 352 |
| <b>I.L:</b> Inclusión de lodos          | 20  |
| <b>ENS:</b> Ensanchamiento              | 23  |

Se realizó la clasificación de los estudios por zonas, se encontraron en total 17 proyectos que tenían el estudio de suelos para realizar la correlación de las variables estudiadas (ver Tabla 5).

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Tabla 5. Proyectos que cuentan con estudio de suelos.

| PROYECTO | UBICACIÓN     | ESTUDIOS DE SUELO |
|----------|---------------|-------------------|
| 30       | BUCARAMANGA   | SÍ                |
| 20       | BUCARAMANGA   | SÍ                |
| 21       | BUCARAMANGA   | SÍ                |
| 22       | BUCARAMANGA   | SÍ                |
| 6        | FLORIDABLANCA | SÍ                |
| 11       | GIRON         | SÍ                |
| 14       | PIEDECUESTA   | SÍ                |
| 23       | PIEDECUESTA   | SÍ                |
| 4        | BARRANQUILLA  | SÍ                |
| 9        | BARRANQUILLA  | SÍ                |
| 12       | BARRANQUILLA  | SÍ                |
| 32       | BARRANQUILLA  | SÍ                |
| 27       | CARTAGENA     | SÍ                |
| 19       | SANTA MARTA   | SÍ                |
| 28       | SANTA MARTA   | SÍ                |
| 7        | CALI          | SÍ                |
| 29       | IBAGUE        | SÍ                |

Se encontraron 8 proyectos en Bucaramanga y su área metropolitana, 4 en Barranquilla, 1 en Cartagena, 2 en Santa Marta, 1 en Cali y 1 en Ibagué.

Se graficó el “N” de la prueba SPT y la velocidad de onda en el pilote a diferentes profundidades. El valor de “N” se promedió de acuerdo con cada capa estratigráfica. Se presenta el ejemplo del proyecto 12, ubicado en Barranquilla (ver Tabla 6 y Figura 5).

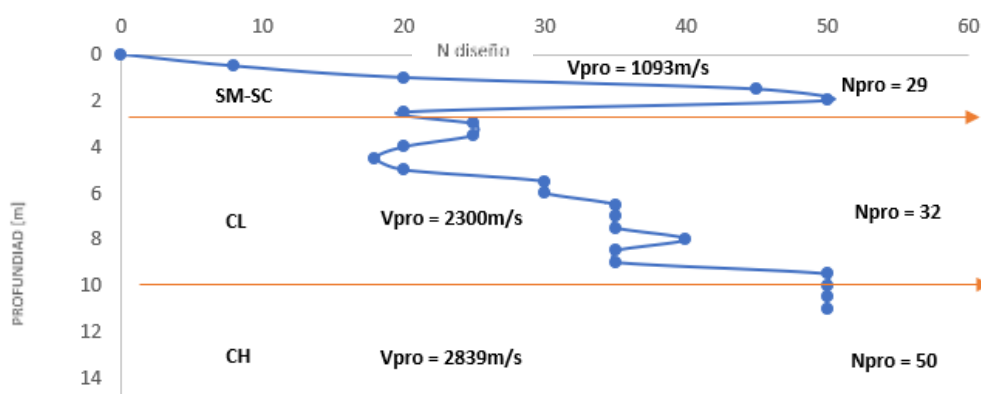
## PARAMETRIZACIÓN PIT

Tabla 6. Promedio por capas

| BARRANQUILLA |            |        |        |
|--------------|------------|--------|--------|
| PROYECTO 12  |            |        |        |
| PROFUNDIDAD  | TIPO SUELO | N Prom | V Prom |
| [m]          | SUCS       |        | [m/s]  |
| 0.00-3.00    | SM-SC      | 29     | 1093   |
| 3.00-10.50   | CL         | 32     | 2300   |
| 10.50-17.5   | CH         | 50     | 2839   |

En la figura 5 se observan tres estratos. El primer estrato es un suelo arenoso y el segundo y el tercero son suelos arcillosos.

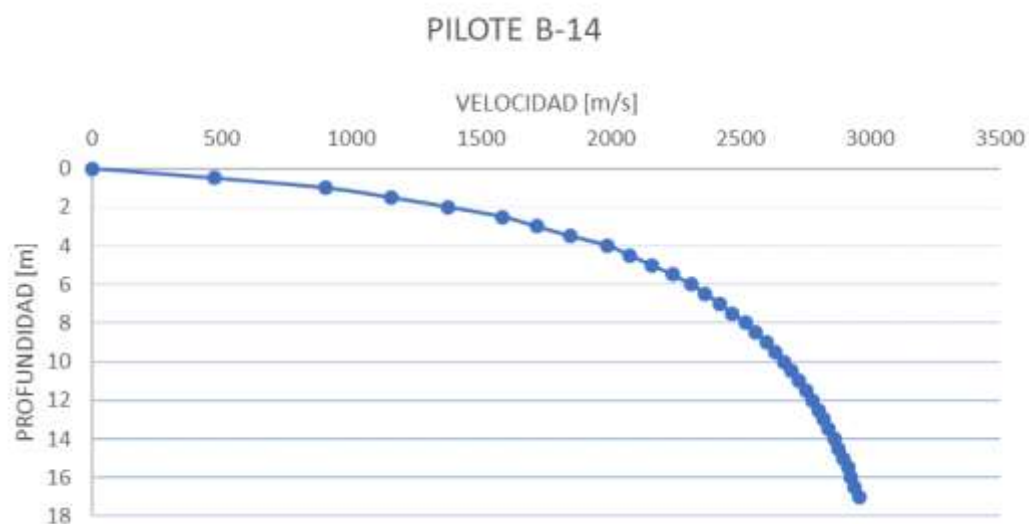
Figura 5. Profundidad contra "N"



En cuanto a la velocidad del pilote, a medida que aumenta la profundidad crece de forma exponencial como es el ejemplo del Pilote B-14, del proyecto 12 (ver Figura 6).

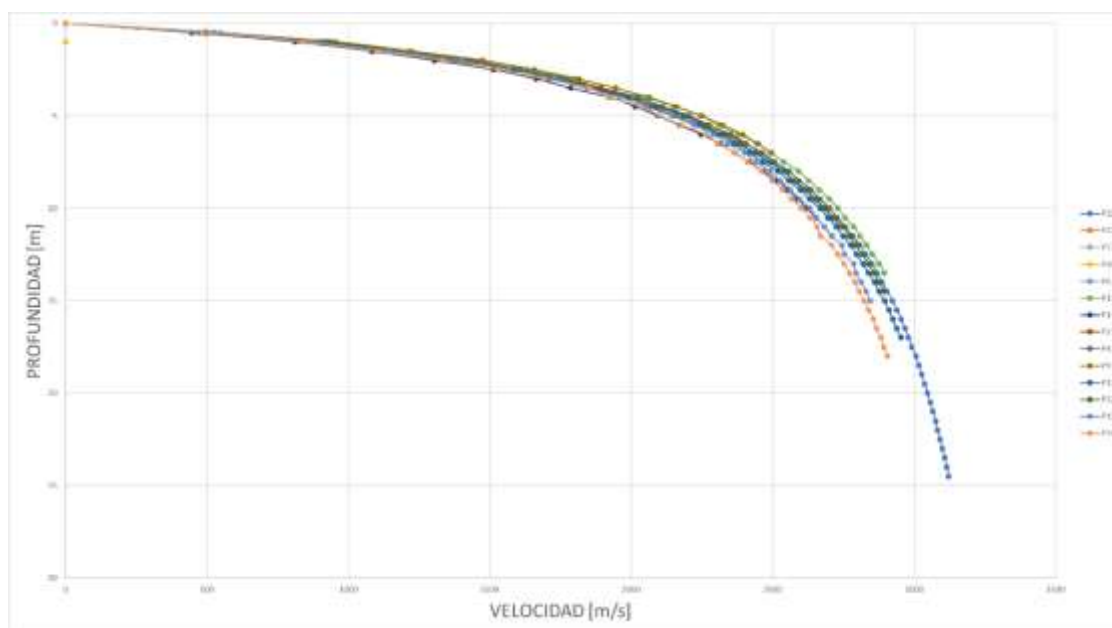
## PARAMETRIZACIÓN PIT

Figura 6. Profundidad contra velocidad. Pilote B-14



La velocidad de la onda en el pilote, en todos los ensayos analizados (15 proyectos un pilote de cada uno) mostró un comportamiento similar y con el mismo crecimiento exponencial (ver Figura 7).

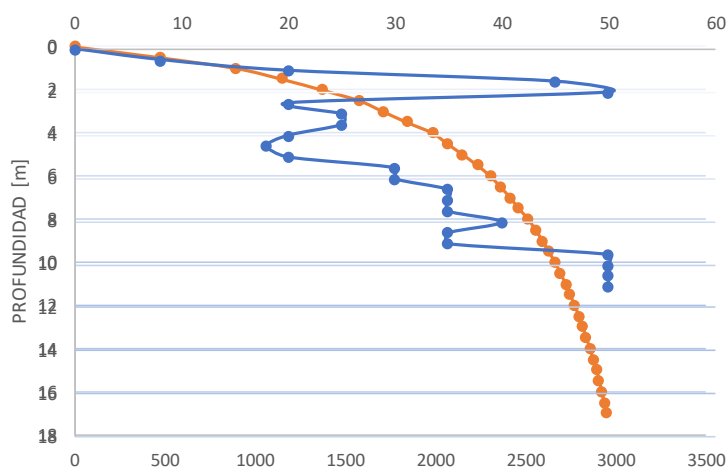
Figura 7. Profundidad contra velocidad de los pilotes seleccionados por zona.



## PARAMETRIZACIÓN PIT

Al sobreponer las gráficas de “N” y velocidad, no muestra relación alguna debido al aumento exponencial de la velocidad en todos pilotes que se tomaron como referencia (ver Figura 8)

Figura 8. Sobreposición del comportamiento de “N” y la velocidad a profundidad.



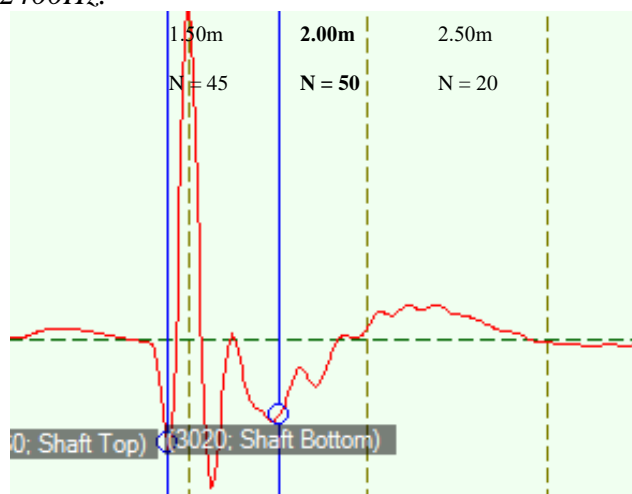
También se analizó el comportamiento de la onda en los distintos espectros que se pueden obtener de un mismo ensayo. Esto se realizó para cuatro pruebas (ver apéndice A). Al presentarse una alteración en la onda esto implica un cambio de densidad o impedancia en esta zona del pilote.

Se presentan los distintos espectros obtenidos del pilote B-14 ubicado en Barranquilla; y su variación de “N” (ver Figura 9,10,11,12 y 13).

A continuación, se analiza el espectro 1 con un filtro de bandpass entre 300-2400Hz. Se observa a 2.05 m una alteración de la onda que coincide con el aumento de “N” (ver Figura 9 y Tabla 7).

## PARAMETRIZACIÓN PIT

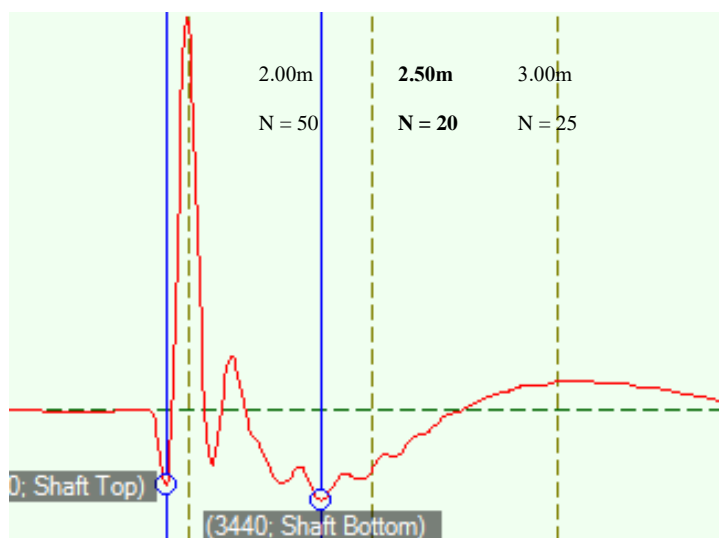
Figura 9. Espectro1, 300-2400Hz.



Nota: Imagen WinSEIR 1.3

A continuación, se presenta el espectro 2, con el filtro bandpass de 200-2300Hz y una alteración de la impedancia a 2.73 m de profundidad (ver Figura 10).

Figura 10. Espectro 2, 200-2300Hz.

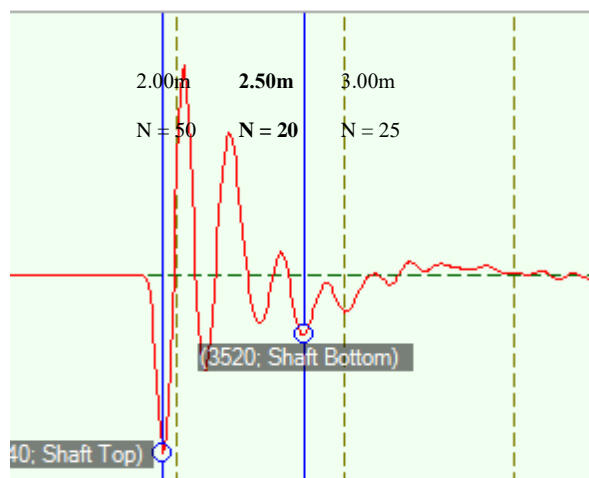


Nota: Imagen WinSEIR 1.3

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Espectro 3, con filtro bandpass de 300-2200Hz y una alteración de la impedancia a 2.74 m de profundidad (ver Figura 11).

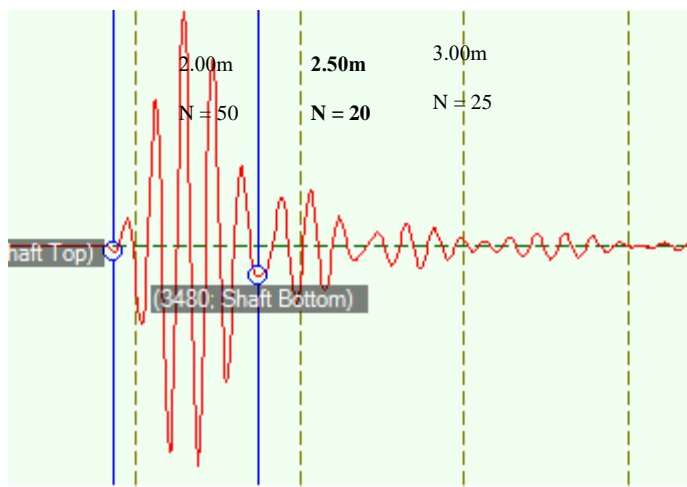
Figura 11. Espectro 3, 300-2200Hz



Nota: Imagen WinSEIR 1.3

Espectro 4, con un filtro bandpass 2500-3300Hz y una alteración de la impedancia a 2.86 m de profundidad (ver figura 12).

Figura 12. Espectro 4, 2500-3300Hz

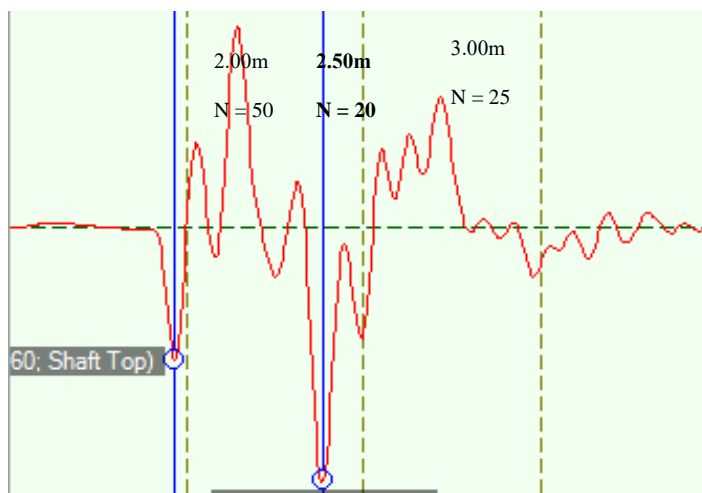


Nota: Imagen WinSEIR 1.3

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Espectro 5, con un filtro de bandpass de 300-2200Hz y una alteración de la impedancia a 2.76 m de profundidad (ver Figura 13).

Figura 13. Espectro 5, 300-2200Hz.



Nota: Imagen WinSEIR 1.3

En promedio la profundidad obtenida en el cambio de impedancia fue de 2.62m, esto coincide aproximadamente en el cambio de estrato y en el cambio de “N” (ver Tabla 7 y Figura 5).

Tabla 7. Número SPT según la profundidad

| PROFUNDIDAD | N diseño |
|-------------|----------|
| 1           | 20       |
| 1.5         | 45       |
| 2           | 50       |
| 2.5         | 20       |
| 3           | 25       |

Nota: Elaboración propia

De la observación de estas graficas se concluye lo siguiente:

- Es 2.86m la profundidad más alta y 2.05m la más baja, donde se generan variaciones bruscas de las ondas.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

- Esto coincide con la zona de cambio de estrato de SM-SC a CL.
- El número “N” de la prueba SPT cambia abruptamente en la misma zona pasando de 20 a 45,50 y de nuevo a 20, a medida que aumenta la profundidad en la misma.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### 5. Conclusiones

En el análisis de las variables presentes en el ensayo se determinó que la velocidad no varía con el cambio de perfil de suelo, y no se puede correlacionar con los cambios la densidad al pasar de un estrato a otro, dado que su valor es un promedio entre el viaje de ida y vuelta de la onda, por ende, su aumento exponencial como se mostró en las gráficas anteriores (ver Figura 6 y 8), siendo el mismo para los pilotes seleccionados por ciudad.

Al comparar la variación del número “N” de la prueba SPT, con la variación que se genera en las ondas en los distintos espectros de un mismo pilote, resultan ser a profundidades similares y en zonas donde se genera un cambio de estrato; estando así correlacionados el suelo y el comportamiento de la onda según la variación que se genera en la impedancia y en la densidad dado el cambio de capas del suelo circundante al pilote.

Para poder observar las variaciones de forma notoria en las ondas, se debe jugar con los filtros e intervalos de frecuencia que permitan observar la zona de preferencia con claridad. Cabe resaltar que, entre mayor profundidad, mayor dificultad llevará el encontrar las variaciones en la onda, dado que la onda se disipa a medida que recorre el pilote.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

### **6. Recomendaciones**

Es de primera necesidad investigar y establecer normativas para el análisis e interpretación de las pruebas PIT, dado la poca información al respecto y el juicio a cargo del revisor encargado. Para así establecer unos parámetros de resultados.

Se recomienda para futuros proyectos e investigaciones realizar demostraciones en campo al extraer muestras de suelo y compararlas con las variaciones que se puedan presentar en las ondas dado el cambio en las capas del suelo circundante al pilote.

## PARAMETRIZACIÓN PIT

**Referencias**

ASTM. Standard test method for low strain integrity testing of piles D-5882-00. American Society for Testing and Materials, 2000.

Brihuega, J. (2015). Estudio sobre la Problemática para la Verificación de la Integridad de Pilotes Hormigonados “In Situ”. Recuperado el 23 de septiembre de 2020: <https://fdocuments.co/document/estudio-sobre-la-problematika-para-la-verificacion-de-la-integridad-de-.html>

Caicedo Neira, A (2018). La importancia de la Verificación de la Integridad de los Pilotes, Sistema PIT. RC 2018 Reunión del Concreto: Evento del Cemento, el Concreto y los Prefabricados. Recuperado el 01 de octubre de 2020: [https://asocretovirtual.com/presentaciones-rc2018/RC-2018/24-LA\\_IMPORTANCIA\\_DE\\_LA\\_VERIFICACION\\_SISTEMA\\_PIT-ALEJANDRO\\_CAICEDO.pdf](https://asocretovirtual.com/presentaciones-rc2018/RC-2018/24-LA_IMPORTANCIA_DE_LA_VERIFICACION_SISTEMA_PIT-ALEJANDRO_CAICEDO.pdf)

Codexsa: geología, geotecnia y control de calidad. Control de calidad. Recuperado el 12 de octubre de 2020: <https://www.codexsa.com/Control-de-calidad>

Evaluación de la Integridad de Cimentaciones Profundas: Análisis y Verificación In Situ. Recuperado el 15 de septiembre de 2020: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/13037/13682>

## PARAMETRIZACIÓN PIT

Gaviria, C. Gómez, D & Thomson, P. (2008). Evaluación de la integridad de cimentaciones profundas: análisis y verificación in situ. Recuperado el 24 de agosto de 2020:  
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v76n159/a02v76n159.pdf>

Olson Instruments, Inc. (2012). NDE-360 Platform. Sonic Echo/Impulse Response (SE/SI) System Reference Manual. Recuperado el 09 de octubre 2020 :  
<https://www.pcte.com.au/images/pdf/sonic-echo-impulse-response/NDE-360-SEIR-Manual.pdf>

Pellicer, V. Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos. Recuperado el 1 de octubre de 2020: <https://riunet.upv.es/handle/10251/35207>

Santos, Y. (2016). Aplicación de la prueba de integridad de pilotes en puentes de Cayo Cruz, Camagüey. [Thesis]. Santa Clara: Universidad Central “Mmara Abreu” de las Villas.

Schellingerhout, J. & Middendorp, P. (2006). Pile integrity testing in the Netherlands. Recuperado el 13 de agosto de 2020: <https://allnamics.com/en/pile-integrity-testing-in-the-netherlands/>

Solís, R. Moreno, E. & Castillo, W. (2004). Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad del pulsoultrasónico y el índice de calidad de los agregados. Recuperado el 10 de agosto de 2020: <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen8/prediccion.pdf>