



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACION DE PILOTES CIRCULARES PARA CIMENTAR EL VIADUCTO
ENTERRADO N°1 DE LA VIA EXPRESA LINEA AMARILLA MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE INTEGRIDAD PIT (ASTM D5882), LIMA-PERU**

Línea de Investigación:
Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor(a)

Arias Revilla, Luis Antonio

Asesor
Romero Ríos, David
(ORCID: 0000-0003-3172-9024)

Jurado
Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique
Aybar Arriola, Gustavo Adolfo
Torres Matos, Amparo Paulina

Lima – Perú

2023

DEDICATORIA

A mis padres Zoilita y Fernando, por su amor y paciencia, A mi novia Valeria por su motivación, a todos ellos por ser un buen ejemplo de superación y por el apoyo constante que me brindan.

AGRADECIMIENTOS

A mis catedráticos, quienes compartieron día a día sus experiencias profesionales para lograr esta meta.

ÍNDICE

Resumen

Abstract

I. Introducción	1
1.1 Descripción y formulación del problema	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Justificación	5
1.5 Hipótesis	6
II. Marco teórico	8
2.1. Cimentaciones	8
2.2. Pilotes en obras viales	9
2.3. Pilotes defectuosos	10
2.4. Análisis de calidad de los pilotes	13
2.5. Comparación con otro método de integridad	16
III. Metodo	21
3.1. Tipo de Investigación	21
3.2. Ámbito temporal y espacial	21

3.3. Variables	22
3.4. Población y muestra	23
3.5. Instrumentos	23
3.6. Procedimientos	24
3.7. Análisis de datos	29
IV. Resultados	34
V. Discusión de resultados	38
VI. Conclusiones	42
VII. Recomendaciones	43
VIII. Referencias	44
IX. Anexos	46

RESUMEN

El objetivo de esta investigación realizar una evaluación de la integridad de tres pilotes circulares mediante la prueba de integridad PIT de baja intensidad, aplicadas al caso práctico del Proyecto Vía Expresa línea amarilla. La investigación es no experimental, cuantitativa, descriptiva y correlacional, se desarrollaron trabajos de campo de 3 pilotes vaciados INSITU cumpliendo los requisitos para la evaluación. Como procedimiento se realizó los ensayos no destructivos en campo permitiendo la recolección de información necesaria para luego en gabinete obtener la longitud de pilote y velocidad de onda, ambos necesarios para la verificación de integridad por este método todo el procedimiento fue realizado según la norma internacional ASTM D5882 y en Perú avalado por la E050. Finalmente se concluye que la longitud de los pilotes se encuentra dentro del rango teórico, la impedancia muestra que los pilotes se encuentran uniformes a todo lo largo y la velocidad de onda no es mayor al 10% de los límites según norma.

Palabras clave: Pilote, prueba de integridad PIT, Impedancia

ABSTRACT

The objective of this research was to perform an evaluation of the integrity of three circular piles through the low intensity PIT integrity test, applied to the practical case of the Vía Expresa Linea Amarilla. The research is not experimental, quantitative, descriptive and correlational, the research develops field work on 3 INSITU cast piles, meeting the requirements for evaluation. As a procedure, non-destructive tests were carried out in the field, allowing the collection of the necessary information to later obtain the length of the pile and wave velocity, both necessary for the verification of integrity by this method. The entire procedure was performed according to the ASTM international standard D5882 and in Peru endorsed by E050. Finally, it is concluded that the length of the pilots is within the theoretical range, the impedance shows that the pilots are uniform throughout their length and the wave speed is not greater than 10% of the limits according to the standard.

Keywords: Pile, Low Strain Integrity Testing PIT, Impedance

I. INTRODUCCION

1.1 Descripción y Formulación del problema

El proyecto Vía expresa línea amarilla, es una mega obra de infraestructura vial urbana destinada a integrar 11 distritos con la nueva vía expresa, que permite el tránsito de manera más directa desde Ate al Callao en Lima metropolitana. (Infraestructura, s. f.)

Al contar la obra con tramos ubicados paralelos a la ribera del río Rímac, se realizó la ejecución de cimentaciones profundas con la maniobra de perforación de pilotes con camisa recuperable. Manejaron más de 260 pilotes en el proyecto, por lo cual, fue importante, instaurar controles de calidad en su construcción tal como indica la norma peruana E050 SUELOS Y CIMENTACIONES en todas las etapas de la construcción corroborando la calidad de los materiales empleados para su construcción.

Sin embargo, dichos controles mencionados, no siempre se pueden cumplir y con frecuencia se debe llevar a cabo supervisiones de la integridad de los pilotes cuando estos hayan sido construidos, ya sea empleado métodos indirectos o directos, para poder evitar los problemas más comunes en los pilotes que son la reducción y/o aumento de su sección transversal, la longitud teórica no coincide con la longitud en campo, tramos contaminados, burbujas de aire en el concreto, uso de concreto de mala calidad, entre otros. Estos defectos, se suceden en la construcción del pilote, por tal motivo es que se debe constatar que su proceso constructivo sea óptimo. (ASTM, 2016; El Peruano, 2018)

En esta investigación se realizó la evaluación de integridad de 3 pilotes del Viaducto Enterrado 1, mediante el método de bajo impacto o PIT, con la finalidad de verificar el correcto estado de los pilotes ya construidos y tener un registro de calidad. Esta prueba cumple para determinar la integridad de los pilotes analizando la velocidad de onda inducida por un martillo al golpear la cabeza del pilote. (ASTM, 2016)

1.1.1 Problema General

¿Cómo se verifica la calidad de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?

1.1.2 Problemas Secundarios

- 1) ¿Cuál es la longitud de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?
- 2) ¿Cuánto es el valor de la impedancia de los pilotes para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?
- 3) ¿Qué velocidad de propagación de onda se calculó en los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?

1.2 Antecedentes

Strano y Morales (2020). En su investigación, titulada “*Low strain integrity tests in piles -1-D and 3-D numerical modeling and comparisons with results obtained in the field*”. Realizada en la Universidad Federal de Paraná, Curitiba – Brasil. Tuvo como objetivo comparar los resultados obtenidos por el método de prueba de integridad y 2 modelos numéricos respaldado en el método de los elementos finitos: 1-D Y 3-D. Los resultados obtenidos en la simulación numérica fueron comparados con los obtenidos en campo principalmente en dos aspectos: la atenuación de la señal y el reflejo de la onda. En la comparación de las velocidades de onda obtenidas en las pruebas en campo (doble de la longitud del pilote entre el tiempo

transcurrido entre el golpe generado por el martillo y la reflexión de onda) y los obtenidos en la modulación con el módulo dinámico de elasticidad en concreto, se encontraron diferencia entre 17.10% y 56.01%. obteniendo una respuesta satisfactoria dentro de los rangos esperados.

Beim et al. (2019). En su trabajo “*Comparison of Test Pile Profile with Simulated Low-Strain Integrity Test Data*”. Presentado en la “10th International Conference on Stress Wave Theory and Testing Methods for Deep Foundations” llevado a cabo en California - USA. Presentó la evaluación de ocho pilotes cuadrados prefabricados que se colocaron horizontalmente al suelo donde se efectuaron pruebas de integridad desde ambos extremos. Los pilotes tienen cambios en el área transversal hechos a propósito, y dos pilotes no tenían acero de refuerzo. Al obtener los resultados, estos fueron con modelaciones generadas por computadora y se concluyó que las modelaciones coincidieron muy bien con los datos reales, esto favorece al uso de un programa de simulación como alternativa. Asimismo, se observó que la velocidad de propagación de onda varió entre los 3700 y 3860 m/s para pilotes con o sin armadura de refuerzo, evidenciando que la velocidad de onda es indiferente a este.

Melgarejo (2016). En su investigación “*Aplicación de la Prueba de Integridad de Pilotes en puentes de Cayo Cruz, Camagüey*”. Realizado en la Universidad Central “MARTA ABREU” de Las Villas, Santa Clara – Cuba. Tuvo como finalidad la evaluación mediante la prueba de integridad en los pilotes de los Puentes 1 y 3 en Cayo cruz y Camagüey, proyecto de reconstrucción de dichos puentes Se buscó, además, aprovechar pilotes ya existentes, Para ello, se requirió obtener la longitud mediante la prueba PIT, dato requerido para la medición de la capacidad de carga de los pilotes mediante los métodos analíticos; En cinco pilotes se apreciaron reflexiones intermedias debido a la reducción de la impedancia del pilote. Estas no se consideraron reducciones bruscas de la impedancia y el autor las relaciona con una leve disminución de la sección transversal del pilote o resistencia del concreto debido a que las

longitudes coinciden con las teóricas en todos los cinco casos, se tuvo una longitud teórica de 17 metros y en los cinco casos coincide indicando una aceptable impedancia. El estudio concluye la no continuidad de varios pilotes, y que, debido a la complejidad del perfil del suelo existente, y a pesar de calcular la capacidad de carga de los pilotes que si tienen continuidad, se recomendó la realización de escalas de carga a escala real que corroboren la validez de la hipótesis de la investigación.

Jiménez y Morales. (2015). En su “*Estudio sobre la Problemática para la Verificación de la Integridad de Pilotes Hormigonados “In Situ”*”. Realizado en la Escuela Universitaria Politécnica de la Almunia de Doña Godina, en Zaragoza – España. Se basan en la experiencia adquirida en la cimentación profunda de pilotes en el puente el Embalse de Ebro en Cantabria. Buscaron estudiar los distintos métodos existentes para corroborar la integridad de los pilotes In Situ y describir las problemáticas que se plantean al usar estos métodos. Se describieron las problemáticas previas, así como al momento de su construcción. Asimismo, se describieron todos los posibles métodos y ensayos para corroborar la integridad de los pilotes, donde menciona los puntos fuertes y débiles de cada uno. Concluyo en que se tienen diversas formas de detectar anomalías, igual con la interpretación de los resultados ya que resulta difícil puesto que plantean muchos métodos para las posibles reparaciones de las anomalías.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la calidad de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.

1.3.2 Objetivos Específicos

- 1) Calcular la longitud de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.
- 2) Determinar la impedancia de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.
- 3) Indicar la velocidad de propagación de onda en los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.

1.4 Justificación

Dentro del campo de la ingeniería civil, existen diversas estructuras como son: Puentes, torres, edificios, y otras estructuras masivas, que en ocasiones necesitan de una cimentación especial empleando el método de pilotes, tanto prefabricados como construidas in situ.

El proyecto Vía Expresa – Línea Amarilla, es una mega obra de infraestructura vial urbana cuyas características geotécnicas presentaron relleno superficial y material granular en este caso se empleó la solución de cimentaciones profundas mediante la técnica de perforación de pilotes con camisa recuperable. Debido a la importancia de los pilotes como cimentación de la estructura y según norma E050 se debe realizar un correcto plan de calidad en todos los procesos para obtener una durabilidad que supere los 50 años de promedio.

Por lo tanto, se requiere que uno de sus elementos estructurales tan primordiales como son los pilotes se encuentre en buenas condiciones. El análisis por medio de la prueba PIT método sónico, brinda información sobre la continuidad del pilote. Así como de la calidad del concreto, extensión y ubicación de defectos. Por lo anteriormente mencionado, resulta importante contar con una prueba que pueda determinar que no hay fallas de gravedad en los pilotes que puedan interferir en su soporte estructural. Además, convierte a este ensayo en una herramienta para la prevención de posibles defectos.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

Se verifico la calidad de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- 1) La longitud de los pilotes circulares ensayados durante la evaluación coincide con la longitud teórica, para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.

- 2) La impedancia de los pilotes circulares ensayados durante la evaluación no sufrió ningún tipo de anomalías, para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.

- 3) La velocidad de propagación de onda en los pilotes circulares ensayados durante la evaluación coincide con la velocidad teórica, para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.

II. MARCO TEORICO

2.1. Cimentaciones

Una cimentación es elemento básico estructural para cualquier tipo de construcción, su función principal es transmitir cargas axiales y momentos sin superar las capacidades máximas. Estas se dividen en superficiales y profundas. La cimentación superficial no tiene mucha profundidad al momento de transferir las cargas mientras que la cimentación profunda lo hace a mayores profundidades. En este trabajo de investigación se centra en cimentaciones profundas, específicamente los pilotes. (Rodríguez y Torpoco, 2016)

Los pilotes son elementos estructurales que han sido catalogados parte de cimentaciones profundas. Se les dice así a aquellas estructuras que se encuentran a una profundidad mayor que cinco veces el ancho de la cimentación. (El Peruano, 2018)

Por trabajabilidad, los pilotes se clasifican en:

- a) Pilotes por fuste: en aquellos terrenos en los que no existe un nivel claramente más resistente al que transmitir la carga del pilote, este transmitirá al terreno fundamentalmente a través del fuste.
- b) Pilotes por punta: las cargas del pilotaje se transmitirán fundamentalmente por punta en aquellos terrenos en los que no existiera a cierta profundidad un estrato claramente más resistente.

Por el material:

- a) In situ: se realiza iniciando con una excavación, aunque también se puede realizar desplazamientos de terreno o realizar ambos métodos (excavación y desplazamiento parcial).

- b) Prefabricado: podrá ser concreto armado (concreto de alta resistencia) u concreto pretensado o postensado.
- c) Acero: se podrán utilizar secciones tubulares o perfiles en doble U o en H. Los pilotes de acero se deben hincar con azuches (protecciones en la punta) adecuados.
- d) Madera: se podrá utilizar para pilotar zonas blandas amplias, como apoyo de estructuras con losa o terraplenes.
- e) Mixtos, como los de acero tubular rodeados y rellenos de mortero.

Por la sección transversal:

- a) La forma de la sección transversal del pilote 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 L y de un cierto diámetro D .

Por proceso constructivo:

- a) Pilotes prefabricados hincados: la característica fundamental de estos pilotes estriba en el desplazamiento del terreno que su ejecución puede inducir, ya que el pilote se introduce en el terreno sin hacer excavaciones previas que faciliten su alojamiento en el terreno.
- b) Pilotes in situ: son aquellos que se ejecutan en excavaciones previas realizadas en el terreno. (Moreno, 2004)

2.2. Pilotes en Obras Viales

Los procesos de construcción planteados para controlar el descongestionamiento se usa muro de pilotes y muros pantalla preventivos para las próximas excavaciones. Ambos métodos son aceptados por la satisfacción y seguridad que ofrecen a las excavaciones debido a su gran rigidez y sobre todo debido a que son elementos que se realizan al nivel de las excavaciones antes de realizar estas para minimizar las deformaciones en el suelo. (Sulzer, s. f.)

2.3. Pilotes Defectuosos

2.3.1 Problemas en construcción de pilotes.

Existen diversas estructuras como son puentes, torres, edificios, y otras estructuras, que en determinados casos necesitan de una cimentación específica como los pilotes, ya sean prefabricados o contruidos in situ. Caso uno, los pilotes durante el hincado pueden presentar daños, produciendo fisuras de importante magnitud. Caso dos, pueden producir reducción de la sección transversal del concreto. En los dos casos, se deteriora la capacidad de carga de estos. No es factible realizar algún tipo de inspección visual que identifique algún defecto porque los pilotes están enterrados. Por eso se propone la verificación de la integridad de los pilotes a través de ensayos dinámicos (Kenneth, 2000)

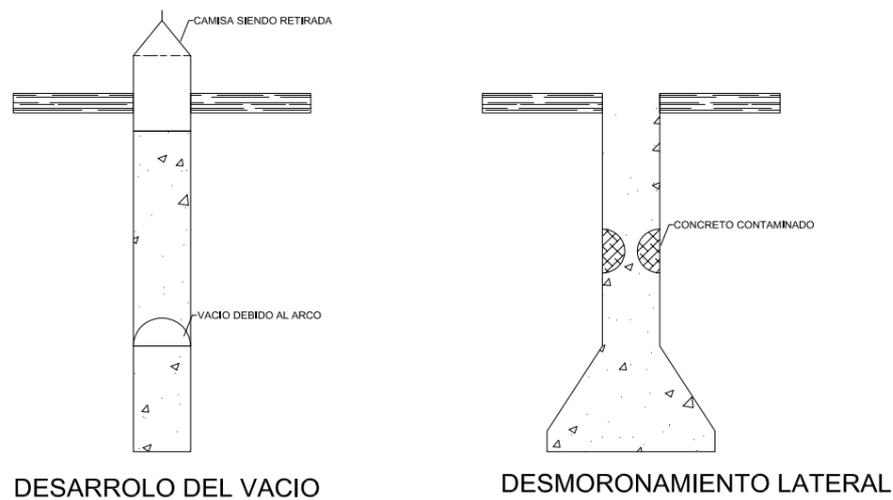
2.3.2 Causas de pilotes defectuosos.

Un largo número de factores puede contribuir al daño de los pilotes hincados tales como una excesiva altura para la caída del martillo, mal posicionamiento verticalmente recto de los pilotes, presencia de gran cantidad de piedras en el suelo. Broms, 1995, citado en (Kenneth, 2000, p. 46)

Baker y Khan, 1971, listaron varios tipos de condiciones como causa a los pilotes defectuosos, incluyendo; exceso de agua en las juntas frías resultando en un concreto débil, colocación inadecuada del concreto, desarrollo de vacíos debido al arqueado generado por retiro de las camisas, y desmoronamiento lateral o superficial del suelo generando concreto contaminado. Las dos últimas condiciones están ilustradas en la Figura 1.

Figura 1

Formación de defectos en pilotes excavados.



Thorburn señala que la principal causa de defectos en pilotes excavados está asociada con el retiro de las camisas temporales. Dentro de estos defectos el más importante es la aparición de cavidades de rotura que describe la situación generada debido a material del suelo removido por fuerzas físicas o químicas, algunas veces resultando en cavidades y discontinuidad que pueden socavar la estructura del pilote. El material removido puede ser causado por la excavación para la camisa en suelo inestable o la aparición de agua subterráneas. Los defectos generados puede ser la contaminación del concreto, reducción del área de la sección transversal y la exposición del acero de refuerzo a corrosión. (Kenneth, 2000).

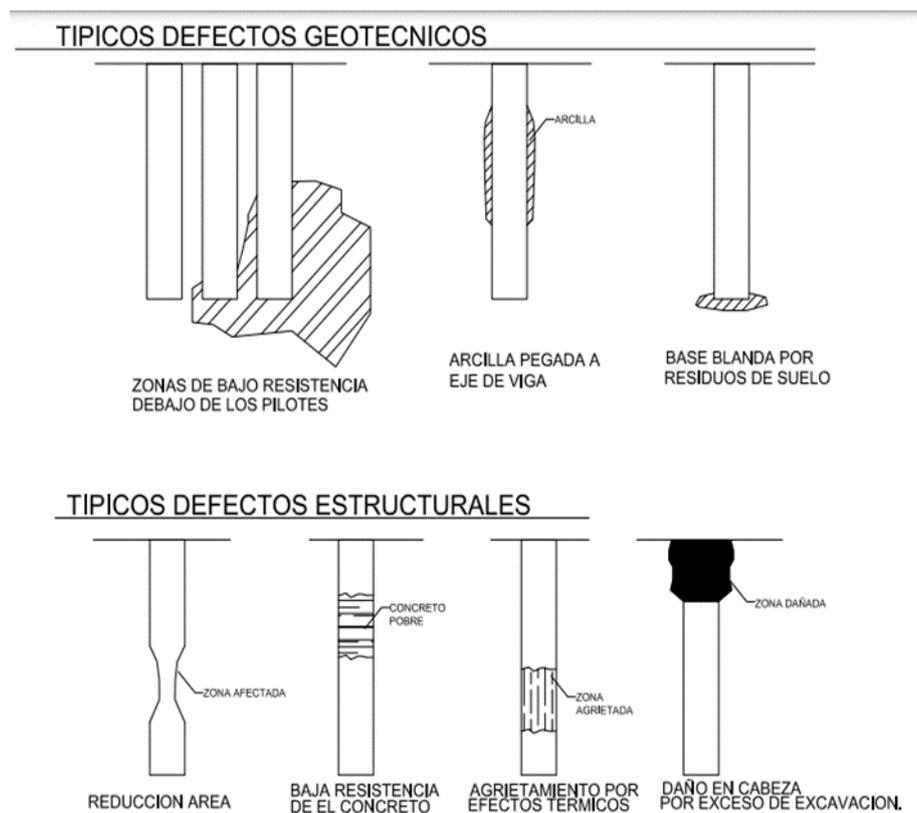
Sin embargo, estos defectos no deberían afectar la función del pilote en corto plazo, en un comportamiento a largo plazo esta puede ser dañada, particularmente cuando el pilote está sujeto a flexión. (Kenneth, 2000, p. 47)

2.2.3 Clasificación de Tipos de Pilotes Defectuosos

Poulos dividió de manera general los pilotes defectuosos en dos categorías, defectos estructurales y defectos geotécnicos, como se ve en la figura 2. Defectos estructurales son en general relacionados con la construcción, y resulta en el tamaño, resistencia y/o rigidez del pilote siendo menor que lo asumido en el diseño. Defectos geotécnicos surgen debido de una mala evaluación inicial de las condiciones *in situ* durante el diseño, o bien relaciones con problemas en la construcción, como una base blanda. (Kenneth, 2000, p. 48)

Figura 2

Ejemplos de defectos estructurales y geotécnicos en pilotes.



2.4. Análisis de calidad de los pilotes

2.4.1. Principios básicos

Los pilotes han sido usados en su mayoría para soportar el peso de superestructuras en un suelo suave, Un pilote puede ser prefabricado o construido in situ. Durante o después de la construcción, el pilote debe ser inspeccionado por posibles defectos. La evaluación de la calidad del pilote es altamente requerida. Para lograr esto, varios métodos destructivos y no-destructivos han sido creados. En esta investigación resaltaremos el método no-destructivo, este es considerado el más utilizado debido a su relación costo-efectividad, libre de realizar daños a la estructura y el ahorro de tiempo. (Rodríguez-Ordoñez y Restrepo-Botero, 2020, p. 2)

2.4.2. Prueba de Integridad de Pilotes (PIT)

La PIT se basa en la teoría de propagación de ondas. Por el golpe y el medio en que viaja la onda, la propagación sucede en una dimensión y, por ende, se determina a partir de la siguiente ecuación diferencial parcial: (Rodríguez-Ordoñez y Restrepo-Botero, 2020, p. 3)

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

Donde:

u: función de desplazamiento

t: variable de posición de onda en el tiempo

c: velocidad de propagación de onda

x: variable de posición de onda en el espacio

La velocidad de propagación de onda (c) se obtiene de la formulación de la ecuación diferencial de propagación unidimensional de ondas en un medio elástico y es función del módulo de elasticidad y la densidad del material, mediante la expresión:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Además, la velocidad de la onda es función directa de la impedancia (Z), la cual es una medida de la resistencia a la velocidad de propagación de la onda y se define en la siguiente ecuación. (Rodríguez-Ordoñez y Restrepo-Botero, 2020, p. 4)

$$Z = \frac{EA}{c}$$

Donde

A es el área de la sección transversal del pilote.

Para realizar la prueba PIT se aplica un impacto en la cabeza del pilote con un pequeño martillo, lo que provoca una onda que se propaga a lo largo del pilote y retorna hasta la cabeza de este. La vibración que causa la onda es obtenida por medio de un acelerómetro que se colocó en la cabeza del pilote al inicio de la prueba y conducida a un acondicionador. Luego se transforma en pulsos eléctricos a una señal digital mediante de una tarjeta de adquisición y finalmente es revisada con ayuda de un software que realiza el procesamiento. (Rodríguez-Ordoñez y Restrepo-Botero, 2020, p. 4)

De presentarse algún cambio en las características del pilote (modificaciones en la discontinuidad del elemento, mezcla de tierra con el concreto, porosidad o sección transversal) se generan modificaciones en la impedancia ocasionando una reflexión pronta de la onda, la cual se interpreta para poder ubicar la anomalía y el tipo de patología en el pilote. (Rodríguez-Ordoñez y Restrepo-Botero, 2020, p. 5)

2.4.2. Cálculo de la velocidad de propagación en el concreto

La mayoría de los pilotes son hechos con concreto, ya sea *In-Situ* o prefabricados, por ende, la velocidad de propagación de onda en el concreto debe ser de mucho interés para nosotros.

Como se mostró la velocidad de propagación de onda depende de la densidad (ρ) determinada al momento del vaciado y es constante. El módulo de elasticidad (E) por el otro lado, tiende a incrementarse con el aumento de resistencia del concreto, como resultado (c) incrementa con la edad del concreto.

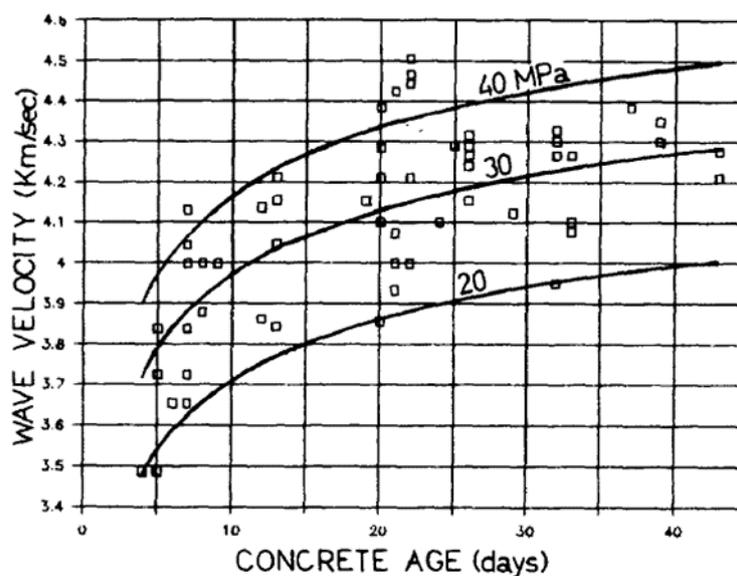
En la figura 3, nos da una relación entre C y la edad del concreto, Podemos notar que, a la edad de 1 semana, C se encuentra entre los 3600 y 4400 m/s o $4000\text{m/s} \pm 10\%$. Esto significa, que si no tenemos información sobre el concreto, es correcto asumir una velocidad de 4000 m/s.

La relación general entre la la velocidad de la onda y la resistencia del concreto es la siguiente:

(J. Amir, 2015)

Figura 3

Velocidad de onda en función a la edad del concreto.



2.5. Comparación con otro método de integridad.

Los problemas de integridad de los pilotes se volvió una necesidad de obtener métodos no destructivos para detectar la ubicación y magnitud de posibles fallas y prevenirlas.

Las dos pruebas más comunes son:

- Ensayo Cross Hole Ultrasonico (CST) – ASTM D -6760
- Prueba Integridad de pilotes de baja intensidad (PIT) – ASTM D-5882

2.5.1. Ensayo Cross Hole Ultrasonico (CST)

Es un método no destructivo que implica la transmisión de señales ultrasónicas a través del eje de dos tubos llenos de agua paralelos a pilote. El total de tubos a colocar depende del diámetro del pilote. En cada tubo se coloca una sonda de transmisión y una de recepción. La sonda de recepción identifica la intensidad del pulso recibido y también los tiempos de viaje de onda, generando perfiles verticales con los tiempos de viaje.

Básicamente se mide el tiempo de toma a una onda ultrasónica la propagación desde un emisor a un receptor a lo largo del pilote. Las sondas se moverán al mismo momento en toda la longitud del pilote por medio de los dos tubos. El tiempo medido es en función de la distancia entre el receptor y el emisor, así como de las características del medio atravesado.

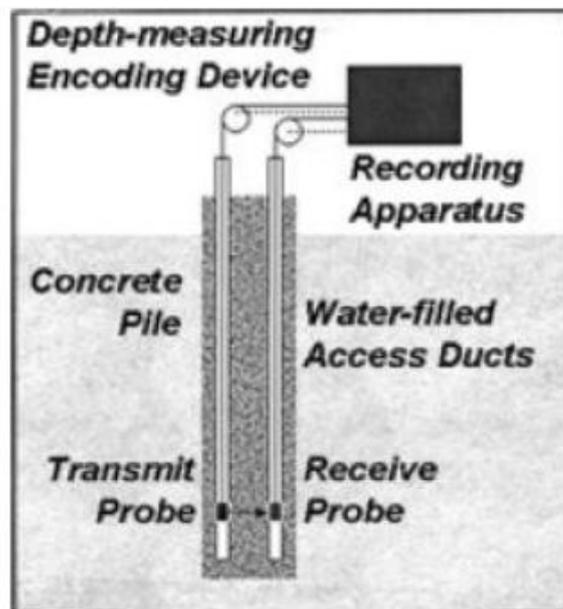
Un incremento en el tiempo de llegada de la onda y una reducción de la intensidad del pulso significa que se tiene una anomalía, en cambio que si solo se detecta una disminución de intensidad sin aumento en el tiempo de llegada indicaría una baja calidad de concreto, pero no un defecto en el pilote.

Según normativa ASTM D6760 brinda los siguientes criterios:

- Cuando el aumento del tiempo es menor a 10% respecto a la media del perfil, con ninguna distorsión de la señal, se considera como un ensayo sin anomalías.
- Cuando se tiene un aumento entre el 10% y 20% en el tiempo con respecto a la media, con escasa distorsión de la señal y una pequeña disminución de la energía relativa, se considera como anomalía menor.
- Cuando se tiene un aumento por sobre el 20% en el tiempo con respecto a la media, se produce una distorsión significativa tanto en la señal como en la energía relativa, esto es considerado como una anomalía mayor.

Figura 4

Test Cross Hole.



2.5.2. Ventajas, Desventajas, Similitudes y Diferencias de cada Método.

Tabla 1.

Cuadro comparativo Prueba PIT vs Cross Hole

	Prueba de Integridad de Baja Intensidad (PIT)	Ensayo Cross Hole Ultrasonico (CST)
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> * Mínima preparación previa requerida al pilote. * Relativamente rápida y económica; permitiendo la posibilidad de evaluar todos los pilotes. * Puede brindar profundidad y gravedad de los defectos detectados. * Puede brindar calidad y longitud de los pilotes evaluados. 	<ul style="list-style-type: none"> * Fácil interpretación cuando un defecto de gran gravedad se presenta. * No lo limita la longitud del pilote. * Puede determinar la profundidad de las anomalías con buena precisión. * Puede determinar la ubicación horizontal de la anomalía si se tiene las suficientes sondas.

<p>Desventajas</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Muchos factores pueden generar resultados inconclusos o complicaciones con la señal. * La lectura de los registros requiere experiencia en la interpretación. * Limitaciones con la longitud y Diámetro. * No pueden evaluarse la distancia horizontal de los defectos. * La precisión del cálculo de longitud o la profundidad de la anomalía depende de la velocidad de Onda supuesta. 	<ul style="list-style-type: none"> * Los tubos de las sondas deben ser colocadas en el vaciado, los pilotes a evaluar deben ser previamente seleccionados. * Muchos factores pueden generar resultados inconclusos o complicaciones con la señal. * Solo se puede evaluar el concreto que se encuentra entre las sondas. * La lectura de los registros requiere experiencia en la interpretación.
---------------------------	--	---

Similitudes	<ul style="list-style-type: none">* Métodos no destructivos y repetibles.* Dependientes del tiempo, los resultados dependen de la calidad y fraguado de concreto con respecto a la velocidad de onda.* Evalúan la calidad del concreto y la aceptabilidad del fuste, sin embargo, a menudo no pueden determinar la causa de la anomalía solo detectarla.* La lectura de los registros requiere experiencia en la interpretación.* Puede ser realizado en todos los pilotes de campo.
Diferencias	<ul style="list-style-type: none">* CSL solo puede evaluar el concreto entre las sondas mientras que PIT puede evaluar toda la sección axial y el perfil del eje del pilote.* CSL puede estimar profundidad, ubicación horizontal y extensión de la anomalía mientras que PIT solo indica la profundidad de la anomalía y una pequeña estimación de la extensión.

Nota. Elaboración propia

III. METODO

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo No Experimental, Cuantitativa, Descriptivo y Correlacional.

Es cuantitativa porque utiliza datos para la recolección de información, en este caso la recolección de las condiciones previas al vaciado y las medidas teóricas para su preparación, que se utilizaron para responder las hipótesis con respecto a su integridad.

También es descriptivo porque detalla los procedimientos para determinar las propiedades requeridas para verificar la integridad, tales como la longitud, la velocidad de onda, impedancia. De acuerdo con la normatividad NTP E050.

También es correlativa porque toma como base otros estudios y los compara, como la relación entre la velocidad de onda y el tiempo, para determinar la integridad del pilote.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La presente tesis se desarrolló desde el mes de abril del 2020 hasta abril del 2021, en base a los resultados obtenidos de la instrumentación dinámica de 03 (Tres) de los pilotes integrantes del Estribo 02 de la construcción del Viaducto Enterrado 01, perteneciente a la obra “VIA EXPRESA LINEA AMARILLA”, ubicado a la altura de la Av. Nicolás Dueñas con la Av. Morales Duarez en Lima, Región Lima, Perú.

3.3. Variables

3.3.1 Variable Independiente

La evaluación de pilotes circulares, consiste en verificar la longitud e integridad del pilote, mediante la lectura e interpretación de la gráfica de velocidad de onda vs tiempo donde según esta se verificará el estado del pilote.

- **Dimensiones de las variables**

Longitud de Pilote: Medida longitudinal del pilote a evaluar considerando desde la cabeza hasta la punta del pilote.

Impedancia: Es una medida de la resistencia a la velocidad de propagación de la onda

Velocidad de onda: Es la tasa a la cual la fase de esta se propaga en el concreto.

Área de sección transversal: Medida requerida según dimensión del pilote.

3.3.2 Variable Dependiente

Cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa Línea Amarilla, consiste en realizar una correcta cimentación mediante pilotes circulares garantizando la integridad de estos.

- **Dimensiones de las variables**

Resistencia del concreto: Propiedad que hace posible que este soporte las cargas.

Contenido de sales y sulfatos: Se requiere la verificación de este para poder hacer una buena determinación del tipo de concreto a utilizar en la cimentación,

Tipo de Cemento: Dependiente del contenido de sales y sulfatos, se escoge la mejor opción.

3.4. Población y muestra

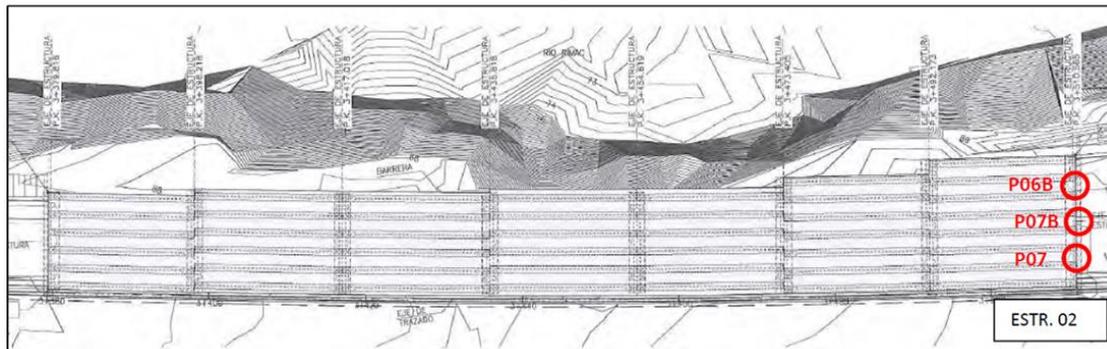
La población está conformada por 38 pilotes, en este caso se seleccionaron solo 3 ya que son los que se tiene dudas de su estado de integridad debido a complicaciones en el vaciado, la norma indica que se deben evaluar cualquier pilote que se tenga sospecha de alguna anomalía.

La muestra elegida pertenece a 3 pilotes integrantes del Estribo 02 de la construcción del Viaducto Enterrado 01 de la Vía Expresa Línea Amarilla, ensayados vaciados in situ, de concreto armado con $f'c = 310 \text{ kg/cm}^2$ con un diámetro de 1,500 mm. Los pilotes se colocaron de manera vertical. Se tomo una muestra consistente en 3 pilotes del Estribo 02 que fueron vaciadas insitu con concreto 310, circular con 1500 mm de diámetro

A continuación, la figura 4 se muestra un plano general de la ubicación en planta de los pilotes evaluados en el Viaducto Enterrado 01.

Figura 5:

Ubicación de Pilotes Ensayados.



3.5. Instrumentos

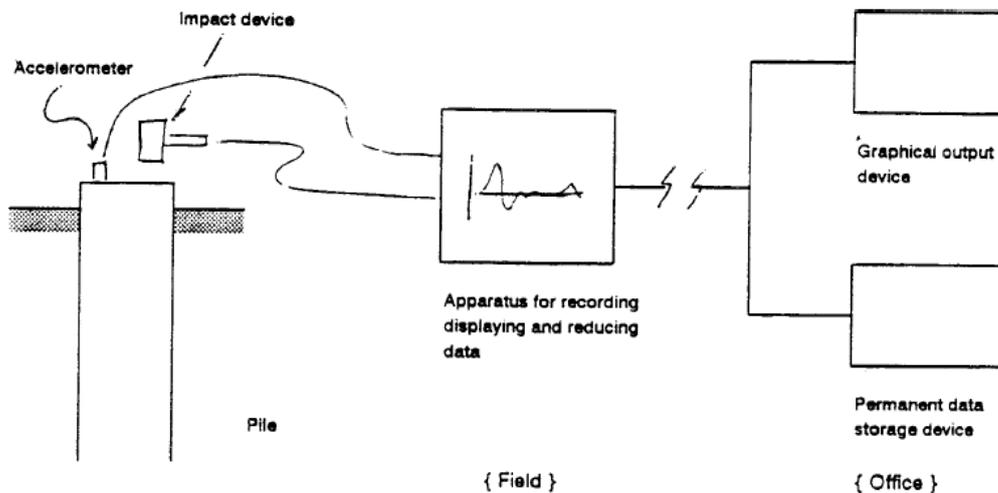
Acorde a la Norma Americana ASTM D 5882, especifica los requerimientos mínimos y procedimientos para realizar la prueba, indican el uso de los siguientes instrumentos: (ASTM, 2016).

Equipo para grabar y representar datos

Se utiliza un probador de integridad de pilotes, recibe los datos del acelerómetro y los representa en curvas que revelan cualquier cambio de en la sección transversal que pueda existir a lo largo del eje. Ver Ítem **IV. RESULTADOS** donde se muestran la planilla de mediciones.

Figura 6

Esquema de equipos utilizados para la prueba de integridad



3.6. Procedimientos

La instrumentación en campo fue realizada el día 30 de mayo de 2017, En esta investigación serán presentados también los análisis elaborados posteriormente en gabinete.

3.6.1 Preparativos previos

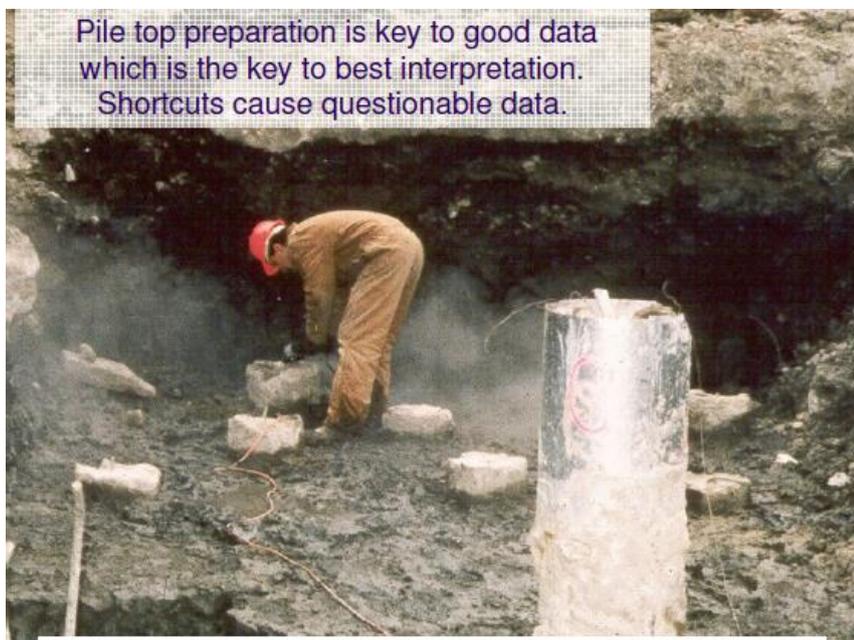
Para realizar el ensayo de integridad la prueba se debe realizar luego de los 7 días luego del vaciado o luego que el concreto este a un 75% de su resistencia máxima, lo que suceda primero.

Asegurarse que la cabeza del pilote este accesible y limpia de redadas de concreto, tierra u otros materiales extraños. Si la cabeza del pilote se encuentra contaminada, se debe retirar dicha sección del pilote hasta alcanzar concreto sano. De ser necesario, se debe preparar una pequeña área con una amoladora manual para obtener un área lisa para colocar el sensor y la realización del impacto.

Se debe fijar el sensor de movimiento firmemente en la ubicación seleccionada, lejos del borde de la cabeza del pilote, para pilotes con diámetros mayores a 500mm. Colocar el acelerómetro por lo menos en 3 lugares para realizar distintas pruebas de integridad, realizar el impacto de tal manera que sea de manera axial al pilote y a una distancia no mayor a 300 mm del acelerómetro. (ASTM, 2016)

Figura 7

Preparativos previos-Amolado de cabeza de pilotes

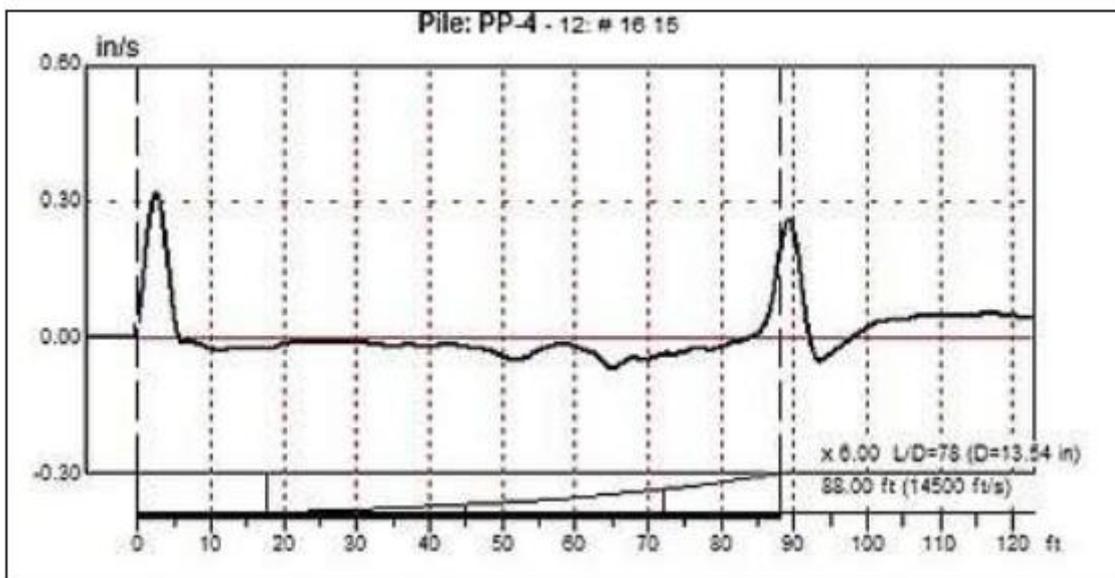


3.6.2 Realización de la Prueba

Tras la fijación del acelerómetro con una resina adherente especial, fueron aplicados diversos golpes consecutivos con un martillo de mano. De las señales obtenidas, las consideradas más representativas serán seleccionadas para el registro de la señal promedio, y almacenadas en el acelerómetro. Estas señales serán transferidas a una computadora para el procesamiento final y almacenamiento definitivo. (ASTM, 2016)

Figura 8

Señal de velocidad en función del Tiempo para un golpe del martill



3.6.3 Informe de Resultados

El especialista encargado luego de finalizado los ensayos en campo, deberá procesar los resultados finales y presentar la evaluación de la integridad de los pilotes, en forma de informe.

En todo pilote evaluado se realizará una gráfica con al menos tres curvas en el dominio de tiempo (velocidad en función del tiempo) o la curva media de las mismas, correspondientes a diferentes golpes de martillo. Asimismo, de considerarlo pertinente, el ingeniero especialista responsable, podrá incluir otros cálculos, o curvas en el dominio de frecuencias, si es que estas

aportan para la mejor interpretación de algún ensayo. (ASTM, 2016)

Algunos datos para incluir en el informe final son:

- Datos de la obra y su localización.
- Características básicas de los pilotes evaluados, Diámetro, longitud, sistema constructivo, edad del concreto, empalmes, etc.
- Resumen de la estratificación geotécnica.
- Problemas durante el proceso constructivo.
- Ficha técnica del equipo utilizado.
- Fecha de realización de los ensayos.

3.6.4 Criterios de Aceptación y Rechazo

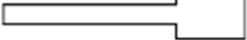
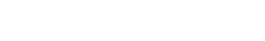
Los pilotes con mínimas reflexiones de la onda sónica a lo largo de la estructura pueden ser aceptados. En caso no se tenga una reflexión clara de la onda en la punta, como puede suceder en pilotes muy esbeltos, Se determinará por un especialista hasta que profundidad es algo alarmante.

En el caso de que se aprecien reflexiones significativas de la onda por encima de la punta del pilote, el especialista es quien dará su veredicto luego de evaluar los defectos en el pilote. Para esto hará uso de las gráficas de velocidad vs tiempo de cada pilote u otros métodos, también hará uso de información brindada por el contratista. Por su parte, si luego de la interpretación se determina que se tiene una reducción importante en la resistencia del pilote, este será rechazado. En los casos que no se pueda realizar una interpretación debido a graficas no claras estos serán dados como pilotes cuestionables.

En la figura 9 se muestra un catálogo de varios tipos de formas de los pilotes con su respectivo reflectogramas: (J. Amir, 2015)

Figura 9:

Catálogo de distintos pilotes con sus respectivos reflectogramas

PILE PROFILE	DESCRIPTION	REFLECTOGRAM
	Straight pile, free end, length as expected	
	Straight pile, fixed end, length as expected	
	Straight pile, free end, shorter than expected	
	Increased impedance	
	Decreased impedance	
	Locally increased impedance	
	Locally decreased impedance	
	High L/D ratio and/or high skin friction -no toe reflection	
	Multiple reflections from mid-length	
	Irregular profile - irregular reflectogram	

3.6.5 Acciones Correctivas

Los pilotes catalogados como cuestionables se les puede hacer estudios adicionales, como pruebas de cargas, sondeos con testigos del concreto, ensayos ultrasónicos “cross-hole” o desenterrar hasta cierta altura si la anomalía no esta tan profunda.

En caso de anomalías en la cabeza del pilote se puede tomar la decisión de reconstruirlo. Asimismo, todos los casos pueden ser nuevamente evaluados a través del ensayo de integridad de los pilotes reparados. (J. Amir, 2015)

3.7. Análisis de datos

3.7.1 Obtención de la velocidad de onda y longitud del pilote

La velocidad de onda en el concreto está en función a la resistencia y calidad del concreto. Por ende, la velocidad de onda para concreto pobre y de baja resistencia puede ser tan bajo como 3000 m/s, mientras que la velocidad de onda para concreto de buena calidad y resistencia puede ser tan alto como 4400 m/s.

La prueba PIT mide la señal versus el tiempo, el tiempo obtenido se convierte a longitud por la ecuación $T=2x/c$, donde x es la longitud y c es la velocidad de onda. Como resultado, la longitud en la gráfica es proporcional a la velocidad de onda asumida. Primero, un especialista debe asumir una velocidad de onda (3960 m/s), con los datos exactos del concreto vaciado se puede tener hasta una variación de solo el 10%, luego la velocidad se puede interpolar hasta estar lo más cercana posible a la velocidad teórica y así se obtiene la velocidad de onda y la longitud del pilote. Esto solo se puede realizar si se tiene un reflejo claro desde la punta del pilote.

3.7.2 Cuantificación de la variación de la Impedancia

Después de procesar las señales obtenidas se obtienen gráficos de velocidad en función del tiempo. Una vez conseguida la longitud del pilote y la velocidad de propagación, se continúa con verificación de la integridad, verificando cambios que tenga la señal, encontrando la ubicación de la señal anómala e indicando la magnitud del daño a través del Método Beta.

Para el cálculo del valor β es necesario determinar el valor de α , el cual está definido por (3).

$$\alpha = \frac{V_{daño}}{V_{impacto}} \quad (3)$$

Donde α es la relación entre la velocidad registrada en la prueba para la reflexión de daño identificado –onda reflejada– ($V_{daño}$), y la X de daño β es calculado con (4).

$$\beta = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \quad (4)$$

Según el valor del parámetro β , se puede estimar el daño en la sección transversal a través de la siguiente tabla:

Tabla 2.

Guía de valoración de daño con el parámetro BETA, β

Valor de Beta, (β)	Estado de fuste
100	Uniforme
80 - 100	Daño despreciable
60 - 80	Daño significativo
< 60	Pilote roto

Para la lectura del diagnóstico basado en las señales procesadas de la instrumentación según la metodología establecida se considera las siguientes definiciones:

Anomalía:

Reducción de la impedancia base del pilote o características de la sección del pilote.

Pilote Uniforme:

Pilote con longitud coincidente con las indicaciones del proyecto puede tener ensanchamientos o anomalías ligeras. Las anomalías ligeras son consideradas cuando hay una reducción aproximada de la impedancia de hasta un 10% con el procesamiento de la data obtenida.

Pilote Uniforme con Daño Despreciable:

Pilote con longitud coincidente con las indicaciones del proyecto y posible reducción de la impedancia teórica o características de la sección del pilote (geometría y/o calidad del concreto).

Las anomalías son consideradas cuando hay una reducción aproximadamente de la impedancia entre 10% a 20% con el procesamiento de la data obtenida.

Pilote con Daño a XX metros:

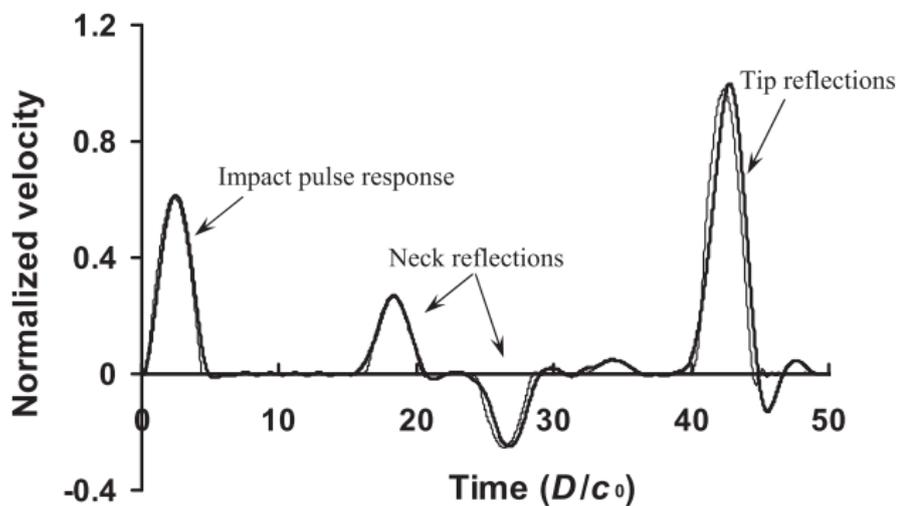
Pilote con longitud continua hasta la ocurrencia de una reflexión de la onda total (posibilidad de disminución de la sección en más del 20% del valor teórico en dicho punto), es decir, puede existir el caso de no evidenciar presencia de la punta teórica del pilote. (Pilote observado)

Lectura Gráfico de Prueba PIT

Para un correcto análisis se debe tener claro las principales partes y significado de la representación gráfica que brinda el acelerómetro al equipo PIT, a continuación, se muestra las principales

Figura 10:

Ejemplo de reflectograma



Eje X: Normalized velocity (Velocidad de Onda), Representa la velocidad de la onda generada desde el instante que se golpea la cabeza del pilote hasta su reflejo.

Eje Y: Tiempo, Representa la duración del golpe inicial hasta el reflejo de la onda.

Impact Pulse Responde (Pulso de Impacto Inicial), representa la magnitud del golpe inicial en la parte superior del pilote.

Neck Reflections (Reflexiones en Fuste del Pilote), representa las variaciones de onda que se pueden encontrar a lo largo de la longitud del pilote.

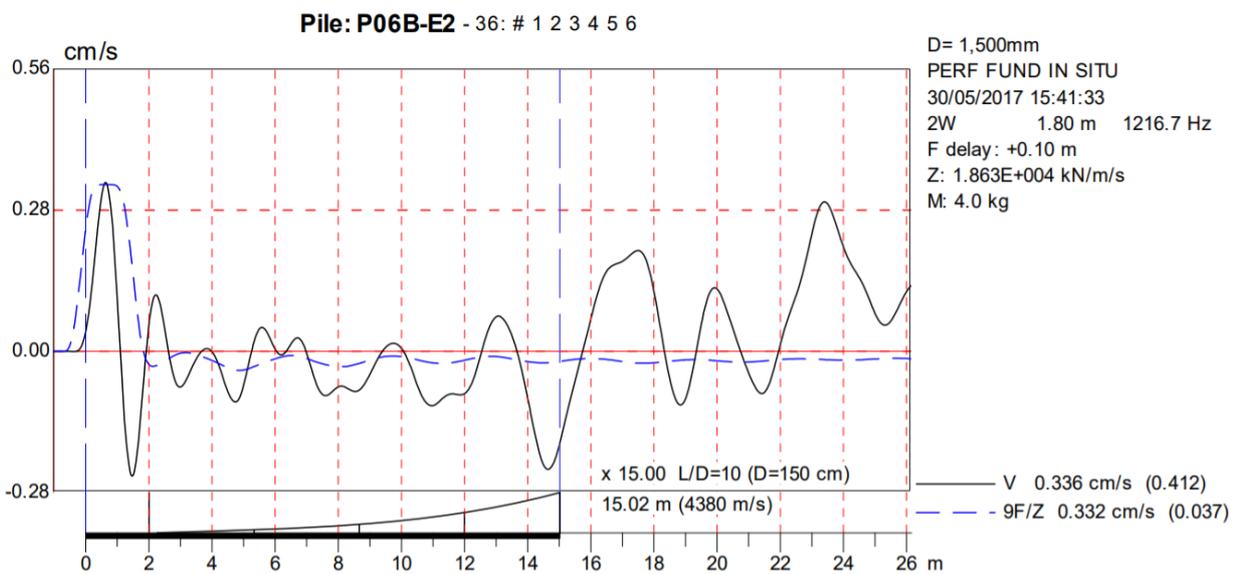
Tip Reflection (Reflection en la Punta de Pilote), representa la magnitud de la onda en la parte final de el pilote o Punta.

IV. RESULTADOS

Aplicando lo anterior, los ensayos realizados en el proyecto Vía Expresa Línea Amarilla, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 11:

ESTRIBO 02 – P06B



- a) **Velocidad de Onda: 4380 m/s**
- b) **Longitud de Pilote: 15.02 m.**
- c) **Diagnostico basado en impedancia**

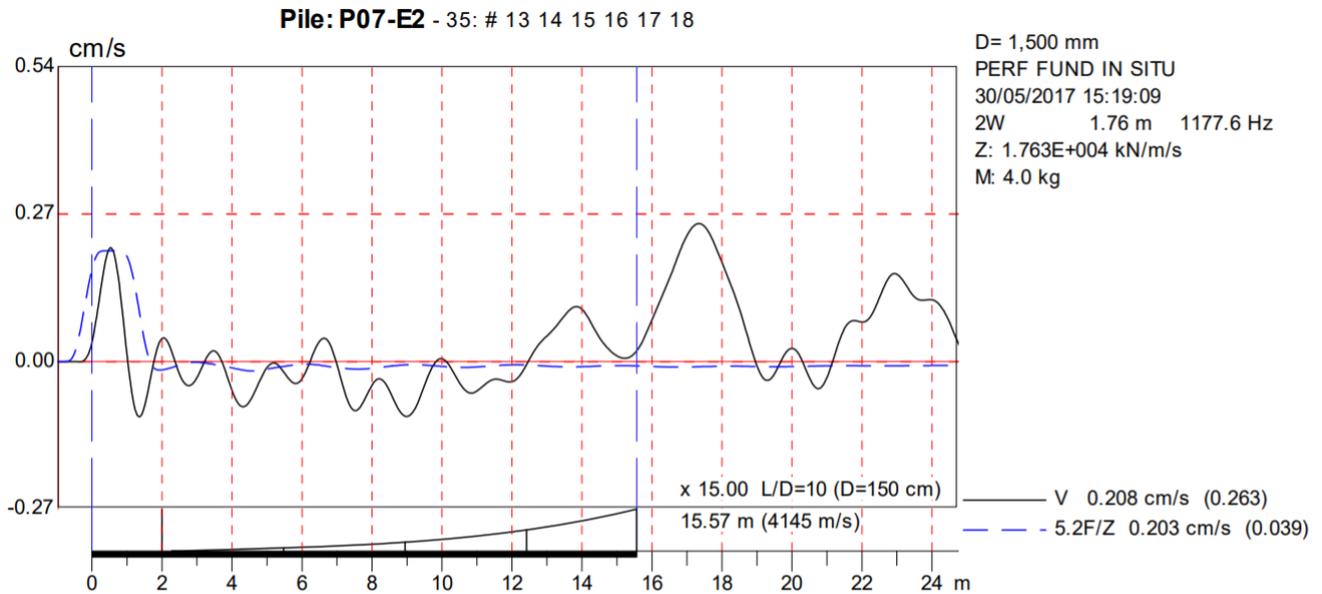
Según grafico se tiene los siguientes datos:

$$V_{\text{impacto}} = 0.336 \quad V_{\text{daño}} = 0.037$$

$$\alpha = \frac{0.037}{0.336} = 0.11$$

$$\beta = \frac{1 - 0.11}{1 + 0.11} = \frac{0.89}{1.11} = 0.8 = 80\%$$

Interpretación: Uniforme con daño despreciable

Figura 12:*ESTRIBO 02 – P07*

- Velocidad de Onda: 4145 m/s**
- Longitud de Pilote: 15.57 m.**
- Diagnóstico basado en impedancia**

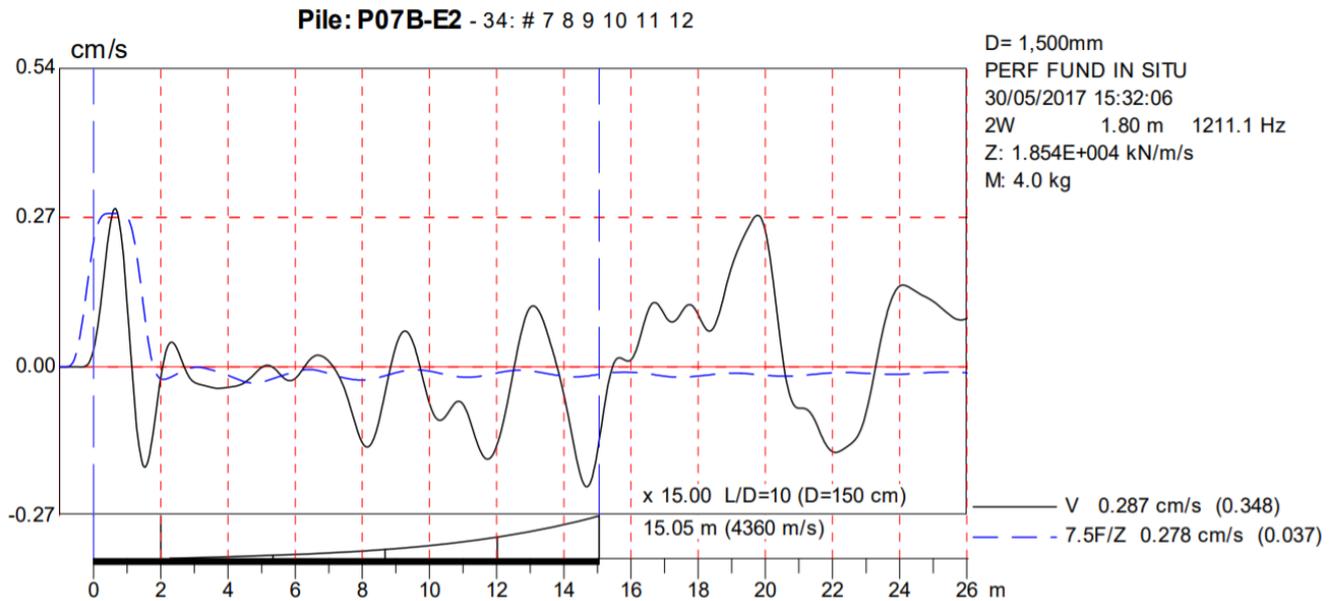
Según grafico se tiene los siguientes datos:

$$V_{\text{impacto}} = 0.208 \quad V_{\text{daño}} = 0.02$$

$$\alpha = \frac{0.02}{0.208} = 0.09$$

$$\beta = \frac{1 - 0.09}{1 + 0.09} = \frac{0.91}{1.09} = 0.83 = 83\%$$

Interpretación: Uniforme con daño despreciable

Figura 13:*ESTRIBO 02 – P07B*

- a) **Velocidad de Onda: 4360m/s**
- b) **Longitud de Pilote: 15.05 m.**
- c) **Diagnostico basado en impedancia**

Según grafico se tiene los siguientes datos:

$$V_{\text{impacto}} = 0.287 \quad V_{\text{daño}} = 0.03$$

$$\alpha = \frac{0.03}{0.287} = 0.1$$

$$\beta = \frac{1 - 0.1}{1 + 0.1} = \frac{0.9}{1.1} = 0.81 = 81\%$$

Interpretación: Uniforme con daño despreciable

En el pilote P06B se obtuvo una velocidad de 4380 m/s y una longitud de 15.02, a raíz de la iteración realizada. Al calcular la impedancia se verificó que no presenta un daño alguno considerable.

En el pilote P07 se obtuvo una velocidad de 4145 m/s y una longitud de 15.57, a raíz de la iteración realizada. Al calcular la impedancia se verificó que no presenta un daño alguno considerable.

En el pilote P07B se obtuvo una velocidad de 4360 m/s y una longitud de 15.05, a raíz de la iteración realizada. Al calcular la impedancia se verificó que no presenta un daño alguno considerable.

Tabla 3.

Resumen descriptivo de los valores de integridad de los pilotes

Pilote	Longitud Total (m)	Velocidad de Onda (m/s)	Diagnostico*
P06B ESTRIBO 02	15.02	4380	Daño despreciable
P07 ESTRIBO 02	15.57	4145	Daño despreciable
P07B ESTRIBO 02	15.05	4360	Daño despreciable

Nota. *basado en porcentaje de impedancia

V. DISCUSION DE RESULTADOS

El presente estudio se realizó en base al análisis de integridad PIT realizado a los 3 pilotes, permitiéndonos confirmar o negar las hipótesis planteadas. Además, concluir si se cumplen o no los objetivos de la investigación.

En cimentaciones profundas en la construcción no está disponible ver el resultado debido a que se encuentra enterrado para una inspección visual, regularmente el control de calidad, según la Norma E.060 de Concreto armado, es realizado a través de procesos indirectos como control de equipos, resistencia del concreto, etc.. Por ende, para una visión más clara de la calidad del producto final se realiza la prueba de integridad.

En los últimos años un mayor crecimiento en las construcciones ha requerido una evaluación de cimientos existentes para mejorar o remodelar. En algunos casos, sin embargo, especialmente en el caso de estructuras antiguas o historias, muy poca o ninguna información está disponible de los cimientos actuales para la estructura. En tales casos, el uso del PIT es una herramienta valiosa no solo para obtener información sobre la calidad de la construcción de los cimientos sino también de la longitud de los pilotes. Tal información proporcionará los parámetros esenciales para realizar una evaluación de los pilotes para la construcción prevista.

Sobre los hallazgos se puede resaltar:

En caso de la longitud de pilote se determinó que en los 3 casos está en el rango de 15.00 a 15.57 metros, lo cual indica que está dentro del rango de la longitud teórica de 15.00 metros, esto implica que se tiene un fuste en buen estado.

El valor de velocidad de onda, al no estar por encima ni por debajo del 10% de 3960 m/s, implica que el análisis realizado fue correcto e indica una buena calidad de concreto utilizado.

El valor de la impedancia al encontrarse en el 80%, indica un pilote continuo con daños despreciables para el correcto funcionamiento quizás debido al momento de el vaciado.

Todos estos hallazgos están validados por normativa E.050 con respecto a cimentaciones profundas, como primer fuente de respaldo, pero en caso se tengan resultados negativos o aún se tengan dudas sobre el estado del pilote enterrado, se debe realizar otro tipo de pruebas ya físicas al pilote observado, en primera instancia realizar el desenterrado del pilote para la observación y aseguramiento del estado de este.

Realizando un contraste con los antecedentes presentados en este estudio, con respecto a Strano & Morales (2019) y Beim et al. (2019) se tratan de comparaciones de un método numérico con respecto al método PIT, donde se puede verificar que de igual forma que este estudio, se mantienen los criterios de encontrar el valor de la velocidad de onda y que este dentro de lo mencionado en norma ASTM D 5882 como parte de los pasos para identificar la integridad del pilote.

En el ensayo numérico se logra verificar como la predicción de la amortiguación modelo numérico fue similar a la observada en el campo al realizar la prueba PIT, es posible concluir que, con informes PIT y adoptando correlaciones con el módulo de elasticidad del suelo a bajas deformaciones, es posible pronosticar para una condición específica, cuál sería aproximadamente la relación L/D del límite del pilote (longitud dividida por la de diámetro)

para que la prueba de integridad de baja tensión sea aplicable, antes de su realización. En las simulaciones realizadas este límite.

Se encontró que la relación era aproximadamente igual a 30. Si la necesidad de amplificación de la señal de la punta del pilote obtenida en la simulación es muy alta, la prueba de campo probablemente no ofrecerá resultados satisfactorios.

Se recomienda un límite de unas 25 veces para la amplificación. La razón para adoptar este límite es que en simulaciones realizadas fuera, cuando el factor adoptado era superior a éste, algunos se observaron distorsiones en el reflectograma enfatizando reflejos intermedios y efectos del suelo haciéndolo difícil interpretar los resultados.

Es importante destacar que en los casos en que hay muchos reflejos intermedios y pérdida de energía del impacto a lo largo del eje por factores no incluido en la simulación numérica, el amortiguamiento real será mayor de lo esperado numéricamente.

Con respecto al estudio Santos-Melgarejo (2016), a diferencia de este estudio se realizó la evaluación de 19 pilotes de los cuales se encontraron 5 con deformaciones, por lo cual se puede contrastar que una mayor evaluación sirve para identificar de manera más acertada el estado de los pilotes de un proyecto.

De la evaluación y clasificación de los registros en el antecedente se obtuvo: De todos los pilotes se pudo recolectar registros interpretables de buena calidad. En 13 de ellos, se tuvo una buena señal de la reflexión proveniente de la punta del pilote en sin tener algún rebote

intermedio que evidencie una reducción de la impedancia que puedan relacionarse con defectos estructurales del pilote.

En otros 3 pilotes no se identificó totalmente la señal de reflexión proveniente de la punta del pilote. Sin embargo, no se presentaron rebotes intermedios.

En 5 pilotes se evidenciaron revotes intermedias por reducción de la impedancia del pilote. Estas no se consideraron grandes reducciones de la impedancia y en la investigación se las relaciona con una disminución mínima de la sección del pilote o resistencia del concreto. No obstante, existe continuidad estructural debido a que se recepciona adecuadamente la señal de la reflexión proveniente de la punta del pilote y se puede determinar fehacientemente su longitud. A diferencia de la presente investigación al no contar con ninguno de los 3 pilotes con disminución de impedancia no se requiere realizar un análisis geotécnico para determinar algún factor, lo que si se puede resaltar de es que en caso de el antecedente se presentó una disminución debido a factores geotécnicos posiblemente generados al momento del vaciado, en todo caso se confirma la importancia de un correcto proceso constructivo durante la construcción.

En base a nuestros resultados se generan nuevas preguntas se generan a raíz de este estudio como si existe una cantidad mínima requerida para el análisis de pilotes, qué resultados se obtendrán al realizar la prueba luego de unos años del primer ensayo y qué factores permiten que se mantenga la buena calidad de un pilote luego de su vaciado.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1** En caso de la longitud de pilote se determinó que en los 3 casos está en el rango de 15.00 a 15.57 metros, lo cual indica que está dentro del rango de la longitud teórica de 15.00 metros, esto implica que se tiene un fuste en buen estado.
- 6.2** El valor de velocidad de onda, al no estar por encima ni por debajo del 10% de 3960 m/s, implica que el análisis realizado fue correcto e indica una buena calidad de concreto utilizado.
- 6.3** El valor de la impedancia al encontrarse en el 80%, indica un pilote continuo con daños despreciables para el correcto funcionamiento quizás debido al momento de el vaciado. determinando que los pilotes son uniformes y con daños despreciables

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Realizar la prueba a una mayor cantidad de pilotes para mayor exactitud del estado de las cimentaciones.
- 7.2 Aplicar otros análisis que permitan identificar fallas iniciales con la finalidad de poder tomar decisiones preventivas
- 7.3 Cuando la prueba de integridad detecta una anomalía resulta necesario corroborar su localización y magnitud con precisión, a fin de determinar la viabilidad del pilote, ya sea para su reparación o su rechazo, ejecutando uno nuevo.

V. REFERENCIAS

- Amir, J. (2015). *Pile Testing*. Kindle. <https://www.amazon.com/PILE-INTEGRITY-TESTING-about-methods-ebook/dp/B08R7MP32K>
- ASTM. (2016). *Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations*. <https://www.astm.org/d5882-16.html>
- Baker, C. N., y Khan, F. (1971). Caisson Construction Problems and Correction in Chicago. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, (pp. 417-440). <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001550>
- Beim, J., Rosa, R., Albuquerque, P., y Mantovani, F. (2019). *Comparison of Test Pile Profiles with Simulated Low-Strain Integrity Test Data* (pp. 159-168). <https://doi.org/10.1520/STP161120170156>
- El Peruano. (2018). *Resoluciones Ministeriales que modifican la Norma Técnica EM.020 Instalaciones de Telecomunicaciones y la Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones-RESOLUCION MINISTERIAL-N°s 400 y 406-2018-VIVIENDA*. <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/resoluciones-ministeriales-que-modifican-la-norma-tecnica-em-resolucion-ministerial-ns-400-y-406-2018-vivienda-1718935-1/>
- Infraestructura. (s. f.). *Línea amarilla, Integradora megaobra vial*. (pp. 23-34). <https://peruconstruye.net/wp-content/uploads/2018/11/PC51.pdf>
- Jiménez, J., y Morales, M. Á. (2015). Estudio sobre la problemática para la verificación de la integridad de pilotes hormigonados “in situ “. *IN SITU*, 1, 75. <https://core.ac.uk/download/pdf/289992838.pdf>
- Kenneth, X. (2000). *General analysis of pile foundations and application to defective piles* [Sidney]. <http://hdl.handle.net/2123/1754>
- Moreno, A. (2004). *Cimentaciones Profundas: Pilotes*. MUSAAT.

<https://www.riarte.es/bitstream/handle/20.500.12251/534/CERCHA%20127%20FEBRERO%2016.%20pp.%2056-63.%20Fichas%20Fundaci%C3%B3n%20MUSAAT.%20Cimentaciones%20profundas%20%20pilotes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Poulos, H. G. (2005). Pile Behavior—Consequences of Geological and Construction Imperfections1. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(5), (pp. 538-563). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:5\(538\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:5(538))

Rodríguez, M. A., y Torpoco, F. A. (2016). *Manual de construcción e instalación de pilotes según la práctica de empresas especializadas en el Perú*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6627>

Rodriguez-Ordoñez, J. A., y Restrepo-Botero, V. H. (2020). *Análisis espectral de propagación de ondas para análisis de pruebas de integridad de pilotes | Ingeniería y Universidad*. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/915>

Santos Melgarejo, Y. (2016). *Aplicación de la Prueba de Integridad de Pilotes en puentes de Cayo Cruz, Camagüey* [Thesis, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Civil]. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/6961>

Strano, R., y Morales, A. (2020). Low strain integrity tests in piles – 1-D and 3-D numerical modeling and comparisons with results obtained in the field. *Multi-Science Journal*, 2, 1. <https://doi.org/10.33837/msj.v2i3.878>

Sulzer, M. (s. f.). *Aplicación de muros de pilotes en obras viales en lima*. 1. <https://www.terratest.cl/wp-content/uploads/2020/02/Pilotes-terratest-Muros-pilotes-obras-viales-mariano-saucedo.pdf>

VI. ANEXOS

ANEXO A.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACION DE PILOTES CIRCULARES PARA CIMENTAR EL VIADUCTO ENTERRADO N°1 DE LA VIA EXPRESA LINEA AMARILLA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE INTEGRIDAD PIT (ASTM D5882), LIMA-PERU			
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	DIMENSION
¿Cómo se verifica la calidad de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?	Evaluar la calidad de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	Se verifico la calidad de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	<p>Indicadores de la variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medida Longitudinal de cabeza a punta del pilote - $Z = EA/c$ E: Módulo Elasticidad A: Area sección transversal del pilote c=Velocidad de propagación de onda - $c = \sqrt{E/\rho}$ E: Módulo Elasticidad p: Densidad de material <p>Indicadores de la variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> F'c= Resistencia a la compresion del concreto Cloruros 8.1% Sulfatos 19.3% S.S.T 14.6% Cemento tipo V debido al suelo agresivo
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	
1) ¿Cuál es la longitud de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?	1) Calcular la longitud de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	1) La longitud de los pilotes circulares ensayados durante la evaluación coincide con la longitud teórica, para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	<p>Dimension de la variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Longitud de Pilotes - Impedancia (Z) - Velocidad de Propagacion de Onda (c) - Area de Sección trasversal (A) <p>Dimension de la variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia del concreto - Contenido de sales y sulfatos - Tipo de cemento
2) ¿Cuánto es el valor de la impedancia de los pilotes para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?	2) Calcular la longitud de los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	2) La impedancia de los pilotes circulares ensayados durante la evaluación no sufrió ningún tipo de anomalías, para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	<p>Variables Independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de pilotes circulares <p>Variable Dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa Linea Amarilla
3) ¿Qué velocidad de propagación de onda se calculó en los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú?	3) Indicar la velocidad de propagación de onda en los pilotes circulares para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	3) La velocidad de propagación de onda en los pilotes circulares ensayados durante la evaluación coincide con la velocidad teórica, para cimentar el viaducto enterrado N°1 de la Vía Expresa - Línea Amarilla mediante la aplicación de la prueba de integridad PIT (ASTM D5882), Lima-Perú.	

ANEXO B.**MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES**

Tesis: "EVALUACION DE PILOTES CIRCULARES PARA CIMENTAR EL VIADUCTO ENTERRADO N°1 DE LA VIA EXPRESA LINEA AMARILLA MEDIANTE LA APLICACION DE LA PRUEBA DE INTEGRIDAD PIT (ASTM D582) , LIMA-PERU"					
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
VARIABLE INDEPENDIENTE Evaluación de Pilotes Circulares	Consiste en efectuar la verificación del buen estado físico al 100% de los pilotes instalados mediante la ejecución de pruebas de integridad de bajo impacto según lo indicado en la Norma ASTM D 582. Según la NTP E 050	Consiste en verificar la longitud e integridad del pilote, mediante la lectura e interpretación de la grafica de velocidad de onda vs tiempo donde según esta se verificara el estado del pilote.	Longitud de Pilotes (metros) Impedancia (ohm) Velocidad de Propagación de Onda (m/s) Área sección transversal del pilote (m ²)	Medida Longitudinal de cabeza a punta del pilote Z= EA/c Impedancia E: Módulo Elasticidad A: Área sección transversal del pilote c=Velocidad de propagación de onda c=VE/p E: Módulo Elasticidad p: Densidad de material	VARIABLE Cuantitativa POR SU NATURALEZA DE VALORES Continúa POR SU NATURALEZ DE MEDICION Intervalo
VARIABLE DEPENDIENTE Cimentar el Viaducto enterrado N°1 de la Via Expresa Linea Amarillada	La cimentación es parte de la estructura. Que transmite al subsuelo las cargas de la estructura. Según la NTP E 050	Consiste en realizar un correcto control de calidad previo, durante y después de realizar el vaciado de los pilotes cíclicos en el viaducto enterrado N°1 de la via expresa línea amarilla.	Resistencia Concreto (F'c) Contenido de sales y sulfatos (%) Tipo de Cemento	F'c= Resistencia a la compresion del concreto Cloruros 0.1% Sulfatos 10.3% S.S.T 14.6% Cemento tipo V debido al suelo agresivo	VARIABLE Cuantitativa POR SU NATURALEZA DE VALORES Continúa POR SU NATURALEZ DE MEDICION Intervalo

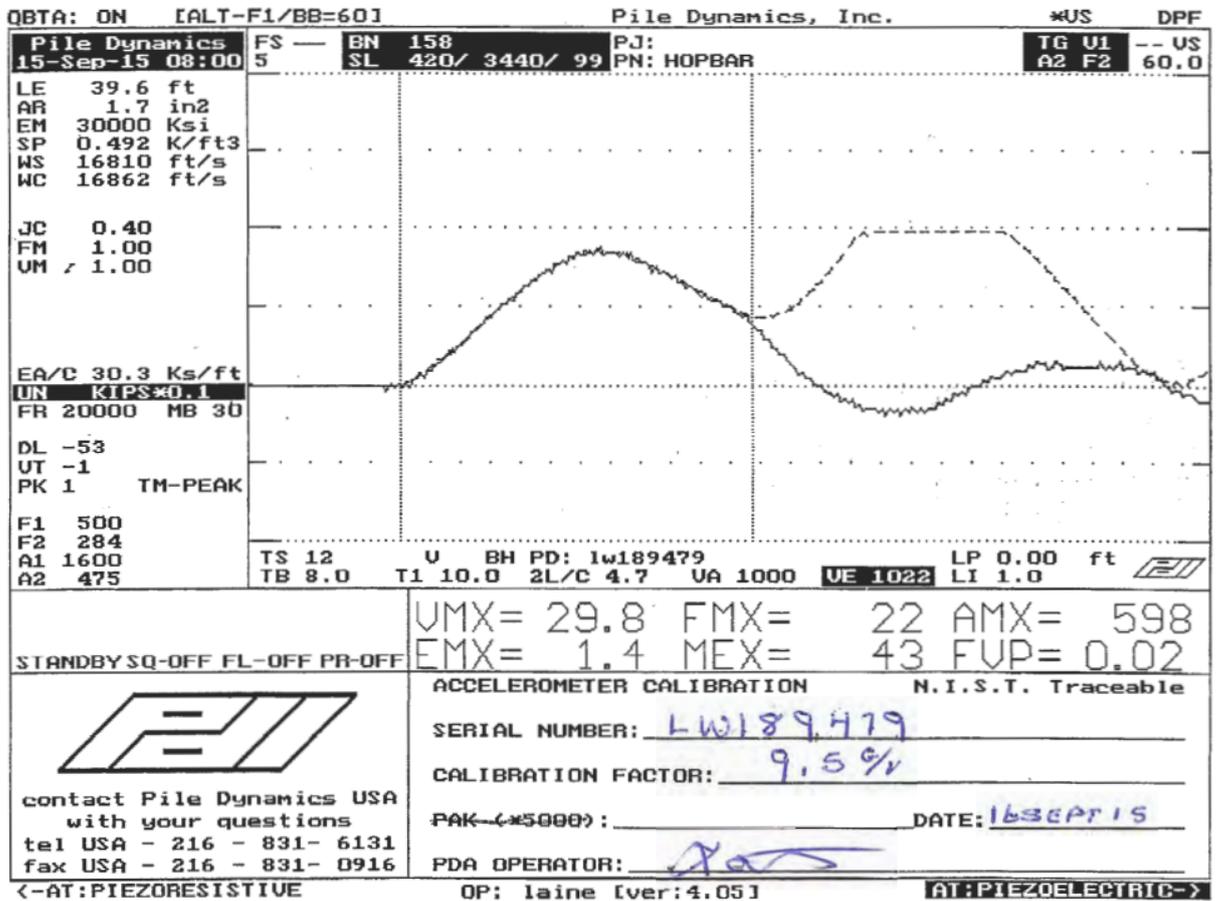
ANEXO C.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

REGISTRO		Gym.SGC.PCT.1855.018-F1		
AREA DE PRODUCCION Y CALIDAD		Revisión: 0A		
PROTOCOLO PRUEBA DE INTEGRIDAD PILOTES (PIT) ASTM D 5882		Fecha: 09/05/17		
		Página 1 de 1		
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO: 1855 - Infraestructura Línea amarilla - Vincci.		N° CORRELATIVO:		
CLIENTE: LAMSAC.	UBICACIÓN: Cercado de lima - Lima.	FECHA: 30/05/17		
FRENTE: RIESGO GEOLOGICO	SECTOR:			
TRAMO: VIADUCTO ENTERRADO 01				
DESCRIPCIÓN: ESTRIBO-02	PLANO / DOC. REF.:			
Fecha: 30/05/17	Hora de Inicio: 15h 30	Hora de Termino:	15h 39	
INFORMACION GENERAL		PILOTE DE ENSAYO		
Cliente: LAMSAC	Obra: VIADUCTO ENTERRADO 01	Código en Proj. PN	P7B-E2	
	ESTRIBO-02	Datos del Pilote:	f'c = 310 Kg/cm²	
Lugar: LIMA - PERU	Fabricante del Pilote: SOLETANCHE BACHY PERU	Diámetro	# 1.50 m	
Tipo de Pilote: PERF. FUND. IN SITU		Área de sección (cm²)	17,671.5	
		Perímetro (m)	4.7124	
		Sección Liéna (cm²)	17,671.5	
		Fecha Instalación	11/05/17 Instr.: días	
INSTALACION DEL PILOTE		VISTA FRONTAL:		
Tipo de Equipo	PERFORADORA			
	CASA GRANDE BS 200			
RAM (ton)				
Energía Fab. (Ton-m)				
Δvolumen:	28.27 m³ (teórico) - 35 m³ (campo)			
VISTA DE PLANTA				
<p>(+) PUNTO INSTRUMENTADO CON ACCELEROMETRO</p>				
SENSORES UTILIZADOS DURANTE LA INSTRUMENTACION EN CAMPO				
Acelerometro Top-Pile:	<input checked="" type="checkbox"/>	LW 189 419 (9.5)		
Acelerometro Side-Pile:	<input type="checkbox"/>			
Acelerometro Side-Pile:	<input type="checkbox"/>			
Martillo Instrumentado:	<input checked="" type="checkbox"/>	50469 (1120)		
Martillo No Instrumentado:	<input type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES				
7				
JEFE / SUPERVISOR DYNAMIC CONTROL:	CONSTRUCCION GyM	CALIDAD GyM	CONTROL EXTERNO	VºBº SUPERVISIÓN DE OBRA
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: Julio Lara	Nombre: J.C. Castillo	Nombre: Ruben Urbas	Nombre:	Nombre:
Cargo: ING. ESP.	Cargo: Sup. Campo	Cargo: INSP. DUBOD	Cargo:	Cargo:
Fecha: 30/05/17	Fecha: 30/05/17	Fecha: 31/05/17	Fecha:	Fecha:

REGISTRO		GyM.SGC.PCT.1855.018-F1		
ÁREA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD		Revisión: 0A		
PROTOCOLO PRUEBA DE INTEGRIDAD PILOTES (PIT) ASTM D 5882		Fecha: 09/05/17		
		Página 1 de 1		
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO: 1855 - Infraestructura Línea amarilla - Vincci.			N° CORRELATIVO:	
CLIENTE: LAMSAC.		UBICACIÓN: Cercado de lima - Lima.	FECHA: 30/05/17	
FRETE: RIESGO GEOLOGICO		SECTOR:		
TRAMO: VIADUCTO ENTERRADO 01		PLANO / DOC. REF.:		
DESCRIPCIÓN: ESTRIBO - 02				
Fecha: 30/05/17	Hora de Inicio: 15h15	Hora de Terminó: 15h30		
INFORMACION GENERAL		PILOTE DE ENSAYO		
Cliente: LAMSAC	Obra: VIADUCTO ENTERRADO 01	Código en Proj. PN	P07-ES 02	
	ESTRIBO - 02	Datos del Pilote:	f _c = 310 kg/cm ²	
Lugar: LIMA - PERU	Fabricante del Pilote: SOLETANCHE BACHY PERU	Diámetro	# 1.50m	
Tipo de Pilote: PERE. FUND. IN SITU		Área de sección (cm ²)	17,671.5	
		Perímetro (m)	4.7124	
		Sección Llena (cm ²)	17,671.5	
		Fecha Instalación	30/04/17 Instr: días	
INSTALACION DEL PILOTE		VISTA FRONTAL:		
Tipo de Equipo	PERFORADO RA			
	CASA GRANDE BS 200			
RAM (ton)				
Energía Fab. (Ton-m)				
ΔVolumen:	28.27 (teórico) - 35m ³ (real)			
VISTA DE PLANTA				
<p>(+) PUNTO INSTRUMENTADO CON ACELEROMETRO</p>				
SENSORES UTILIZADOS DURANTE LA INSTRUMENTACION EN CAMPO				
Acelerometro Top-Pile:	<input checked="" type="checkbox"/>	LW189.419 (9.5)		
Acelerometro Side-Pile:	<input type="checkbox"/>			
Acelerometro Side-Pile:	<input type="checkbox"/>			
Martillo Instrumentado:	<input checked="" type="checkbox"/>	50469 (1120)		
Martillo No Instrumentado:	<input type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES				
T				
JEFE / SUPERVISOR DYNAMIC CONTROL:	CONSTRUCCIÓN GyM	CALIDAD GyM	CONTROL EXTERNO	VºBº SUPERVISIÓN DE OBRA
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
Nombre: Julio Lana	Nombre: J.C. Castillo M.	Nombre: Ruben Celos	Nombre:	Nombre:
Cargo: ING. ESPEC.	Cargo: Sup. campo	Cargo: INSP. CALIDAD	Cargo:	Cargo:
Fecha: 30/05/17	Fecha: 31/05/17	Fecha: 31/05/17	Fecha:	Fecha:

ANEXO D.
CALIBRACION DE EQUIPO PIT



QBTA: ON [ALT-F1/BB=60]

Pile Dynamics, Inc.

DPF

File Dynamics 23-Feb-17 01:14 FS 10 BN 13 SL 384/ 3440/ 2 PJ: PN: HOPBAR TG F2 -- US A2 F2 3.3

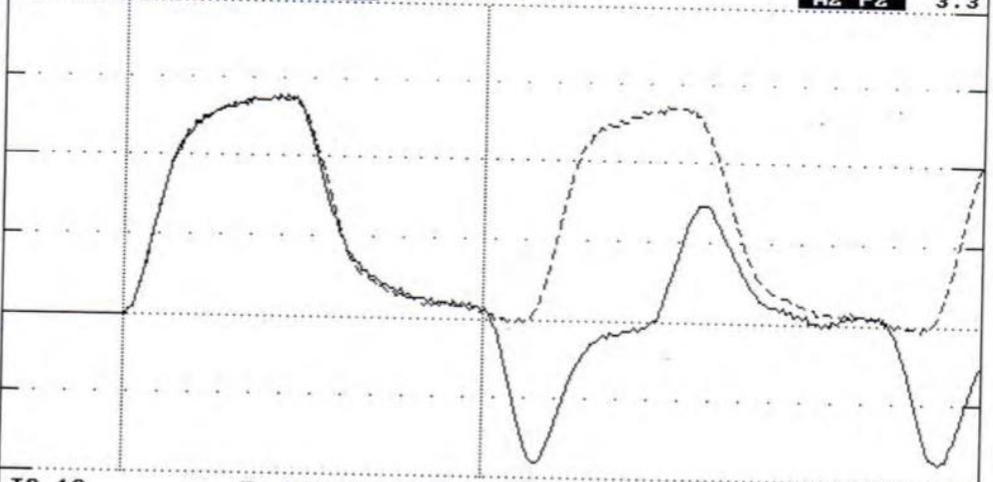
LE 39.6 ft
AR 1.7 in2
EM 30000 Ksi
SP 0.492 K/ft3
WS 16810 ft/s
WC 16862 ft/s

JC 0.40
FM 1.00
UM 1.00

EA/C 30.3 Ks/ft
UN KIPS*0.1
FR 20000 MB 30

DL -39
UT -48
PK 1 TM-PEAK

F1 500
F2 213
A1 999
A2 560



TS 12 B PD: 50469-a75 LP 0.00 ft
TB 8.0 T1 9.6 2L/C 4.7 UA 1000 UE 1022 LI 1.0

ACCEPT SQ-OFF FL-OFF PR-OFF

VMX= 2.3 FMX= 70 AMX= 129
EMX= 0.5 MEX= 137 FUP= 1.00



contact Pile Dynamics USA
with your questions
tel USA - 216 - 831- 6131
fax USA - 216 - 831- 0916

ACCELEROMETER CALIBRATION N.I.S.T. Traceable
SERIAL NUMBER: 50469
CALIBRATION FACTOR: 1120 %/V
PAK (*5000): DATE: 24 FEB 17
PDA OPERATOR: [Signature]

<-AT:PIEZORESISTIVE

OP: laine [ver:4.05]

AT:PIEZOELECTRIC->

ANEXO E.

PANEL FOTOGRAFICO



Foto 01. VISTA DE ESTRIBO 02 – VIADUCTO 01



Foto 02. VISTA DE INSTRUMENTACION DE PILOTE P07 – ESTRIBO 02



Foto 03. VISTA DE INSTRUMENTACION DE PILOTE P07B – ESTRIBO 02



Foto 04. VISTA DE INSTRUMENTACION DE PILOTE P06B – ESTRIBO 02