

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD EN LOS PROCESOS  
CONSTRUCTIVOS DE PILOTES EXCAVADOS DE CONCRETO  
ARMADO”**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. PARDO FATTORINI, Emilio José**

**Bach. RUIZ RIOS, Carlos Alberto**

**ASESOR: Mg. Ing. TORRES PÉREZ, Enrique**

**LIMA - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Quiero agradecer a mis padres por confiar en mí, por su apoyo incondicional que me vienen brindando, por sus consejos, comprensión y cariño, sin dejar de lado a mis hermanos que estuvieron a mi lado en este proceso; en general les doy las gracias a mi familia por siempre estar ahí ayudándome cumplir con mis metas y objetivos.

Emilio José Pardo Fattorini

Dedico esta tesis a toda mi familia, de quienes recibí constante apoyo y aliento durante el desarrollo de esta tesis y a lo largo de mi carrera universitaria. A mis amigos, compañeros de trabajo y jefes de quienes recibí soporte en todo momento.

Carlos Ruiz Rios

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro sincero agradecimiento a todos nuestros profesores y asesores de la Universidad Ricardo Palma por habernos brindado todos los conocimientos de la carrera; a la empresa Soletanche Bachy Perú por todo el aprendizaje brindado de las obras que desarrolla y a todas las personas que nos apoyaron durante el desarrollo de esta tesis.

Emilio José Pardo Fattorini

Carlos Alberto Ruiz Rios

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	12
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos.....	14
1.1.1. Problema General.....	16
1.1.2. Problemas Específicos .....	16
1.2. Objetivo general y específico.....	16
1.2.1. Objetivo general.....	16
1.2.2. Objetivos específicos .....	16
1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática .....	17
1.4. Justificación e importancia.....	18
1.4.1. Justificación del estudio .....	18
1.4.2. Importancia del estudio .....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	19
2.1. Antecedentes del estudio de investigación.....	19
2.1.1. Investigaciones relacionadas con la investigación .....	20
2.2. Bases teóricas y científicas que sustenta la investigación.....	25
2.2.1. Pilotes.....	25
2.2.2. Procesos constructivos de pilotes excavados .....	29
2.2.3. Calidad .....	63
2.2.4. Control de calidad .....	66
2.3. Definición de términos básicos .....	69
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	71

3.1.	Tipo y nivel .....	71
3.1.1.	Tipo de investigación .....	71
3.1.2.	Nivel de la investigación .....	71
3.1.3.	Orientación de la investigación .....	71
3.1.4.	Enfoque de la investigación .....	72
3.1.5.	Fuentes de información .....	72
3.2.	Diseño de la investigación .....	72
3.3.	Población y muestra .....	72
3.4.	Variables .....	75
3.4.1.	Definición conceptual de variables .....	75
3.4.2.	Operacionalización de las variables .....	78
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	78
3.5.1.	Tipos de técnicas e instrumentos .....	79
3.5.2.	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos .....	79
3.5.3.	Procedimientos para la recolección de datos.....	79
3.6.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	80
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....		81
4.1.	Descripción del proyecto.....	81
4.2.	Normativas utilizadas en esta investigación.....	82
4.2.1.	Nacionales .....	82
4.2.2.	Internacionales .....	83
4.3.	Procesos constructivos .....	85
4.3.1.	Fluido de excavación.....	88
4.3.2.	Excavación .....	91
4.3.3.	Armadura de refuerzo .....	95

4.3.4. Vaciado de concreto.....	99
4.4. Manual de control de Calidad para un Proyecto .....	105
CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACION .....	108
5.1. Resultados de la Investigación .....	108
5.2. Análisis e interpretación de los resultados .....	108
5.3. Discusión.....	110
CONCLUSIONES .....	112
RECOMENDACIONES .....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
ANEXOS .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Parámetros del fluido de excavación .....	32
<b>Tabla 2:</b> Área mínima de refuerzo longitudinal .....	48
<b>Tabla 3:</b> Comparación de espaciamientos para pilotes excavados.....	50
<b>Tabla 4:</b> Criterios de aceptación del Índice de Estabilidad Visual.....	57
<b>Tabla 5:</b> Valores objetivo de consistencia y tolerancia del concreto fresco en diferentes condiciones.....	58
<b>Tabla 6:</b> Población y muestra de estudio .....	74
<b>Tabla 7:</b> Definición de variables .....	77
<b>Tabla 8:</b> Operacionalización de variables .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Balanza de lodos.....	32
<b>Figura 2:</b> Elutriómetro.....	35
<b>Figura 3:</b> Lectura de cake.....	36
<b>Figura 4:</b> Probeta de filtrado .....	37
<b>Figura 5:</b> Lectura de Ph.....	38
<b>Figura 6:</b> Equipo con sistema Kelly.....	40
<b>Figura 7:</b> Ilustración de equipo con sistema Kelly.....	40
<b>Figura 8:</b> Ilustración del equipo con hélice continua .....	41
<b>Figura 9:</b> Equipo con sistema hélice continua .....	41
<b>Figura 10:</b> Equipo con balde cortador.....	42
<b>Figura 11:</b> Balde cortador o carrotier.....	43
<b>Figura 12:</b> Elementos de corte .....	44
<b>Figura 13:</b> Herramientas de perforación .....	44
<b>Figura 14:</b> Definición de términos de desviación de construcción geométrica. ....	46
<b>Figura 15:</b> Armadura de refuerzo.....	48
<b>Figura 16:</b> Muestras de concreto para índice de Estabilidad Visual .....	56
<b>Figura 17:</b> Resultado de ensayo de asentamiento .....	58
<b>Figura 18:</b> Ensayo de asentamiento .....	58
<b>Figura 19:</b> Ubicación de la línea 2 del Metro de Lima .....	81
<b>Figura 20:</b> Muro guía .....	92
<b>Figura 21:</b> Inicio de excavación con balde cortador .....	93
<b>Figura 22:</b> Izaje de armadura de refuerzo .....	96
<b>Figura 23:</b> Colocación de armadura.....	97
<b>Figura 24:</b> Vaciado de concreto .....	102



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Matriz de consistencia.....	119
<b>Anexo 2:</b> Aplicación del control del fluido de excavación.....	120
<b>Anexo 3:</b> Aplicación del control de verticalidad .....	121
<b>Anexo 4:</b> Aplicación del control de armadura .....	122
<b>Anexo 5:</b> Aplicación del control de vaciado de concreto .....	123
<b>Anexo 6:</b> Aplicación de gráfica de control de vaciado .....	124
<b>Anexo 7:</b> Propuesta de manual de control de calidad.....	125

## RESUMEN

La presente tesis es documental y de enfoque cualitativo, trata sobre una propuesta guía para la elaboración de un Manual de Control de Calidad en los Procesos Constructivos de Pilotes Excavados de Concreto Armado. Actualmente existe el inconveniente de que estas estructuras, pilotes excavados, son relativamente nuevos en el país y, a su vez, se incorporan más organizaciones que emplean técnicas y metodologías para mejorar la calidad de sus proyectos, lo cual nos lleva a plantear nuestros objetivos a esta investigación. Se plantea el diseño guía de un Manual de control de calidad con la finalidad de que un proyecto de ejecución de pilotes excavados obtenga todos los beneficios que ofrece contar con la implementación de un sistema de calidad para así cumplir con eficacia los objetivos planteados como proyecto. Al hablar de manual de control de calidad hacemos una declaración de los principios generales que se usarán para la ejecución de los procesos constructivos, así como los controles y responsabilidades que serán establecidos. Esto estará reflejado en una serie de documentos de control de calidad que serán aplicables con el objetivo de desarrollar, mantener y asegurar la calidad de un proyecto. Desarrollamos un caso práctico aplicando los controles de calidad propuestos en un proyecto de pilotes excavados donde se tuvo la oportunidad de participar. Se mencionaron los procesos del fluido de excavación, excavación, armadura de refuerzo y vaciado de concreto tremie. Concluida la aplicación de los controles propuestos, se procedió a evaluar y analizar los datos obtenidos, para así conseguir conclusiones y recomendaciones que sustenten nuestros objetivos planteados.

Palabras claves: Manual, control, calidad, proceso Constructivo, pilote, especificaciones técnicas.

## **ABSTRACT**

This thesis is documentary and with a qualitative approach, it deals with a guide proposal for the elaboration of a Quality Control Manual of Reinforced Concrete Bored Piles Construction Processes. Nowadays, there is a disadvantage with these structures, bored piles, because these are relatively new in the country, in addition to this, more organizations are incorporating applying new techniques and methodologies to improve quality in their projects, which leads us to consider our objectives in this investigation. The guiding design of a Quality Control Manual in a bored pile execution project is proposed to obtain all the benefits offered by the implementation of a quality system to effectively meet the objectives set as a project. When talking about a quality control manual, we make a statement of the general principles that will be used in the construction processes execution, as well as the controls and responsibilities that will be established in it. This will be reflected in a series of quality control documents that will be applicable to develop, maintain and ensure the quality of a project. We developed a practical case applying the quality controls proposed in a bored pile execution project where we had the opportunity to participate. We talked about excavation fluid processes, excavation, steel reinforcing, and tremie concrete pouring. Once the application of the quality controls in the studied bored pile was concluded, we proceeded to evaluate and analyse the data obtained, to reach conclusions and recommendations that support our proposed objectives.

**Keywords:** Manual, control, quality, construction process, bored pile, technical specifications.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día ya se ha demostrado con hechos que existen numerosas teorías sobre la importancia del control de la calidad en las organizaciones y cómo estas se deben controlar y monitorear los proyectos para asegurar y permitir dar una garantía a cada uno de los servicios, siendo nuestro caso el de proyectos tipo Pilotes Excavados.

Yendo más allá de la calidad, las organizaciones también deben poner énfasis en el grado de control que ejercen sobre sus proyectos; por lo que, entra en contexto y consideración un manual de control de calidad, el cual ayudará a establecer los procesos y requisitos que hay que cumplir con la finalidad de tener un buen control de la calidad en los proyectos, y que pueda ser utilizada por las organizaciones dedicadas al rubro de la construcción y supervisión de obras de pilotes excavados

Para la ejecución de un proyecto de construcción de pilotes excavados, se consideran cuatro fases: El fluido de excavación, excavación del suelo, el acero de refuerzo y el vaciado del concreto; no obstante ¿Qué ocurre si estas cuatro fases omitieron algunas indicaciones en sus procesos constructivos y no se ejecutaron conforme a las especificaciones técnicas?

Será más que evidente que esta estructura no cumplirá con su función para la cual fue diseñado, como estructura puede presentar daños en el cuerpo de este hasta provocar un futuro colapso, ocasionando fatalidades, mal prestigio para las organizaciones, pérdidas en costos, tiempo y alcance. Ante esta situación surgieron muchas teorías e investigaciones acerca de cómo aumentar la probabilidad de éxitos y minimizar lo más que se pueda los riesgos de un proyecto.

Para lo cual en la presente tesis se desarrolla una alternativa de revertir estos sucesos, aportando una guía de manual de control de la calidad con documentos de control de calidad para hacer seguimiento a los procesos constructivos y que sirva a que las organizaciones apliquen e implementen en sus proyectos de construcción o supervisión.

En el capítulo I se describe la problemática de la tesis, como nace el problema y como fue formulada, como la justificaremos para beneficio de externos, hasta donde abarca nuestra investigación, la importancia que implica llevar a cabo la tesis como investigación y los objetivos planteados por la misma.

En el capítulo II menciona las investigaciones pasadas, investigaciones relacionadas con nuestro tema y como éstas han ido evolucionando a través del tiempo para poder obtener una referencia que nos ayude a sustentar nuestros resultados y los análisis e interpretación de los mismo. Los conceptos generales referidos a nuestras variables propuestas, también se hace una breve explicación de los beneficios que se obtuvieron con estas teorías propuestas.

En el capítulo III detalla la metodología, el tipo de investigación que sigue nuestra tesis como; las técnicas, métodos, enfoque, diseño, población, variables y los procedimientos que usaremos para la recolección de datos para la investigación, así como también la operacionalización de nuestras variables para saber cómo estas se relacionan uno con otra.

En el capítulo IV se expone un resumen del proyecto en el cual se hizo la implementación de nuestra investigación, las normas usadas como referencias, también se hizo un resumen de la ubicación y descripción del proyecto donde se realiza la investigación, así como los procesos constructivos que forman parte de un pilote excavado; y el modelo de guía del manual de control de calidad con sus correspondientes documentos de control para cada proceso constructivo el cual fue propuesto a través de un análisis documental entre todas las normas y documentos técnicos relacionados al tema en estudio.

Finalmente, en el Capítulo V se presentan los resultados obtenidos, el análisis e interpretación obtenidos después de la aplicación de los documentos de control a un proyecto de construcción tipo pilote excavado y la propuesta guía del manual de control de calidad en los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado el cual se encuentra adjunto en el anexo 7, para así obtener las conclusiones y recomendaciones que ayudarán a responder nuestros objetivos planteados en el inicio de la investigación.

## CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

Actualmente se vienen desarrollando los diversos proyectos del Plan Nacional de Infraestructura para la competitividad. Uno de ellos es el proyecto “Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao”.

Dicho proyecto busca mejorar e implementar el sistema de transporte público en Lima y Callao. Esta línea subterránea del metro cuenta con 27 estaciones subterráneas que van desde el puerto del Callao hasta la Municipalidad distrital de Ate Vitarte.

Los procesos constructivos empleados para las estaciones son relativamente nuevos en el país, lo cual conlleva a que podría ocurrir un control de calidad insuficiente durante el desarrollo de los procesos constructivos.

Ante este escenario potencialmente problemático, se plantea incorporar un manual de control de calidad en los procesos constructivos de estructuras tipo pilotes excavados para ser usado por las organizaciones dedicadas a este campo de la construcción con la finalidad de estandarizar el monitoreo y control de los procesos constructivos.

Dando énfasis a cuatro puntos muy importantes en la problemática de los procesos constructivos:

Don Williamson (2013) establece que “los fluidos de perforación cumplen muchas funciones...quizás lo más importante, mantienen la estabilidad y el control del pozo” (p. 67), por lo cual es de suma importancia mantener todas las propiedades del fluido de perforación dentro de los rangos admisibles para que esto permita desarrollar de manera óptima todas las funciones que este cumple entre los cuales se tienen: “controlan las presiones de formación, remueven los recortes del pozo, sellan las

formaciones permeables encontradas durante la perforación, enfrían y lubrican la barrena” (Don Williamson, 2013, p. 67).

- Un principio general de la rama estructural de la ingeniería Civil y de la física es la transferencia de cargas; por lo que, si trasladamos este concepto a la construcción de pilotes, se vuelve necesario un control de verticalidad en el proceso de excavación del pilote, de esta manera permitimos que se cumpla la correcta transferencia de cargas de la superestructura hacia el suelo de fundación y con eso su correcto desempeño estructural
- El control de la armadura de refuerzo influye en el proceso de armadura de refuerzo de pilotes excavados debido a que teniendo un mejor monitoreo a sus diferentes fases de construcción ayudamos a que este se interrelacione mejor con el concreto, centrándonos en obtener el menor impacto perjudicial entre el concreto y la armadura de refuerzo (jaula de armadura) en detalles como cumplir con los espaciamientos indicados por el diseño entre sus varillas de refuerzo para ayudar al libre flujo del concreto, el doblado, recubrimiento, cumplir con su resistencia óptima lo que repercute positivamente en el concreto al llenar todos los vacíos del cuerpo del pilote, entre otros aspectos que no se pueden pasar por alto y deben tener un constante control y monitorio así como el resto de sus procedimientos. (EN, 1997-1; E.060, 2006).
- Para este tipo de cimentaciones y debido al tipo de sostenimiento que se utiliza, fluido de perforación, la norma EN 1536:2010: E, en el acápite 8.4.3.3 indica que “cuando el hormigonado se lleve a cabo bajo el agua o un fluido de soporte ... se debe usar un tubo tremie para la colocación” (p. 44). El método de hormigonado consta en el reemplazo del fluido de soporte por concreto, el cual se coloca mediante la tubería tremie. “El hormigonado debe proceder solo cuando las propiedades de la suspensión sean satisfactorias” (EN 1536:2010: E, 2010, p. 43). Por lo que es importante de la misma manera controlar el proceso de vaciado de concreto en este tipo de condiciones.

### 1.1.1. Problema General

¿De qué manera un manual de control de calidad influye en el monitoreo de los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado?

### 1.1.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera un control de parámetros del fluido de excavación influye en el proceso de fluido de excavación de pilotes excavados?
- ¿De qué manera un control de verticalidad influye en el proceso de excavación de pilotes excavados?
- ¿De qué manera un control de armadura de refuerzo influye en el proceso de armadura de refuerzo en pilotes excavados?
- ¿De qué manera un control de concreto y vaciado influye en el proceso de vaciado de concreto de pilotes excavados?

## 1.2. Objetivo general y específico

### 1.2.1. Objetivo general

Proponer un manual de control de calidad para monitorear los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado a través de un análisis documental.

### 1.2.2. Objetivos específicos

1. Proponer un control de parámetros del fluido de excavación con la finalidad de monitorear el proceso del fluido de excavación.
2. Proponer un control de verticalidad para monitorear el proceso de excavación.
3. Proponer un control de armadura de refuerzo para monitorear el proceso de armadura de refuerzo
4. Proponer un control de concreto y vaciado para monitorear el proceso de vaciado de concreto



### 1.3. Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática

Para la presente tesis, la investigación se realizará en la empresa Soletanche Bachy Perú, en la ciudad de Lima y se tomará como ejemplo o referencia unos de sus proyectos ubicados en la carretera central km 8 en el distrito de Ate Vitarte y el otro ubicado en el cruce de las avenidas Colonial con Santa Rosa en la Provincia Constitucional del Callao.

La investigación abarcará un periodo de 7 meses de junio a diciembre del 2020, durante este periodo se utilizará la información del proyecto para fines académicos y para sustento de la presente tesis.

Un punto a tomar en cuenta es que, debido a que el proceso constructivo es relativamente poco conocido en el país, no existe mucha información nacional respecto al tema a desarrollar, por lo que es necesario recurrir a fuentes de información (revistas, papers, y otros documentos) de internet, que no necesariamente están en idioma español, lo que trae algunas limitaciones en la traducción más apropiada de términos técnicos.

El estudio abordará los controles de calidad que se deben usar para monitorear los diferentes procesos constructivos de pilotes excavados in situ, como son los de control del fluido de excavación, control de excavación, control del acero de refuerzo y control del concreto tremie.

Referido a las limitaciones, no existieron mayores limitaciones en el desarrollo de esta investigación dado que ambos tesisistas se encuentran laborando actualmente en el rubro del control de calidad y se conoce el funcionamiento de esta área de trabajo.

Por motivo del aislamiento social obligatorio debido a la pandemia por el COVID – 19 se tuvo limitaciones para realizar visitas a obra.

## 1.4. Justificación e importancia

### 1.4.1. Justificación del estudio

#### A. Justificación económica

Esta investigación aporta con los controles que se ejecutarán en obra. El uso del manual permite identificar los procesos ineficaces a tiempo lo que conlleva a mantenernos dentro del presupuesto económico del proyecto. De la misma manera, un proceso correctamente monitoreado evitará demoras innecesarias y retrabajos por las actividades mal ejecutadas.

#### B. Justificación práctica

Esta investigación aporta con los controles de calidad de los procesos constructivos, los cuales permitirán tomar decisiones preventivas o correctivas de una manera rápida ante cualquier desviación y/o deficiencia en los trabajos y así implementar la solución más apropiada oportunamente.

#### C. Justificación Social

Es esta investigación se toca un tema muy importante para un país y por ende una sociedad. El tipo de transporte a construir, metro subterráneo, es muy usado en diferentes países del mundo, lo cual hace que su llegada al Perú traiga consigo muchos beneficios a la sociedad como un mejor sistema de transporte público, desarrollo urbano, ahorro de tiempo y dinero, ayudando también en la salud y economía de los peruanos.

### 1.4.2. Importancia del estudio

El beneficio clave del este estudio es proponer, a las organizaciones que se dediquen a la ejecución y supervisión de pilotes excavados de concreto armado, un manual de control de calidad de los procesos constructivos para asegurar de esa manera que cada fase de los procesos cumpla con los estándares, regulaciones y requisitos dados en las especificaciones técnicas.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio de investigación

A finales del siglo XIX aparecieron por primera vez, en los organigramas de las empresas, los departamentos de control de calidad que, a través de las inspecciones, verificaban uno a uno los productos terminados para detectar sus defectos y proceder a tomar las medidas respectivas de solución y evitar así que los mismos lleguen al consumidor. (Cubillos y Rozo, 2009, p. 83)

Esto se dio porque se implementó una teoría que propone que las actividades de planificación y ejecución del trabajo no deben estar juntas. La implementación de esta teoría reflejó una disminución clara en la calidad del producto.

En el caso de las cimentaciones profundas, que son estructuras que se construyen bajo el nivel del terreno, era muy difícil darse cuenta de lo que ocurría durante el proceso constructivo, se especulaba mas no existían respuestas certeras. Al no existir un control sistematizado, más que el empírico, pudo haberse construido estructuras que no hayan cumplido con los requerimientos reales establecidos previamente.

Con el pasar de los años, se dio inicio al control de calidad en los procesos de fabricación o constructivos, con ello se inicia una etapa en la cual el control en los procedimientos constructivos toma un papel importante dado que de esa manera se disminuía la cantidad de productos o servicios que no cumplían una conformidad final. Si se logra estandarizar los procesos y sus controles, permitirá alcanzar los objetivos en el tiempo y presupuesto establecidos, lo cual significa construir estructuras con la calidad planeada y dentro de los rangos permitidos por las especificaciones técnicas del proyecto.

Es importante mencionar que no se debe ver a la calidad como un gasto extra en la organización. Existen innumerables evidencias de que tomar en cuenta la calidad como parte de los procesos es mucho más económico que ignorarla. En el campo de la construcción todavía existe la creencia que para de medir el costo de una obra se

debe tomar en cuenta solo el costo directo y no se toma en cuenta las reparaciones de trabajos mal ejecutados, los diversos conflictos con los clientes y mucho menos la pérdida de imagen y reputación de la organización que esto genera. Es por estos motivos, que no se debe creer que la calidad será un gasto extra, sino, una poderosa herramienta que brindará mejores resultados a las organizaciones, lo que se verá reflejado en un incremento de la productividad, disminución de costos, y con ello mayores márgenes de utilidad y a la vez un incremento constante del prestigio de dichas organizaciones, atracción de nuevos clientes y satisfacción de todos los interesados en los proyectos ejecutados.

Dicho esto, se origina nuestra motivación de proponer un manual de control de calidad en los procesos de constructivos de pilotes excavados de concreto armado dirigido hacia las organizaciones que cuentan o están en proceso de formar un área de calidad para mejorar los requisitos y requerimientos de sus procesos constructivos, mejorando así la productividad, eficiencia en costos y cronograma del proyecto.

#### 2.1.1. Investigaciones relacionadas con la investigación

##### A. Nacionales

**Landázuri Lama, L. (2017).** Este trabajo de tesis describe la necesidad de contar con estructuras de soporte como pilotes excavados para el reforzamiento del suelo encontrado; este suelo según los ensayos y estudios realizados era un suelo inestable e incapaz de soportar las cargas para la construcción de un centro comercial de 16,297.00 m<sup>2</sup> dado que estaba conformado por relleno sanitario (desmonte, basura, entre otros).

Es así que la organización encargada de la ejecución del proyecto subcontrata a una empresa experta en el rubro de pilotes excavados para la ejecución y control de los procesos constructivos de los pilotes excavados y así garantizar la calidad final de la estructura de soporte a fin de satisfacer

todos sus estándares de calidad impuestos por su diseño y especificaciones técnicas.

Esto nos lleva a relacionarlo con nuestra investigación dando énfasis en la suma importancia que deben tener los procesos constructivos de pilotes excavados al momento de su ejecución para lo cual nuestra tesis hace referencia aportando un manual de control de dichos procesos para mejorar la calidad de estas en toda su etapa de construcción.

**Rodriguez & Torpoco. (2015).** Esta investigación tiene por objetivo recopilar información de las diferentes empresas que laboran en el Perú y están relacionadas con la construcción de cimentaciones profundas para guiarlos hacia qué tipo de pilotes utilizar, así como también de recomendar el proceso constructivo de estos en base al tipo de suelo encontrado según sea el diseño del proyecto, sin dejar de lado las pruebas y ensayos para todos los procesos constructivos que se les deban de realizarse de manera obligatoria con el fin de obtener la calidad e integridad diseñada para su proyecto.

Siguiendo esta información estamos de acuerdo con que la poca información que se encuentra de este tipo de estructuras, con pocas empresas usando este tipo de estructuras y además con información local desactualizada, pero aun así, no se puede dejar de lado el uso de esta estructura para el reforzamiento de suelos, por lo que esta investigación y la presente tesis hacen énfasis en el uso de este tipo de estructuras y el seguimiento de la calidad de sus procesos constructivos con la finalidad de crear un manual para el uso y apropiada ejecución de sus procesos constructivos.

**Espinoza & Torres. (2019).** La investigación presentada detalla la técnica Compactación Dinámica de los suelos para aumentar su capacidad portante, minorar su nivel de asentamiento y prevenir el fenómeno de licuación, con

la finalidad de tener una evaluación técnica, económica y reducir el tipo y costo del proyecto a ejecutar.

Entre las técnicas más comunes que se usan están incluidos los pilotes los cuales dependen de los criterios de diseño del proyecto para aportar un mejoramiento de suelos y características geotécnicas.

Esta técnica usada está muy relacionada con la presente tesis debido a contar con pilotes dentro de sus métricas a usar, hace referencia al seguimiento y control de los procesos constructivos para obtener como resultado un buen acabado del pilote y así lograr su objetivo de mejorar las características del suelo, y sin dejar de lado el cumplimiento de costos y cronograma del proyecto para evitar no conformidades de parte del cliente y obtener la aceptación final de la estructura.

**Ayora Ventura, M. (2017).** En este trabajo académico se tratan los temas de calidad de los pilotes ejecutados en el paso inferior 28 de Julio – Cercado de Lima; en la cual expusieron problemas referidos a los ensayos, seguimiento de documentación técnica, un bajo control en el monitoreo de los procesos constructivos de pilotes, para lo cual se toma como base esta información para el desarrollo de la investigación.

Con los resultados se demostrará que, si se cumple satisfactoriamente todos los puntos tratados en la investigación de la tesis como un buen control en los ensayos de laboratorio, documentos técnicos y control, se obtendrán procesos constructivos de pilotes medibles y controlables. Por lo tanto, se habrá alcanzado el objetivo de nuestra investigación de tesis.

Esto nos lleva a reforzar nuestro propósito de un buen manejo de la calidad en los proyectos de pilotes excavados ayudando así a evitar modificaciones no deseadas en el alcance, tiempo y costo. Con lo cual podemos agregar las nuevas dimensiones mencionadas en esta investigación para aportar y mejorar aún en la calidad de los procesos constructivos, enfocándonos en el

monitoreo de cada fase, es decir obtendremos una mejora continua basada en la gestión de la calidad.

## B. Extranjeras

**Moreno Rojas, E. (2015)** Este proyecto explica los diferentes criterios de aceptación y rechazo de los recursos del proyecto, siendo los materiales e insumos para la construcción de mismo, la manera en cómo estos recursos deben ser la manera en que los materiales e insumos llegan a obra, como se deben ser el proceso de recepción, cuáles y como se deben controlar los procesos constructivos para así poder cumplir con las normas y especificaciones impuestas por el expediente técnico del proyecto para garantizar que el proyecto es confiable y lograr tener la aceptación del cliente en su proceso de cierre.

Teniendo en cuenta lo mencionado líneas arriba se puede concluir que para tener un mejor acabado y contar con proyecto más confiables y aceptado por el cliente hay que determinar cuáles son los criterios de calidad y realizar el monitoreo a través de controles de calidad que se van a aplicar para determinar si los procesos constructivos del proyecto son aceptados o rechazados; con lo que reforzamos la presente investigación y damos énfasis a los controles de calidad de los procesos constructivos de pilotes excavados para obtener beneficios como organización y a su vez evitar excesos de costo, tiempo y alcance.

**Rodríguez Jiménez, C (2015)** Esta investigación busca actualizar y mejorar los modelos de control de calidad existentes referidos a las edificaciones de construcción civil. Para ello se respalda es estudios empíricos de proyectos similares que usaron métodos de control de calidad como la técnica Delphi y QDF, experiencia profesional y consultas tipo encuestas a expertos del sector que están familiarizados en el rubro.

El proceso de mejora y actualización adecua las técnicas mencionadas unidas a análisis matemáticos usando lógica difusa, para así generar un modelo comparador y dando como resultado las mejoras que obtienen los proyectos en edificación cuando se implementan estos tipos de control de calidad a sus procesos constructivos.

Esta información al igual que la presente tesis se demuestra que para obtener la calidad última o realizar un control de calidad a un proyecto, no solo basta con realizar actividades tipo ensayos, inspección o pruebas a los procesos constructivos y materiales a usar, sino que es muy necesario usar métodos, herramientas, el monitoreo continuo y compromiso por parte del staff profesional en la prevención, planificación, optimización, participación activa, buena comunicación, etc. para minimizar los riesgos negativos del proyecto y a su vez orientarlo a cumplir a cabalidad los objetivos del mismo.

**Parisca Laurenis, Br. (2015)** El trabajo mencionado tiene por objetivo estudiar y analizar como varía la viscosidad y la sedimentación que está contenida en el lodo bentonítico en diferentes escenarios que posteriormente se utilizarán en la construcción de un pilote excavado.

Esta investigación hace énfasis en los métodos constructivos de pilotes excavados describiéndolos y destacando como principal característica que son estructuras que no generan desplazamientos.

También se indica el uso de lodo bentonítico como material principal para evitar posibles derrumbes de las paredes de la perforación, este lodo bentonítico forma una película de gel en las paredes y sella la superficie de excavación lo cual hace posible lo mencionado líneas arriba.

Por último, se mencionan los controles de calidad que debe seguir este lodo en diferentes etapas de construcción, así como también en diferentes escenarios como al presentarse agua en el subsuelo o tener tipos de suelos variados que dificultan el cumplimiento óptimo del lodo. Esto nos lleva a



relacionar la actual tesis con este antecedente haciendo énfasis en el buen control que debe llevar el lodo en sus diferentes etapas en los procesos constructivos con lo cual complementaremos con un manual de control de calidad para el uso y seguimiento adecuado de este lodo bentonítico.

## 2.2. Bases teóricas y científicas que sustenta la investigación

### 2.2.1. Pilotes

Los pilotes son elementos estructurales en forma de columna que operan como una cimentación de pequeña sección transversal en comparación con su sección longitudinal.

Entre sus características están soportar cargas horizontales y grandes esfuerzos de compresión, también, su función principal es la de transferir las cargas provocadas por alguna infraestructura a través de los estratos débiles o agua a un suelo o estrato con mayor resistencia y capacidad de carga para soportar dicha infraestructura.

Otra función de los pilotes es mejorar las condiciones físicas del suelo, lo cual no limita a ser usado a pesar de que la capacidad portante del suelo sea óptima, por lo cual también se pueden utilizar pilotes, pero dándole otra finalidad como de ser parte de los elementos de sostenimiento del terreno en los procesos constructivos (pilotes secantes o pantalla de sostenimiento). En general los pilotes son usados individualmente o en grupo (Rodríguez y Torpoco, 2015).

#### A. Tipos y clasificación

A continuación, se describirán brevemente los tipos de pilotes según el material del que estén compuestos y según el proceso constructivo a seguir, así como también se enunciarán los posibles pro y contra de estos.

a. Según el material

**Pilotes de madera**

Los pilotes de madera son conocidos por ser los más antiguos, los árboles son seleccionados y cortados cuidadosamente en su área de corteza, tronco y ramas para su utilización. Su longitud depende del tipo de árbol y la mayoría de los pilotes varía entre los 10 a 20 metros, así como su diámetro que va de 0.30 a 0.35 metros. Debido a sus propiedades, no son capaces de soportar grandes esfuerzos verticales, por lo que, su capacidad de resistir a estas cargas tiene un rango de entre 25 y 30 toneladas.

Estos pilotes por lo general suelen sufrir de daños de diferentes tipos, como lo son: por terrenos saturados, ubicación por encima o debajo del nivel freático, ambiente marino, descomposición consecuente de la presencia de insectos que pueden causar daños en poco tiempo. Es por ello que existen técnicas para prevenir estos daños mediante el tratamiento con creosota entre otros compuestos químicos para aumentar su tiempo de vida (Urbina, 2004; Rodríguez y Torpoco, 2015).

**Pilotes de acero**

Los pilotes de acero se emplean en secciones de tipo I, tipo H, en forma de tubos cada uno dependiendo de las condiciones que se requiera.

Son conocidos por su gran capacidad de resistencia a la tracción entre todos los tipos de pilotes, por lo cual en situaciones donde se necesita una alta resistencia a la tracción se suelen usar este tipo de pilotes. Son recomendadas en suelos tipo roca blanda y terrenos relativamente duros.

Son relativamente fáciles de unir e instalar, se suelen hincar y soldar y así sucesivamente; normalmente se usan longitudes mayores a los 18 metros. Por este motivo al ser hincados se debe tener en cuenta la posición correcta que indican sus especificaciones técnicas.

Entre sus desventajas se tiene la corrosión si se está expuesto a un ambiente desfavorable, por lo que se debe contar con un revestimiento para evitar la oxidación; son costosos en comparación de otros tipos y a su vez en su ejecución se puede tener problemas de ruido (Urbina, 2004; Rodriguez y Torpoco, 2015).

### **Pilotes de concreto**

Los pilotes de concreto son estructuras de concreto reforzados, de los cuales pueden ser de dos tipos: los prefabricados y los vaciados in situ, dependiendo de las características del proyecto.

Dentro de los pilotes vaciados in situ podemos encontramos los pilotes que utilizan camisas metálicas recuperables y no recuperable que se usan como parte del proceso constructivo para evitar desmoronamiento del terreno ante la excavación, así como también para reforzar estos tipos de pilotes dejándolos instalados en el terreno junto con el concreto.

De la misma manera en los pilotes prefabricados se cuenta con ciertas variantes, como son los pretensados y postensados; los primeros usados mayormente para evitar las grietas y cuando se necesita una resistencia mayor al esfuerzo por flexión y compresión, mientras que los segundos, siendo su uso más común que el pretensado (Urbina, 2004; Rodriguez y Torpoco, 2015).

#### b. Según proceso constructivo

### **Pilotes compuestos**

En este tipo de pilotes podemos encontrarnos con 2 porciones, es decir, cuenta con una porción inferior y otro superior cada una de diferente material, pudiendo haber combinaciones de tipo: primera porción de acero y segunda porción de concreto, de madera con concreto, acero con plástico y otros tipos de componentes. Siendo el caso que sea, no es una buena

alternativa al presentar un alto costo y una gran dificultad al generar la junta o unión apropiada entre los diferentes materiales a usar (Rodriguez y Torpoco, 2015).

### **Micropilotes**

Los micropilotes cuentan con un diámetro pequeño, regularmente menor a los 30 cm, son elementos estructurales que reemplazan al suelo tal como lo hacen los pilotes excavados y vaciados in situ, pero la diferencia notable es debido a que contienen una gran cantidad de acero a veces ocupando hasta el 50% de su volumen en la excavación siendo usados para recibir una gran cantidad de cargas de tracción. En ocasiones este último elemento sirve como principal y único material estructural para recibir las cargas y transferirlas hacia el estrato deseado.

Algunas ventajas que presenta este tipo de estructuras son: requiere poco espacio, se ejecutan con equipos no tan sofisticados. Y presenta desventajas del tipo: Debido a su tamaño regularmente pequeño hay posibilidades de no encontrar el estrato con la resistencia deseada a una pequeña profundidad (Rodriguez y Torpoco, 2015).

#### **B. Condiciones de elección del tipo de pilote**

En este punto se tocarán algunas condiciones o criterios para elegir qué tipo de pilotes es el más adecuado.

Los factores más importantes al momento de su elección recaen principalmente sobre la carga que esta va a soportar y la resistencia del suelo o estrato que servirá de apoyo para nuestro pilote, pero sin dejar de lado la parte económica no solo del pilote, sino de su conjunto (cimentación completa).

Dicho esto, a pesar de contar con estudios de mecánicas de suelos y los cálculos numéricos hallados, nos topamos con las diferentes bibliografías,

normas, temas comerciales y un gran conocimiento obtenido de la experiencia profesional, lo que hace de la elección del pilote más compleja de lo que es (Zapata, 1951).

### 2.2.2. Procesos constructivos de pilotes excavados

Al ejecutar un pilote excavado requerimos de cuatro fases que son las siguientes; el fluido de excavación, la excavación, la armadura de refuerzo y el vaciado de concreto. Cada una de estas operaciones tiene diversas formas de ejecución; la combinación de estas da una numerosa cantidad de procedimientos.

#### A. Fluido de excavación

Estos fluidos, conocidos comúnmente como “lodos”, están hechos por una fase continua, que es líquida y otra fase discontinua, que es sólida, si tomamos como referencia la fase continua, podemos clasificar a estos fluidos como acuosos y no acuosos; como su nombre lo dice, los de tipo acuoso están hechos a base de agua más un componente sólido que por lo general es arcilla coloidal, comúnmente bentonita; para el caso de los fluidos de perforación no acuosos, los que generalmente se conocen como lodos a base sintéticos o polímeros, tienen su fase continua formada por aceites minerales, ésteres biodegradables, entre otros. Los fluidos no acuosos son por lo general más costos que los acuosos; no obstante, mantienen sus ventajas en términos de rendimiento, control de pozo, entre otros aspectos. (Oilfield Review, 2015)

La elección del tipo de lodo de perforación a utilizar en el proyecto dependerá directamente de las características del proyecto como presupuesto, requerimientos ambientales, características mecánicas del suelo, nivel freático, entre otros.

Los lodos de perforación tienen una amplia variedad de funciones. A continuación, se nombran las más importantes.

**La estabilización del pozo** se lleva a cabo mediante la adhesión de las partículas sólidas del lodo mediante la filtración de este en las paredes del pozo, esto causa la formación de una película plástica e impermeable en las paredes de la perforación llamada costra, conocida comúnmente como cake.

Esta película permite que se genere la presión hidrostática del lodo, la cual permitirá que la perforación sea estable, también evita la filtración excesiva del agua del lodo hacia el suelo y viceversa. Este segundo flujo de agua es una de las causantes de la inestabilidad del suelo y, por ende, derrumbes. (Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, 1984)

**Remoción y transporte de recortes de suelo.** La función del lodo en este aspecto es vital porque permite remover recortes de suelo que se van soltando de las paredes de la perforación a medida que se lleva a cabo la excavación del pozo. El lodo hace que estos recortes se mantengan en suspensión y que cuando sea momento de realizar la limpieza del pozo, el transporte de estos restos hacia la superficie del pozo sea más sencillo y rápido. (Oilfield Review, 2015)

El enfriamiento y lubricación de las herramientas de perforación es otra de las funciones del fluido de perforación. Estas herramientas, al trabajar hidráulicamente por rotación, hace que el corte de suelo genere fricción con los elementos de ataque de las herramientas, lo que ocasiona que se origine una energía térmica que se traduce en la elevación de la temperatura. La función del lodo en este escenario es enfriar los elementos de corte y la lubricación de la barra kelly para evitar atascos entre sus cuerpos telescópicos con algún resto de roca. (Oilfield Review, 2015)

Para poder calificar la calidad de un lodo de perforación, es necesario conocer sus características principales y evaluarlas con el fin de poder dar conformidad de este. Cabe mencionar que los parámetros de un lodo de

perforación se deben verificar en tres etapas: lodo fresco, lodo de reuso y lodo previo a vaciar.

Se verifica en estado fresco para corroborar que la dosificación utilizada fue la correcta. Esto se ve reflejado en sus parámetros.

El lodo de reuso es uno que ya ha sido utilizado previamente, se deben verificar sus parámetros para saber si aún está apto para seguir usándolo.

La verificación previa a vaciar es muy importante dado que, si este no está dentro de los límites estipulados, puede generar anomalías en la estructura como juntas frías, recubrimientos insuficientes, vacíos de concreto causado por bloques de arena, entre otros.

A continuación, se nombran los parámetros que se verifican en un lodo de perforación:

#### a.Densidad

Esta característica física, también conocida como peso específico, nos indica el valor de la masa del lodo por unidad de volumen. Esta puede ser expresada en  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{ton/m}^3$ . Este parámetro nos dará a conocer si el fluido en cuestión cuenta con partículas ajenas a su composición original. Esto se verá reflejado en su densidad. Si el valor de densidad es muy alto, quiere decir que tiene partículas que incrementan su peso por unidad de volumen, en el mayor de los casos, arena.

Para el ensayo de densidad se utiliza una balanza de lodos, la cual lleva un recipiente en un extremo, con un brazo (regla graduada) y una contrapesa deslizante. El recipiente se llena completamente con lodo y se coloca en la balanza, el peso se nivela con la contrapesa deslizante en la regla graduada y luego se hace la medición directamente en la regla graduada de la balanza.



**Figura 1:** Balanza de lodos

Fuente: Elaboración propia.

Según la norma EN 1536:2010: E, se recomienda mantener los parámetros del lodo de perforación en los siguientes valores:

**Tabla 1:** Parámetros del fluido de excavación

Propiedad	Etapas		
	Nuevo	Re-uso	Previo a vaciar
Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	< 1.10	N/A	< 1.15
Viscosidad (s)	32 a 50	32 a 60	32 a 50
Filtrado ( $\text{cm}^3$ )	< 30	< 50	N/A
pH	7 a 11	7 a 12	N/A
Cake (mm)	< 3	< 6	N/A
Contenido arena (%)	N/A	N/A	< 4

Fuente: EN 1536:2010: E



#### b. Viscosidad

Este parámetro mide el tiempo, en segundos, que tarda escurrir un volumen de 946 ml de lodo a través de un cono Marsh, el cual tiene un orificio calibrado de 5 mm de diámetro. El ensayo se realiza con un cono Marsh, una jarra graduada con capacidad de 1000 ml y un cronómetro. Para llevar a cabo este ensayo es necesario llenar el cono con 1.5 L de lodo mientras se tapa el orificio inferior con el dedo, en la parte superior por donde se coloca el lodo, tiene una malla de acero de 1/16" para atrapar impurezas. Este se llena hasta la marca establecida. Una vez llenado el cono hasta la marca y con el dedo en el parte inferior, se retira el dedo al mismo tiempo que se acciona el cronómetro y se deja llenar la jarra graduada hasta la marca superior, la cual acumula un volumen de 946 ml. (Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, 1984)

Cuando un lodo es muy viscoso, resulta difícil de bombear, por lo que los equipos para tal fin se verán sobre esforzados; por otro lado, un lodo que no es muy viscoso pierde las propiedades que dan mantenimiento a las paredes de la perforación. Un fluido de perforación con una viscosidad controlada permitirá estabilizar correctamente la excavación y también mantener en suspensión los sólidos o escombros existentes.

Es por este motivo que se debe controlar la viscosidad del fluido de perforación. Los valores permisibles se muestran en la Tabla 1.

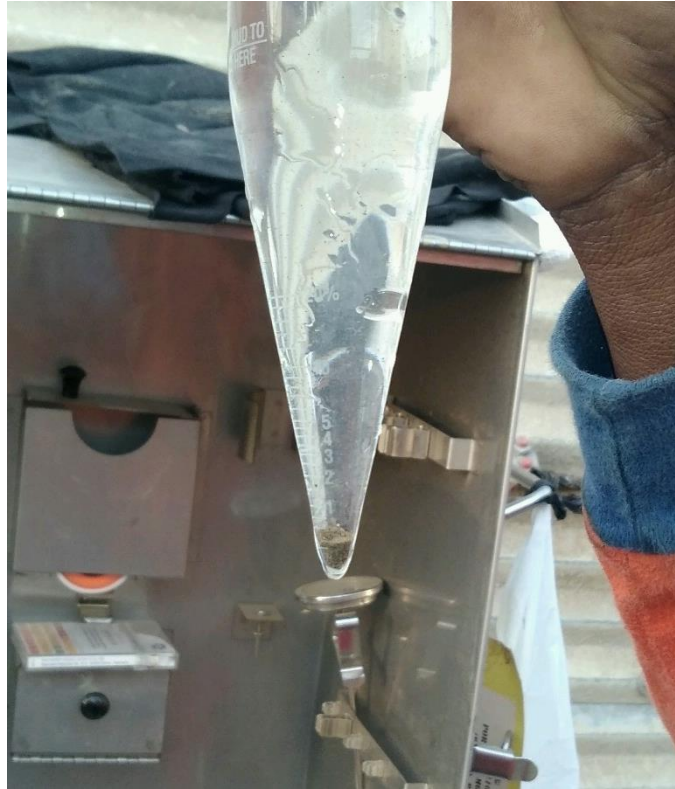
#### c. Contenido de arena

Ensayo que permite conocer la cantidad de arena o sedimento existente en una muestra representativa del lodo de perforación. Ésta muestra un porcentaje volumétrico de las partículas sólidas suspendidas mayores a 74 micrones.

El objetivo de controlar el contenido de arena en una muestra de lodo es limitar o reducir las deposiciones de arena en la estructura del pilote, ya que si no se controla adecuadamente se pueden crear juntas frías o falta de concreto en zonas donde se acumule la arena; otro objetivo de este ensayo es evitar el incremento de la densidad del lodo y así mismo, evitar el desgaste de las herramientas de perforación por abrasión de estas partículas; cabe mencionar que este ensayo se realiza luego de la limpieza del fluido de perforación, es decir, antes de vaciar concreto. (Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, 1984)

Para realizar este ensayo se necesita una probeta graduada, conocida como elutiómetro. En éste se coloca una muestra del lodo a ensayar hasta una marca especificada. Seguidamente se agita para luego escurrir el material a través de un cono con un tamiz N° 200. Una vez pasado todo el volumen de lodo a través de este cono, se queda atrapado en el tamiz todas las impurezas que contenía ese lodo, seguido a esto, se regresa la arena encontrada al elutiómetro, con el cual se podrá medir el contenido de arena.

Los valores permisibles se muestran en la Tabla 1.



**Figura 2:** Elutriómetro

Fuente: Elaboración propia.

#### d. Filtrado y cake

Estos controles van de la mano, los cuales reflejan la capacidad que posee un lodo de perforación para crear una película impermeable que permita al lodo desarrollar una presión hidrostática que se ejerza en las paredes de la perforación para así evitar derrumbes o caídos. No obstante, el cake no debe ser tan grueso ya que puede disminuir la sección de la perforación y esto puede acarrear problemas en la etapa de vaciado de concreto. (Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, 1984)



**Figura 3:** Lectura de cake  
Fuente: Elaboración propia.

Con el ensayo de filtrado podemos verificar que el lodo de perforación no expulse el agua que este contiene hacia las paredes de la perforación. Para realizar estos ensayos se utiliza un filtro prensa el cual consta de un recipiente metálico en forma de cilindro que es capaz de recibir hasta 7 bares de presión de gas (aire), el cilindro tiene una tapa desmontable en la parte inferior con un orificio donde se coloca un tamiz y papel filtro sobre el cual se formará el cake, estos filtros evitarán que pase cualquier impureza por el orificio de la parte inferior y así obstruirlo (Soletanche Bachy, 2020).

Una vez montada la tapa inferior, se procede a batir ligeramente el lodo recogido de la excavación para que la muestra sea lo más representativa posible. Se vierte el lodo en el cilindro para luego montarlo en la estructura de soporte y tapanlo; colocar una probeta graduada de 25 ml en la boquilla inferior para poder dar lectura al agua de filtrado.

La estructura de la tapa superior está compuesta por un manómetro, una válvula de purga, un regulador de presión y la entrada para la cápsula de gas.

Se debe cerrar bien la tapa superior para impedir que el gas escape. Se procede a hacer el cambio de la cápsula de gas con la válvula de purga cerrada, una vez colocada, se inicia el ensayo abriendo el regulador de presión hasta que el manómetro marque 7 bares, al accionar el regulador se debe controlar el tiempo con un cronómetro.

El ensayo tiene una duración de 30 minutos, este tiempo se puede reducir a 7 minutos 30 segundos siempre y cuando los resultados finales se multipliquen por 2. Finalizado el tiempo, se retira la probeta y se hace la lectura del resultado, este resultado dependerá del tiempo que duró el ensayo como se indica líneas arriba, se cierra el regulador de presión y se abre la válvula de purga para eliminar la presión de gas remanente y desechar el lodo ensayado, se desmonta la tapa inferior y se retira el papel filtro con el cake; se coloca una regla milimetrada perpendicular al papel filtro y se hace la lectura. Los valores permisibles se muestran en la Tabla 1.



**Figura 4:** Probeta de filtrado  
Fuente: Elaboración propia.

e. pH

El pH nos indica si una sustancia es ácida o alcalina. El valor del pH puede ser modificado debido a la influencia del suelo en el cual se está ejecutando la perforación, este cambio del pH puede perturbar las propiedades del lodo de perforación; para controlarlo se puede utilizar papel pH que, según el fabricante, tiene una escala colorimétrica con la cual se hará lectura del resultado luego de sumergir el papel en la muestra (Soletanche Bachy, 2020). Se debe controlar primero el pH del agua con la que se preparará el lodo, este valor debe ser de 7; este control de pH del lodo se puede efectuar de diversas maneras:

- En caso de que el lodo sea muy viscoso, se puede colocar el papel pH sobre la muestra, sin sumergirla, hasta que el color del papel se estabilice.
- Si el lodo no ha adquirido una consistencia espesa aún, el papel pH se puede sumergir en él para posteriormente retirarlo y hacer la lectura del resultado.
- También es posible realizar la prueba en el agua de filtrado que sale en ese ensayo, se sumerge el papel durante 30 segundos y procede a realizar la lectura con la escala colorimétrica del fabricante.

Los valores permisibles se muestran en la Tabla 1.



**Figura 5:** Lectura de Ph.

Fuente: Elaboración propia.

## B. Excavación

Los pilotes, al ser estructuras que se construyen por debajo del nivel del terreno natural, es necesario extraer el suelo donde se ubicará el pilote.

Para llevar a cabo este proceso, existen diversos tipos de maquinarias que están diseñadas específicamente para realizar este tipo de trabajos.

### a. Equipos para excavación

Los equipos para ejecutar la excavación de un pilote son piezas y forman parte fundamental del proceso constructivo del mismo, por lo cual se debe contar con un equipo o maquinaria adecuada para el tipo de pilote, siempre basándose en su diseño y especificaciones propuestas, y sin dejar de lado las características del suelo en el cual se va a realizar el trabajo.

En el siguiente listado se mencionan datos técnicos que ayudarán a elegir el tipo de maquinaria para un proyecto.

- Una de las principales razones para elegir la maquinaria es el tipo de suelo encontrado, debido a que sabiendo las propiedades de los estratos a los cuales se debe atravesar se sabrá cuánta fuerza es necesaria para su perforación.
- La profundidad a la cual se quiere llegar, no todos los equipos llegan a las profundidades deseadas.
- Al igual que en la profundidad, otro punto importante es el diámetro solicitado para el pilote.
- Sumando a lo anterior, también existen limitaciones de espacio, dependiendo del área de trabajo libre, ayudará a saber cuál es la opción adecuada al momento de elegir el equipo para la excavación.

La forma de trabajar de estos equipos está basada en la rotación. Estos cuentan con una guía vertical llamada mástil, esta a su vez, contiene un

motor de rotación que se desplaza a lo largo del mástil. Este motor, propulsado hidráulicamente, transmite la fuerza de rotación hacia el sistema que se encuentre acoplado. A continuación, se detallan los dos sistemas más utilizados (Sanginés, 2011):

### **Sistema Kelly**

Entre sus características encontramos: Se usan para profundidades grandes y pequeñas; así como para diámetros grandes y pequeños.

Este sistema cuenta con una barra vertical conocida como barra Kelly, con varios cuerpos internos (telescópica), los cuales se van desacoplando a medida que la excavación se hace más profunda. Tiene la función de transmitir las fuerzas rotatorias (torque) a la herramienta que se encargara de hacer el corte al suelo o estratos. Estas piezas van acopladas al cuerpo (torre) sobre oruga del equipo con la cual obtienen su movilidad para realizar su trabajo, Este sistema también puede ser montado sobre camión grúa o grúa. La barra Kelly, en su punta inferior, es la que sostiene la herramienta para el proceso de excavación (Sanginés, 2011).



**Figura 7:** Ilustración de equipo con sistema Kelly

Fuente: BAUER Maschinen GmbH (2017)



**Figura 6:** Equipo con sistema Kelly

Fuente: Elaboración propia



## Hélice Continua

En este sistema se usa un tornillo de perforación normalmente del tamaño de la profundidad del pilote a construir. Entre sus funciones encontramos que, por el alma de la herramienta, se vacía el concreto al hueco generado por la hélice; y debido a que el diámetro del tornillo es igual al diámetro del pilote, este sistema no es adecuado para pilotes con grandes diámetros. Se utiliza comúnmente para pilotes CFA (*continuous flight auger*) (Sanginés, 2011).



**Figura 8:** Ilustración del equipo con hélice continua

Fuente: Hudelmaier and Kűfner (2009)



**Figura 9:** Equipo con sistema hélice continua

Fuente: Elaboración propia

## b. Herramientas de excavación

Las herramientas utilizadas en el proceso de excavación dependerán directamente del tipo de suelo en el cual se fundarán los pilotes.

### **Balde cortador**

La función principal de esta herramienta es remover y retirar el suelo; consta de un cilindro de acero con una tapa que está unida a la base del balde mediante una bisagra.

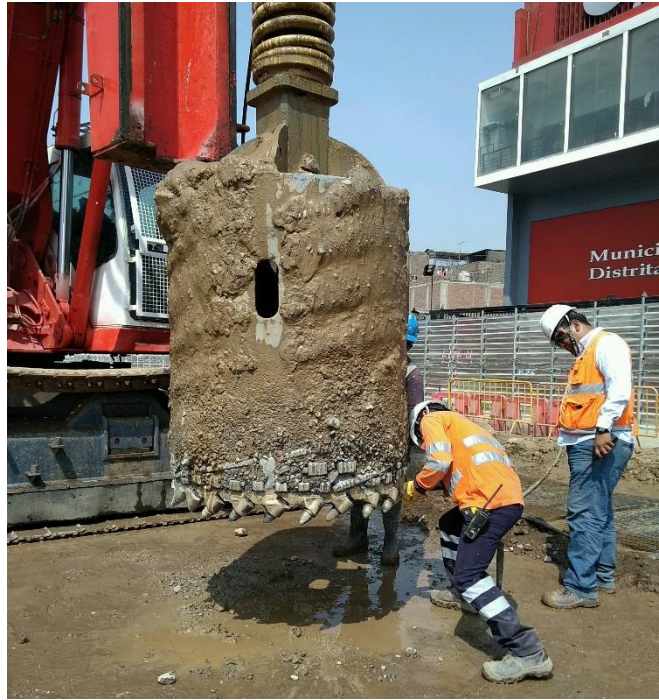
La tapa, en la parte inferior, consta con aberturas y los elementos de corte para remover el suelo. Cuando el balde gira en sentido horario, los elementos de corte sueltan el suelo y este entra por las aberturas hasta que el balde esté lleno, logrado esto, se gira en sentido antihorario para que la tapa del balde se cierre y no permita la caída del material excavado. Se utiliza en suelos cohesivos y no cohesivos, incluso por debajo del nivel freático.



**Figura 10:** Equipo con balde cortador  
Fuente: Elaboración propia.

## Balde corona

También conocido como carrotier, esta herramienta es un cilindro abierto que tiene en el borde inferior los dientes de corte que por lo general son de acero de alta resistencia o de tungsteno. Este balde se utiliza generalmente en estratos rocosos o rocas suaves. La función principal de este balde es hacer una guía cortando el suelo con el diámetro establecido.



**Figura 11:** Balde cortador o carrotier.

Fuente: Elaboración propia.

## Broca espiral

Este elemento consta de una barra central con una hélice continua alrededor de esta, muy similar a un tornillo sinfín, cuenta con los elementos de corte distribuidos en la parte inferior de la hélice. El funcionamiento está basado en la penetración del suelo para posteriormente ser retirado y así retirar el suelo que queda en las paredes de la hélice.



**Figura 12:** Elementos de corte  
Fuente: Elaboración propia.

### Trépano

Este elemento es una gran masa de acero que se utiliza a percusión. Se deja caer de cierta altura creando así una energía potencial gravitatoria la cual permite romper un estrato rocoso para atravesarlo o empotrar los pilotes en un estrato rocoso. A mayor masa, mejor resultados brindará. Existen diversos tipos y tamaños en función al estrato en el cual se desea trabajar.



**Figura 13:** Herramientas de perforación  
Fuente: Elaboración propia.

### c. Tipos de sostenimiento

Un punto muy importante para tomar en cuenta en el proceso de excavación es la estabilidad de las paredes de la perforación.

Dependiendo del tipo de suelo donde esté ubicado el proyecto, las condiciones del nivel freático, condiciones físicas y características mecánicas de este, se tomará la decisión de la forma de sostenimiento que se utilizará para la excavación. Como norma general, si el suelo es inestable, independientemente de si existe el nivel freático, se deberá utilizar algún tipo de sostenimiento. Si el estrato inestable del terreno se ubica en la parte superior de la excavación, será suficiente utilizar una camisa metálica de la profundidad del estrato inestable, para emboquillar la perforación y evitar un derrumbe. Si las paredes de toda la excavación son inestables, existe la opción de usar una camisa metálica en toda la profundidad de la excavación o en su defecto, un lodo de excavación. (Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, 1984)

En la presente investigación se tocará el tema de las excavaciones sostenidas por lodo bentonítico.

### d. Verticalidad de excavación

Los pilotes, al ser elementos estructurales y de mecanismo de transferencia de carga, necesitan ser construidos con la mayor precisión posible para garantizar su correcto desempeño; no obstante, debido a las características particulares de cada tipo de suelo, es complicado hacer una excavación completamente vertical más aún cuando los estratos por atravesar contienen bolonería de diversos diámetros, es por este motivo que es necesario monitorear el estado de la verticalidad del pilote conforme se va desarrollando la excavación.

Se deben tener en cuenta las tolerancias geométricas tal como se muestran a continuación, estos rangos están en función a la norma NF EN 1536:2010 Bored Piles. Esto es aplicable para pilotes verticales como inclinados.

a. Rangos de ubicación en planta de pilotes verticales e inclinados referenciados desde el nivel de la plataforma de trabajo:

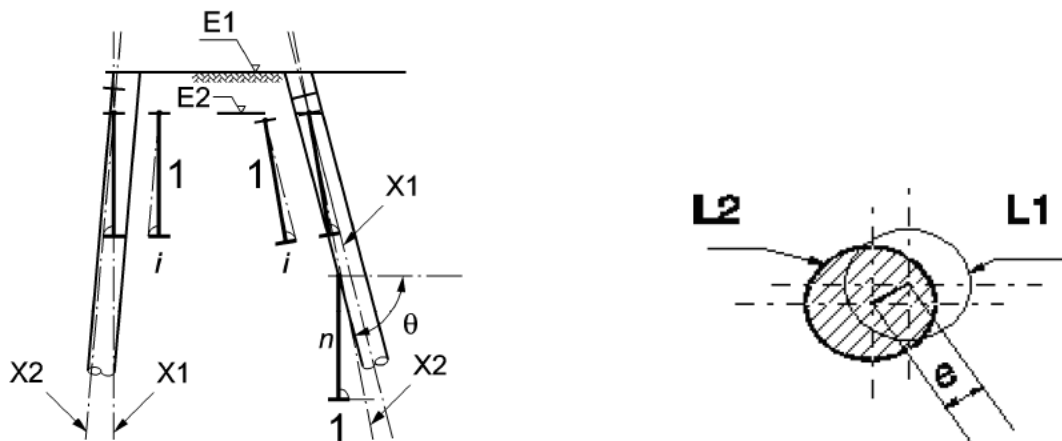
- $e \leq e_{\max} = 10 \text{ cm}$ , para pilotes con  $D \leq 1.00 \text{ m}$
- $e \leq e_{\max} = 0.1 D$ , para pilotes con  $1.00 \text{ m} < D \leq 1.50 \text{ m}$
- $e \leq e_{\max} = 15 \text{ cm}$ , para pilotes con  $D > 1.5 \text{ m}$ .

b. Desviación de la inclinación de pilotes verticales con  $n \geq 15$  ( $\theta \geq 86^\circ$ ):

- $i \leq i_{\max} = 0.02$  ( $\approx 0.02 \text{ m/m}$ ).

c. Desviación de la inclinación de pilotes inclinados con  $4 \leq n < 15$  ( $76^\circ \leq \theta < 86^\circ$ ):

- $i \leq i_{\max} = 0.04$  ( $\approx 0.04 \text{ m/m}$ ).



**Figura 14:** Definición de términos de desviación de construcción geométrica.

Fuente: EN 1536:2010: E

Donde:

- E1 = Nivel de plataforma de trabajo.
- E2 = Nivel de coronación.
- X1= Eje teórico (proyecto).
- X2 = Eje ejecutado.
- $i$  = Tangente del ángulo de desviación (entre el eje teórico y eje ejecutado del pilote excavado).
- $n$  = Inclinación del eje teórico con respecto al eje horizontal.
- $\Theta$  = Angulo del eje teórico con respecto al eje horizontal.
- L1 = Ubicación teórica.
- L2 = Ubicación ejecutada.
- $e$  = Desviación en planta a nivel de plataforma de trabajo.

### C. Armadura

Al hablar de la armadura de refuerzo para pilotes excavados nos centramos en el proceso de armadura de refuerzo de tal manera que tenga el detalle estructural para que se complemente con el concreto y la forma de la excavación sin sufrir algún daño o desperfecto al interactuar con el concreto o en el momento del izaje y de igual manera no afectarlos negativamente.

Por otro lado, la armadura de refuerzo que se emplea debe satisfacer y cumplir los requisitos de calidad, las características físicas y químicas, pruebas de doblado establecidas en la misma dados por las normas nacionales e internacionales como lo es la norma E.060 o ASTM A615, entre otras.



**Figura 15:** Armadura de refuerzo

Fuente: Elaboración propia

a. Detalles de la armadura de refuerzo

Comenzando con las áreas de refuerzos longitudinales mínimas, se recomienda para los pilotes excavados, lo siguiente:

**Tabla 2:** Área mínima de refuerzo longitudinal

Área de la sección del pilote: $A_c$	Área mínima de refuerzo longitudinal: $A_{s,bpmin}$
$A_c \leq 0.5 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0.005 \cdot A_c$
$0.5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1.0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 25 \text{ cm}^2$
$A_c > 1.0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0.0025 \cdot A_c$

Fuente: Traducido de EN 1992-1-1 :2004: E

De todos modos, cabe mencionar que el uso para un determinado país puede variar de acuerdo a sus normas nacionales dadas.

Respecto a las uniones o traslapes de las barras de refuerzo deben ser colocadas y quedar en contacto entre sí, amarrándose con alambre



normalmente de 1,5 mm (N° 16) ó 2,0 mm (N° 12), o con alambre de características similares, de tal manera, que se cumpla y mantenga su alineación y espaciamiento, dentro de las distancias mínimas permitidas, esto para garantizar su rigidez e inmovilidad. En caso el acero de refuerzo a usar tenga un diámetro mayor a 1” no se debe traslapar, sino que se debe de realizar una soldadura o unirlos mediante un sistema roscado.

También se debe tener en cuenta que al momento del armado la jaula de acero no debe estar muy congestionada y que cumplan con las reglas de espaciamientos dadas por sus especificaciones técnicas.

La jaula debe estar armada de tal manera que pueda ser ingresado con facilidad a la excavación y que permita el flujo del hormigón a través de las barras horizontales y verticales sin ningún problema para obtener la calidad del pilote excavado.

Entre las consideraciones que se deben tener en cuenta para el correcto espaciamiento son:

- Las barras verticales y horizontales deben tener un espacio entre ellas mínimo de 4 pulgadas y no mayor de 15 pulgadas.
- Contar con espacio para las juntas, en caso hubiera.
- Espacio suficiente para un acceso libre de la tubería tremie, encargada del vaciado del concreto.
- No exceder el peso recomendado por sus especificaciones técnicas.
- Acceso libre para instrumentos de trabajo, acopiadores, espaciadores y cajeados.

Aun teniendo estas recomendaciones, se sabe que hay normas las ACI336, EN 1536, EN 1538, FHWAGEC 10, E.060 entre otras, que fijan reglas adicionales y teorías que detallan más los espaciamientos, pero también se sabe que entre ellas existen varios tipos de interpretaciones que suelen

generar contradicciones; por lo que se espera que en futuras investigaciones basadas en ensayos y experiencias reales se llegue a un conceso que ayude a tener el espaciamiento adecuado.

**Tabla 3:** Comparación de espaciamientos para pilotes excavados.

ESPACIAMIENTO PARA PILOTES PERFORADOS Y ELEMENTOS PORTANTES			
SITUACIÓN	APARTADO	VALOR	COMENTARIOS
Para elementos en los que la excentricidad de la carga no excede D/8 para pilotes, o H/6 para elementos portantes			
Espaciamien- to horizontal y vertical de las barras	EN1992-1-1:2004+A1, 9.3.1	$\geq 100$ mm	incluso en solapes
	ACI336.1-01, 3.4.9	$\geq 4 D_{max}$	donde $D_{max}$ = tamaño máximo del árido, incluso en solapes
	EN1536:2010+A1, 7.5.2.5	$\leq 400$ mm	lo más amplio posible, pero menos de 400 mm.
	EN206:2013+A1, Annex D.2.2	$\geq 4 D_{max}$	donde $D_{max}$ = tamaño máximo del árido.
	EN1536:2010+A1, 7.5.2.6	$\geq 100$ mm	para barras longitudinales aisladas o agrupadas.
	EN1992-1-1:2004+A1, 9.3.1	$\geq 80$ mm	para longitud de solape, siempre que $D_G \leq 20$ mm (debe tenerse especial consideración para el mantenimiento de un flujo de hormigón suficiente, véanse las secciones 3 y 6).
	EN1536:2010+A1, 7.5.2.7	$\geq 1,5 D_{max}$ y $\geq 2 D_s$	para capas de barras, colocadas radialmente, donde $D_s$ es el diámetro de las barras (de acero).

Fuente: (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

#### D. Concreto y vaciado

Las cimentaciones profundas, en este caso particular, los pilotes excavados, necesitan un concreto con características distintas al de un concreto tradicional.

El proceso constructivo que conlleva esta estructura exige emplear un concreto que esté modificado químicamente para poder así lograr los requerimientos para garantizar la integridad y calidad del producto final.

El concreto a utilizar es el concreto tremie; este es un concreto autocompactante, esto se logra debido a su peso propio y a las modificaciones con sustancias químicas (cemento, áridos, agua y aditivos químicos), como propiedades de este concreto se tiene que no es necesario utilizar una herramienta vibratoria para compactar el concreto. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

En este caso se emplea en una condición sumergida (lodo de excavación) y a través de una tubería tremie, esto con el fin de llegar al fondo de la excavación evitando la contaminación del concreto con el lodo bentonítico. La tubería tremie es la unión de varias tuberías metálicas que poseen juntas impermeables las cuales evitan la contaminación del concreto, esta tubería es coronada por una tolva por donde se coloca el concreto.

El método empleado para vaciar este concreto es el método tremie, también conocido como concreto sumergido o método de desplazamiento del lodo. El objetivo de este método es evitar la segregación del concreto y a su vez, evitar la contaminación del concreto dentro de la excavación con el fluido de soporte, en este caso, lodo bentonítico. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

a. Propiedades del concreto tremie

Tal como se mencionó, este concreto debe poseer ciertas propiedades que se amolden a las condiciones del proceso constructivo para así lograr un producto final de calidad e íntegro estructuralmente.

### **Reología y trabajabilidad**

Son propiedades que influyen directamente en el comportamiento del concreto en estado fresco. Para comprender adecuadamente, es necesario describir algunos parámetros: **tensión de fluencia y viscosidad.**

La tensión de fluencia, como su nombre lo dice, es el fuerza cortante necesario para que el concreto fluya a través de una superficie. Esta tensión no debe ser excesivamente baja debido a que esto originaría segregación de los componentes del concreto. En sentido inverso, un valor excesivamente alto de la tensión de fluencia no aseguraría que el concreto se compacte por gravedad.

La viscosidad es el indicador que mide la resistencia del concreto al flujo. Un bajo valor de viscosidad garantiza el éxito del vaciado del concreto debido a que esto influye directamente en la distribución del concreto dentro de la excavación como embeber la armadura en el concreto para garantizar el recubrimiento de diseño y evitar los vacíos. Se necesita entonces, una cantidad de energía para que el concreto empiece a desplazarse (tensión de fluencia) para luego resistirse a este movimiento (mediante la viscosidad). (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

El concreto de características normales posee una tensión de fluencia relativamente alta entretanto el concreto autocompactante necesita un valor bajo de tensión de fluencia para de esta manera pueda garantizar y desarrollar su capacidad para autonivelarse y compactarse por gravedad.

En el caso específico del concreto tremie es necesario que la tensión de fluencia se encuentre entre las dos, es decir, que se equilibre entre una tensión de fluencia baja para asegurar una buena capacidad de llenado dentro de la excavación y una tensión de fluencia lo suficientemente alta para controlar la segregación del concreto y a su vez poder desplazar el lodo de excavación hacia la superficie.

La viscosidad del concreto tremie debe ser baja, esto aportará con una mejora en la capacidad del concreto para embeber la armadura en el concreto y otros elementos, como dispositivos de auscultación. También aportará con menores tiempos de vaciado. Reducir el tiempo de vaciado se refleja también en la no necesidad de mantener la trabajabilidad del concreto durante un tiempo excesivo. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

El concreto en estado fresco es considerado como un material tixotrópico, esta característica debe controlarse porque si se presenta de manera excesiva en el concreto, podría afectar gravemente la fluidez del concreto cuando se

reanuda el proceso de vaciado luego de alguna interrupción en la continuidad del concreto, lo que puede llevar a presentarse juntas frías en la estructura o atrapamientos de tuberías tremie dentro de la excavación cuando el concreto inicia su proceso de fraguado.

### **Estabilidad del concreto**

Se dice que un concreto es estable cuando tiene la capacidad de retener el agua y presenta resistencia a la segregación estática. Esta propiedad es importante porque influye directamente en la calidad e integridad del producto final, en este caso, pilotes excavados. Influye indirectamente también debido a que impacta en el mecanismo de flujo del concreto. Cuando las propiedades del concreto han sido alteradas debido a una filtración y exudación excesivas, para los posteriores vertidos, será complicado desplazar el volumen de concreto que se encuentra por encima de la tubería sumergida, ocasionando taponamientos en la tubería tremie.

Hay dos mecanismos que representan la pérdida de agua en una masa de concreto fresco que a continuación se mencionan:

#### **Filtrado**

El concreto empleado en cimentaciones profundas suele estar expuesto a grandes presiones hidrostáticas, por consiguiente, existe un incremento en la presión del agua intersticial que aumentan con la profundidad. De manera que se genera un gradiente hidráulico, dando lugar a flujos de agua que escapan del concreto fresco y se filtran en la masa de suelo adyacente.

La secuela de este panorama es el endurecimiento del concreto antes de lo previsto, lo que afecta a las propiedades reológicas del concreto: incremento de la tensión de fluencia y viscosidad.

Para casos en que la cimentación muy profunda, se debe tomar la eventualidad de filtración en la etapa del diseño de mezcla.

## **Exudación**

Es un mecanismo especial derivado de la segregación que se origina por la diferencia de densidades de los compuestos del concreto. Esto causa una presión intersticial más alta que la carga hidrostática, generando que el agua de la pasta fluya hacia la superficie del concreto.

La exudación es una particularidad fundamental en el concreto, pero cuando esta ocurre a altas presiones hidrostáticas, debido a la profundidad de la cimentación, es cuando se torna aún más importante en el concreto tremie.

Por esta razón, cuando las pruebas de exudación son obligatorias en el concreto tremie, esta se debería realizar de la mano con el ensayo de filtrado (bajo presión).

### **b. Ensayos de aceptación**

La importancia de ejecutar estos ensayos es conocer si el concreto a utilizar en la estructura cumple con los parámetros bajo los cuales fueron diseñados.

Un conveniente rendimiento del concreto tremie está basado en una serie de ensayos puesto que ningún ensayo por sí solo puede reflejar las características necesarias para la estructura en construcción. Estos ensayos son parte global del control de producción que ejecuta el proveedor de concreto.

De la misma manera, la organización (contratista) debe ejecutar los ensayos de aceptación en obra para corroborar que cada carga de concreto se encuentre dentro de los parámetros de diseño y de esa manera aceptar y vaciar el concreto.

“Los ensayos de aceptación deben incluir el ensayo de escurrimiento y el Índice de Estabilidad Visual (VSI) de cada carga” (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el hormigón, 2018, p. 32).

Comúnmente se utiliza la prueba de asentamiento o cono de Abrams para la aceptación del concreto; no obstante, para este tipo de concreto en estudio, existen ciertas restricciones de su uso. Según la norma EN 206:2013 F se recomienda utilizar la prueba de asentamiento para valores mayores a 10 mm y menores de 210 mm.

Por consiguiente, se recomienda utilizar el ensayo de asentamiento para los valores previamente indicados, o en su defecto, el ensayo de escurrimiento.

### **Ensayo de escurrimiento**

Este ensayo aporta con el monitoreo de la consistencia del concreto fresco autocompactante. Indica también el potencial que posee el concreto para llenar y desplazarse por la excavación, y embeber la armadura con concreto. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018). Para este ensayo se necesita una superficie plana, no absorbente, se recomienda una plancha metálica de 700 mm de longitud por cada lado para los casos en donde no se cuente con dicha superficie, teniendo en cuenta que esta superficie deberá estar limpia y húmeda.

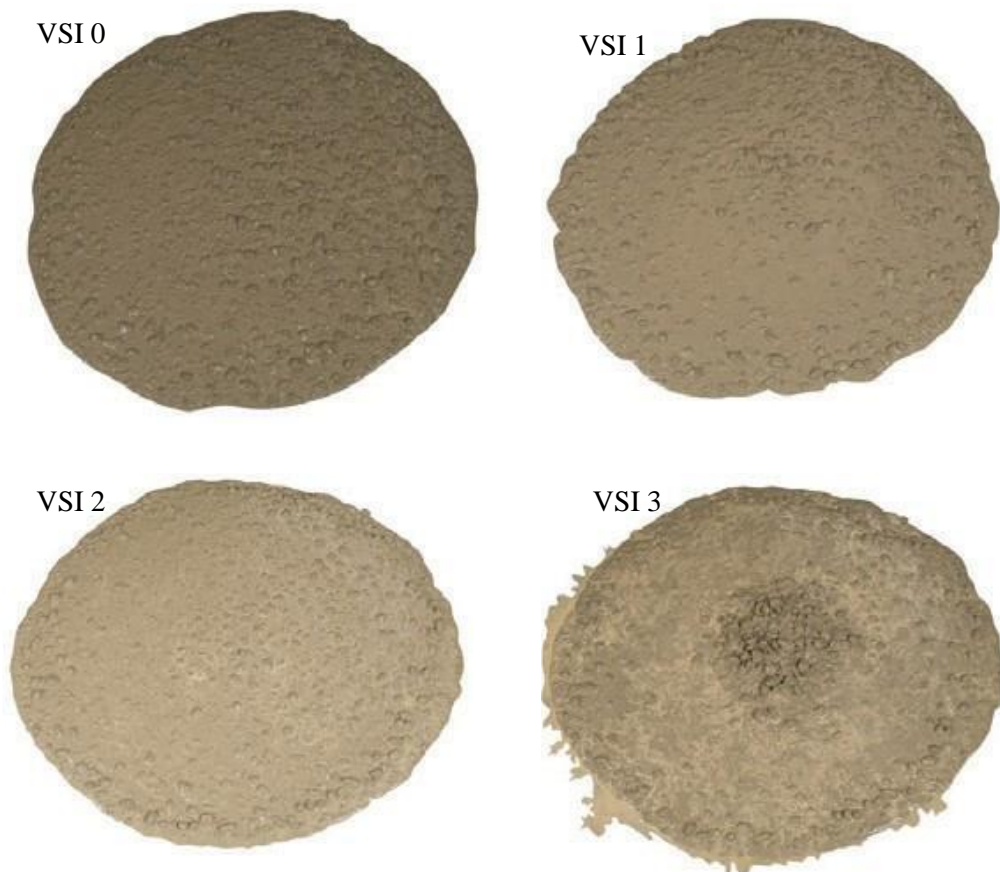
Luego de nivelar la superficie de trabajo, colocar el cono de Abrams o de asentamiento con el diámetro mayor apoyado en la superficie y en el centro de esta, se deberá llenar el cono con concreto, previamente batido, en una sola capa, sin la necesidad de compactarlo mecánicamente con una varilla (enrasar la parte superior con la varilla y retirar el excedente).

Levantar el cono verticalmente en un tiempo entre 1 y 3 segundos (dentro de los 30 segundos desde el inicio de llenado), una vez el concreto deje de fluir, se debe medir dos diámetros del material esparcido; las medidas deben ser en posiciones ortogonales y redondear el valor hacia los 10 mm más cercanos, debe registrarse el diámetro promedio. La diferencia entre las mediciones no debe exceder los 50 mm, en caso esto suceda, se deberá volver a ensayar otra muestra.

Este ensayo está avalado por las normas ASTM C1611 y EN 12350 – 8.

### **Ensayo de Índice de Estabilidad Visual**

Este ensayo está basado en la apreciación visual para clasificar la resistencia del concreto a la segregación. Con este ensayo se conocerá si la masa de concreto tiende a exudar o segregarse, tener en cuenta que para realizar este ensayo se debe ejecutar el mismo procedimiento descrito para el ensayo de escurrimiento. Luego que la masa de concreto deja de fluir, se inspecciona visualmente y clasifica según los criterios presentados a continuación. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)



**Figura 16:** Muestras de concreto para índice de Estabilidad Visual

Fuente: (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)



**Tabla 4:** Criterios de aceptación del Índice de Estabilidad Visual

Valor VSI	Criterio
0 = Muy estable	No se aprecia segregación o exudación
1 = Estable	No se aprecia segregación; ligeros indicios de exudación observados en forma de “brillo” sobre la masa de hormigón.
2 = Inestable	Ligero halo de mortero < 10 mm [1/2 pulg.] y/o acumulación de áridos en el centro de la masa de hormigón.
3 = Altamente inestable	Segregación clara, apreciándose un gran halo de mortero > 10 mm [1/2 pulg.] y/o una gran acumulación de áridos en el centro de la masa de hormigón.

Fuente: (Grupo de Trabajo Conjunto EFEC/DFI para el Hormigón, 2018)

### **Ensayo de asentamiento**

El ensayo en mención nos brindará una medida de la trabajabilidad del concreto. Para realizar este ensayo se necesita una superficie limpia, lisa y no absorbente, un cono de asentamiento de 30 cm de alto y una varilla lisa de 1” de diámetro.

Se coloca el cono con el diámetro mayor en contacto con la superficie, se rellena el cono con concreto en 3 capas de igual altura y compactar con 25 golpes cada una, tener en cuenta que se debe enrasar la superficie y limpiar los excedentes de los alrededores. Levantar el cono y tomar la medida de la diferencia entre la altura del cono y la altura de la masa de concreto

esparcida; según las especificaciones del proyecto, se aprobará o no la carga de concreto siempre y cuando este ensayo sea elegido como parte de la aceptación del concreto.

A continuación, se muestra una tabla resumen con valores de aceptación para el ensayo de escurrimiento y el ensayo de asentamiento que se recomiendan para este tipo de concreto.

**Tabla 5:** Valores objetivo de consistencia y tolerancia del concreto fresco en diferentes condiciones

Diámetro de flujo $\phi$ (mm)	Asentamiento H (mm)	Condiciones de uso típicas (ejemplos)
$500 \pm 30$	$150 \pm 30$	Concreto en condiciones secas
$560 \pm 30$	$180 \pm 30$	Concreto bombeado o con tubería tremie en condiciones sumergidas
$600 \pm 30$	$200 \pm 30$	Vaciado con tubería tremie en condiciones sumergidas y con ayuda de fluido de sostenimiento

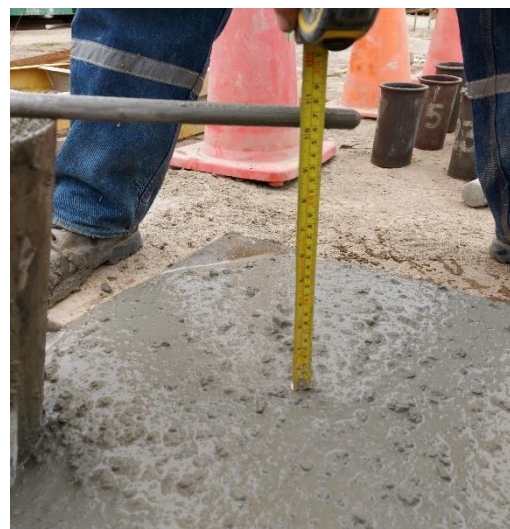
Nota: El asentamiento (H) o el diámetro del flujo ( $\phi$ ) se debe redondear a los 10 mm más cercanos

Fuente: Traducido de EN 1536:2010: E



**Figura 18:** Ensayo de asentamiento

Fuente: Elaboración propia



**Figura 17:** Resultado de ensayo de asentamiento

Fuente: Elaboración propia

### c. Retención de la trabajabilidad

El concreto tremie, utilizado para este tipo de estructuras, debe tener ciertas características que permitan la correcta colocación de este y también que aseguren que, durante el tiempo de vaciado, el concreto no pierda sus propiedades de diseño. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

Estos pilotes suelen requerir grandes volúmenes de concreto por la profundidad y diámetro que los caracterizan, es por este motivo que el proceso de vaciado de concreto dura varias horas. Por esta razón es necesario que el concreto cumpla con una retención de trabajabilidad estipulada dentro de las especificaciones del proyecto.

En obra es necesario hacer seguimiento y control de estas características como medida de control de calidad, las características a controlar serán las necesarias para evaluar el comportamiento del concreto durante el tiempo estipulado para el vaciado de concreto.

Los ensayos a ejecutar serán asentamiento o escurrimiento, dependiendo de las especificaciones técnicas del proyecto, flujo en cono invertido y temperatura del concreto, ello indicará el comportamiento de la trabajabilidad del concreto durante el tiempo estipulado de retención de trabajabilidad.

Adicionalmente a estos ensayos se recomienda monitorear la exudación y filtrado del concreto porque, como se mencionó párrafos arriba, si no mantienen sus características podría generar inconvenientes posteriores.

A continuación, se detallarán los ensayos antes mencionados:

Los ensayos de escurrimiento o asentamiento han sido detallados dentro de los ensayos de aceptación, para la retención de la trabajabilidad se recomienda realizar el ensayo correspondiente en intervalos de una hora.

Lo que quiere decir, el primer control se realiza con la llegada del camión surtidor; sin embargo, se contabilizará el tiempo desde el inicio de mezclado; algunas empresas concreteras manejan ese dato, en caso no se cuente con esa información, se tomará en cuenta la hora de salida de planta ya que es la más cercana al momento en que el agua se mezcla con el cemento.

Con el mismo intervalo de tiempo se controlará la viscosidad, a través del ensayo de flujo en cono invertido, la cual también es una medida de la trabajabilidad del concreto, este ensayo complementa el de asentamiento o escurrimiento.

Luego de la llegada del mixer a obra, se deberá separar la muestra en dos carretillas llenas de concreto, se deberán cubrir y posteriormente almacenarse durante todo el tiempo del ensayo en un lugar bajo sombra para evitar la incidencia de los rayos solares.

### **Ensayo de flujo en cono invertido**

Este ensayo mide el tiempo, en segundos, que tarda la masa de concreto en salir del cono de abrams en posición invertida, para realizar este ensayo se utiliza el mismo equipo para el ensayo de asentamiento más un cronómetro, se coloca el cono en posición invertida, el diámetro menor en contacto con la superficie de apoyo, y se llena de concreto en una sola capa, compactar 25 veces con la varilla lisa, enrasar la superficie, limpiar los excedentes y esperar 30 segundos, para lo cual el cronómetro debe estar en cero.

Levantar el cono de forma vertical hasta unos 40 centímetros aproximadamente en un tiempo de  $3 \pm 1$  segundo. Empezar a contabilizar el tiempo desde que el concreto empieza salir por la apertura del cono y se finaliza la medición cuando el cono ha quedado vacío, la precisión del tiempo será de 0.1 segundos. En el caso que no se cuente con una especificación detallada, se recomienda trabajar con un intervalo entre 2 segundos como mínimo y 7 segundos como máximo.

## **Ensayo de exudación**

Mediante este ensayo podremos conocer si la masa de concreto pierde agua de la mezcla debido a la consolidación del concreto. (Soletanche Bachy, 2020) El principio de este ensayo es medir el volumen de agua que brota hacia la superficie de la muestra de concreto debido al asentamiento de este; esto se deberá controlar cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos, luego cada 30 minutos. será necesario un recipiente de forma cilíndrica con un diámetro interior de 250 mm y una altura de 300 mm aproximadamente, una tapa y una cuña los cuales deberán ser de material no absorbente y resistente a la pasta de concreto. Se necesitará también una varilla metálica lisa para compactar el concreto, una pipeta o jeringa milimétrica.

Se procede a pesar el recipiente vacío, limpio y seco; luego se llenará el recipiente con concreto colocado en 3 capas y compactado con 25 golpes cada una hasta una altura de 250 mm y cubrir con un plástico sin que esté en contacto con el concreto para impedir la evaporación del agua; sobre el plástico colocar la tapa del recipiente; apuntar la hora del inicio del ensayo; apuntar el peso del recipiente con el concreto y la diferencia de ambos pesos dará como resultado el peso de la masa de concreto.

Inicialmente cada 10 minutos se deberá realizar el chequeo del concreto durante los primeros 40 minutos, posterior a ello, las tomas se harán cada 30 minutos; dos minutos antes de cumplirse este tiempo, se deberá inclinar el recipiente con una cuña en la parte inferior hasta cumplir el tiempo establecido para que la posible agua de exudación se dirija hacia un solo extremo; en este momento, con una pipeta o jeringa graduada, extraer toda el agua de exudación presente en la superficie, dar lectura y anotar en mililitros.

Se considera que un valor de exudación es relevante cuando este es mayor o igual que 0.5 ml. En caso de no lograr este resultado, se continuará

ejecutando la prueba durante el periodo establecido para la retención de la trabajabilidad del concreto; cuando el valor de exudación exceda el límite inferior mencionado previamente, se continuará ejecutando la prueba durante un periodo de 2 horas más.

Para el cálculo de la velocidad de exudación se tomarán en cuenta solo aquellos valores mayores a 0.5 ml; la suma de estos valores se divide entre 120 minutos (2 horas después de exceder los 0.5 ml). En caso de que la velocidad de exudación sea mayor a 0.1 ml/min, este no será conforme.

### **Ensayo de filtrado Bauer**

Mediante este ensayo podremos conocer la capacidad que posee el concreto para retener agua en un escenario bajo presión; este ensayo determina la pérdida de agua por filtrado a través de un filtro. (Soletanche Bachy, 2020)

Para llevar a cabo este ensayo es necesario un recipiente de forma cilíndrica de 1.5 litros de volumen; en la parte inferior se coloca un papel filtro y en la parte superior va un dispositivo que presuriza aire comprimido y un manómetro con regulador de presión, se llena el recipiente con concreto en dos capas con 5 golpes cada una; se coloca bajo una presión de 5 bar durante 5 minutos; en la parte inferior se coloca una probeta graduada donde se visualizará el volumen de agua que se separa de la masa de concreto.

Para este tipo de concreto (tremie) se recomienda un valor máximo de filtrado de 20 ml.; los valores que se encuentren por encima de este podrían no ser aprobados.

Este ensayo tanto como el ensayo de exudación son una medida de la estabilidad del concreto. Se recomienda ejecutarlos por lo menos una vez cada semana junto con los ensayos de retención de la trabajabilidad del concreto.

Los dos últimos ensayos mencionados solo se ejecutarán al inicio mas no durante todo el lapso del control de la trabajabilidad del concreto.

### 2.2.3. Calidad

La calidad es el grado en el que las características de un proyecto cumplen con sus requisitos. Es el conjunto de procesos, elementos y responsabilidades que, interrelacionados apropiadamente, sirven para garantizar a las organizaciones y sus clientes que los productos o servicios ejecutados cumplan los requerimientos previamente establecidos.

En conceptos generales de gestión, la calidad hace referencia desde un punto de vista de producción, en satisfacer los requisitos del cliente, así como sus necesidades y expectativas. Viéndolo en conceptos de ingeniería (ejecutar), la calidad hace referencia en lograr que la ejecución de un producto (procesos constructivos de un pilote excavado), cumpla a cabalidad las especificaciones técnicas indicadas en el diseño de este. Usualmente en esta área de trabajo se suele contar con tres tipos de documentos referidos a la calidad para la ejecución de sus procesos constructivos.

- Manual de calidad. Donde se refiere a las políticas de calidad, procedimientos de calidad y buenas prácticas de la organización.
- Procedimientos de calidad. Donde se refiere a las secuencias que toma la organización para sus actividades a realizar y lograr la calidad correspondiente.
- Plan de calidad. Donde se refiere específicamente a un proyecto en particular, a sus procesos contractuales y como se logra la calidad en ellos, y no como sus predecesoras que se encargan de ver la calidad como organización.

Por lo cual es importante contar y saber cómo involucrar el concepto o definición de calidad en nuestros procesos constructivos, una de las prácticas para hacerle

seguimiento a esta, son las inspecciones, también llamadas auditorias dependiendo del término a usar por las organizaciones. Las inspecciones son procesos sistematizados utilizados para decidir si las actividades del proyecto están cumpliendo con los procesos y los procedimientos del proyecto. Esta inspección de calidad por lo general se lleva a cabo por un equipo externo al proyecto o por el departamento de auditoría interna de la organización. Entre los objetivos principales de una inspección de calidad, tenemos:

- Identificar las mejores prácticas implementadas en los procesos.
- Identificar todas las no conformidades y los defectos encontrados.
- Introducir las buenas prácticas implementadas en los proyectos similares de la organización.

Llevar el seguimiento de la calidad o implementarlo en los proyectos mediante una serie de acciones y procesos sistemáticos nos trae beneficios como:

- Mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos constructivos y actividades a fin de lograr los mejores resultados y desempeño posible.
- Promover la confianza de que un producto o elemento futuro será terminado de manera que cumpla con los requisitos y especificaciones a través de herramientas y técnicas de control de calidad.

El no contar con estas definiciones, acciones o prácticas, puede llevar al incumplimiento de los requisitos de calidad lo cual puede traer consecuencias negativas graves como, por ejemplo, realizar rápidamente las inspecciones de calidad a las diferentes fases del proyecto puede dar lugar a errores no detectados, menores ganancias en costo, pérdida de prestigio, atraso en el cronograma del proyecto e incremento en los riesgos post-ejecución y puesta en marcha.



## A. Evolución de la calidad

El término calidad aparece aproximadamente por épocas preindustriales, en la cual unos de los trabajos de aquellas épocas eran artesanales, donde nace la necesidad del cliente de buscar un producto que cumpla con sus expectativas tanto en lo funcional como en lo material.

Encontrados en esta situación el artesano tenía que cumplir con todo lo requerido por sus diferentes clientes, lo cual era algo no tan complicado porque se contaba con todo lo solicitado, pero en épocas industriales donde los productos eran elaborados de manera masiva, fue necesario con el paso del tiempo implementar los términos calidad y control de calidad, que fueron evolucionando desde la inspección del producto hasta la implementación una secuencia de procesos para así garantizar que el producto cuente con todo lo especificado y requerido (Rodrigo, 2015).

A continuación, nombramos algunas fases por las cuales pasa el concepto de calidad en las organizaciones.:

- Inspección del producto final.
- Control del proceso.
- Aseguramiento de la calidad.
- Sistema de gestión de calidad.
- Mejora continua.
- Calidad total.
- Control de calidad.

En la industria de la construcción, la calidad entró con más firmeza aproximadamente en los años 1990. Se dice que los primeros en involucrar e introducir este término en la construcción fueron los españoles,

esforzándose y dando teorías nuevas sobre la mejora incorporando la calidad (Garrido, 1996).

Durante esta época se vivía una gran problemática sobre la calidad en los sectores de construcción proveniente de la sociedad, por lo que esta zona europea tomó acciones en base a teorías de mejora continua referidas a la calidad de sus construcciones.

Durante esas épocas se aprobaron documentos que reforzaban un mayor análisis a la calidad de la construcción en zonas europeas, tales como conceptos de calidad y cómo debería ser implementada por las organizaciones dedicadas a la construcción.

Con lo cual llegarían instituciones y modelos especializados en brindar nuevas técnicas y conceptos sobre la calidad, exponiendo sus teorías basadas en experiencias de profesionales expertos dedicados al rubro; siendo la más representativa actualmente la ISO 9001, encargada de dar un sistema de gestión de calidad como organización (Rodrigo, 2015).

A continuación, mencionaremos algunos modelos de gestión de calidad que existen en la actualidad:

- Modelo Deming, 1954
- Modelo OPM3 (Organizational Project Management Maturity Model)
- Modelo CMMI (Capability Maturity Model Integration)
- Modelo Malcom Baldrige, 1987

#### 2.2.4. Control de calidad

Respecto a controlar la calidad nos podemos referir a un conjunto actividades y métricas que son utilizadas para monitorear los requisitos y estándares de calidad del producto, siendo nuestro caso un pilote excavado. El control lo relacionamos directamente con la supervisión, inspección y con el empleo de instrumentos y

métricas para evaluar el desempeño y asegurar que las salidas de cada proceso constructivo del proyecto sean completas, correctas y cumplan con los requisitos especificados por su diseño. Al controlar la calidad debemos garantizar que las salidas mencionadas del proyecto hagan lo que estaban destinadas a hacer.

Controlar la calidad se puede describir como una estrategia para asegurar el mejoramiento continuo de la calidad de la estructura y sus procesos constructivos; también podemos decir que se ocupa de la comparación de los resultados del trabajo con los requisitos de calidad a fin de garantizar que el resultado sea aceptable.

El concepto controlar la calidad, durante la evolución en el tiempo, nos muestra que pasó de solo enfocarse en el resultado final del producto o proyecto, de indicar si se acepta o rechaza, a realizar intervenciones secuenciales de inspección durante todo el proceso constructivo del producto o proyecto, así dando una mayor confiabilidad del mismo, y en caso se encontrar alguna anomalía, actuar de inmediato mediante acciones correctivas o preventivas para garantizar los resultados finales parciales y el resultado final total.

Esto, en el mundo constructivo, logra crear una nueva filosofía enfocando en una cultura de calidad y mejora continua moldeando nuevas teorías y ayudando a cada vez tener un mejor control de las mismas, en base a experiencias y hechos reales presentado en las diferentes organizaciones (Rodrigo, 2015).

A continuación, se tiene algunas consideraciones para el control de calidad de un proyecto:

- Contar con los planos.
- Memoria descriptiva.
- Especificaciones técnicas.
- Al presentarse alguna no conformidad por parte del proyecto, solucionarlos en el tiempo adecuado.

- Contar con planes para la elaboración de sus actividades del proyecto (plan de trabajo, plan de calidad, plan de seguridad y salud, plan medio ambiente, entre otros.)

#### A. Herramientas para el control de la calidad

La obtención de datos para el control de calidad del proyecto es un proceso que se debe llevar a cabo a lo largo de todo el proyecto de manera sistemática.

Actualmente existen técnicas gráficas que fueron expuestas por Kaoru Ishikawa y las denominó como las 7 herramientas de control de calidad, para sustentar una solución a los problemas que aparecían relacionados a la calidad en las organizaciones, estos gráficos fueron:

- Diagrama de Pareto.
- Diagrama de causa efecto.
- Estratificación.
- Hoja de comprobación.
- Histograma.
- Diagrama de dispersión.
- Gráfico de control.

Donde Kaoru Ishikawa afirma que usando estas 7 herramientas se podría resolver cualquier tipo de problemas encontrados. Estas herramientas ayudan a organizar datos, a planificar mejor los procesos y aporta en cuanto a la toma de decisiones ante cualquier dificultad encontrada en los proyectos, pero también indica que un factor muy importante para salir airoso de un problema encontrado es saber escoger qué técnica se adecúa más al problema y cómo usarla de manera correcta para que sea eficiente.

Cabe mencionar que sea cual sea la herramienta a usar, siempre la obtención de datos para el control de calidad del proyecto es un proceso que se debe llevar a cabo a lo largo de todo el proyecto (Rodrigo, 2015).

### 2.3. Definición de términos básicos

**Manual:** Conjunto de instrucciones que servirán como explicación y guía para la ejecución paso a paso de como ejecutar un proyecto.

**Control:** Acciones ejecutadas para medir todas las actividades de los procesos constructivos con la finalidad de hacer un seguimiento continuo de calidad.

**Calidad:** Conjunto de características que debe reunir, tanto materiales como procesos constructivos de pilotes excavados, que le confieran la aptitud de satisfacer los requisitos para los cuales fueron diseñados.

**Proceso constructivo:** Grupo de actividades que interactúan entre sí y están relacionadas a la construcción de pilotes excavados hasta su culminación.

**Pilote:** Estructura esbelta de sección circular que pueden cimentarse de forma directa para la transferencia de cargas recibidas al suelo.

**Excavar:** Es el proceso de usar algunas herramientas manuales o equipo pesado, para eliminar material de una superficie sólida, generalmente tierra o arena en la superficie del suelo.

**Requisito:** Capacidad o condición que debe y se requiere que estén presentes en los procesos constructivos.

**Especificaciones Técnicas:** Son los documentos contractuales que contienen descripción técnica de los materiales, equipos, sistemas de construcción, normas técnicas, calidad de los trabajos y administrativos aplicables a la obra.

**Inspecciones:** Conjunto de acciones que debidamente programados se realizan para hacer seguimiento, verificar el cumplimiento de los procesos constructivos y evidenciar su conformidad.

**Ensayo/prueba:** Determinación de una o más características de acuerdo a un procedimiento.

**Mejora continua:** Actividad recurrente para aumentar la capacidad de cumplir los requisitos.

**Conformidad:** Cumplimiento de un requisito.

**No conformidad:** Incumplimiento de un requisito.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Tipo y nivel

El método de investigación de la presente tesis es inductivo ya que el estudio que se propone será realizado en base al caso particular de los pilotes excavados de concreto armado para generalizarlo y plasmarlo en un manual de control de calidad.

#### 3.1.1. Tipo de investigación

En una investigación de tipo descriptivo "...la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis". (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014, p. 92)

Esto quiere decir que la principal característica de este tipo es recopilar y medir de forma individual o grupal las características y requisitos que deben cumplir los pilotes en cada etapa del proceso constructivo, con el objetivo de evaluar si estas son aptas en base a lo solicitado.

#### 3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es descriptivo porque se limitará a la descripción de las variables y cómo éstas se relacionan. Esto será plasmado en el manual de control de calidad.

#### 3.1.3. Orientación de la investigación

La orientación de esta investigación es aplicada debido a que busca ampliar los conocimientos a través de la propuesta de un manual de control de calidad para que la aplicación de este conocimiento sea de manera práctica en todas las organizaciones dedicadas al rubro de pilotes excavados.

#### 3.1.4. Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo, que representa un conjunto de procesos, es secuencial; esto quiere decir que cada etapa precede a la siguiente y no se pueden eludir pasos (Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014).

Llevando esta afirmación a nuestra investigación, nuestras variables de trabajo (procesos constructivos y control de calidad) son cuantitativas debido a que ambas son procesos que se ejecutan en una serie de pasos establecidos con la finalidad de obtener un resultado final.

#### 3.1.5. Fuentes de información

La fuente de información es retro lectiva porque se recopilará la información de diversas normas, estudios de investigación y datos adquiridos en la empresa Soletanche Bachy Perú.

#### 3.2. Diseño de la investigación

- Según el propósito de estudio es no experimental debido a que no se manipulará el control de los parámetros para asegurar la calidad de los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado.
- Según el número de mediciones es transversal ya que el control de los parámetros solo se realiza una vez, que es en el momento de ejecución de los pilotes y no después.
- Según la cronología de las observaciones es retrospectivo ya que los datos se recogen de la obra en la cual la empresa Soletanche Bachy Perú ejecuta los trabajos.

#### 3.3. Población y muestra

La población de estudio son los pilotes de la Estación 03 Juan Pablo II y Estación 27 Municipalidad de Ate Vitarte de la Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de



la Red Básica del Metro de Lima y Callao que son ejecutadas por la empresa Soletanche Bachy Perú.

La muestra para la siguiente investigación es un pilote (P-01) excavado de concreto armado que se realiza la estación N° 27 Municipalidad de Ate Vitarte que fue ejecutado por la empresa Soletanche Bachy Perú. A continuación, se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 6:** Población y muestra de estudio

Nombre del pilote	Longitud (m)	Ubicación	Este	Norte
P-01	32.80	Estación 27 Municipalidad Ate Vitarte	291057.75	8669878.97
P-02	38.16		291070.93	8669883.69
P-03	35.01		291084.11	8669888.41
P-04	33.87		291097.29	8669893.13
P-05	33.17		291110.47	8669897.85
P-06	32.76		291122.71	8669902.23
P-07	34.40		291134.00	8669906.28
P-08	36.61		291145.30	8669910.32
P-09	33.13		291155.66	8669914.03
P-10	33.78		291165.50	8669917.56
P-11	32.11		291062.87	8669864.66
P-12	36.98		291076.05	8669869.38
P-13	33.77		291089.23	8669874.10
P-14	33.06		291102.41	8669878.82
P-15	32.38		291115.59	8669883.54
P-16	32.57		291127.83	8669887.92
P-17	33.10		291139.13	8669891.97
P-18	32.93		291150.43	8669896.01
P-19	33.11		291160.78	8669899.72
P-20	35.60		291170.62	8669903.25
B-02	27.54	Estación 03 Juan Pablo II	269639.17	8666233.05
B-03	27.69		269652.33	8666236.05
B-04	27.84		269665.98	8666239.16
B-05	27.99		269678.66	8666242.05
B-06	32.14		269692.31	8666245.16
B-07	32.30		269705.96	8666248.27
B-08	32.43		269718.63	8666251.16
B-09	28.60		269732.28	8666254.27
B-10	28.75		269745.45	8666257.27
C-02	27.53		269642.55	8666218.23
C-03	27.69		269655.71	8666221.23
C-04	27.84		269669.36	8666224.34
C-05	27.99		269682.04	8666227.23
C-06	32.14		269695.69	8666230.34
C-07	32.30		269709.34	8666233.45
C-08	32.44		269722.01	8666236.34
C-09	28.60		269735.66	8666239.45
C-10	28.75		269748.82	8666242.45

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Variables

#### 3.4.1. Definición conceptual de variables

##### A. VARIABLE INDEPENDIENTE

- X: Control de calidad

##### B. VARIABLE DEPENDIENTE

- Y: Procesos constructivos

##### C. DIMENSIONES X

- X1: Control de parámetros del fluido de excavación
- X2: Control de verticalidad
- X3: Control de armadura de refuerzo
- X4: Control de concreto y vaciado

##### D. DIMENSIONES Y

- Y1: Proceso de fluido de excavación
- Y2: Proceso de excavación
- Y3: Proceso de armadura de refuerzo
- Y4: Proceso de vaciado de concreto

##### E. INDICADORES X

- X11: Viscosidad
- X12: Contenido de arena
- X13: Densidad
- X14: Cake
- X15: Filtrado
- X16: pH
- X21: Desviación máxima 2% de profundidad.
- X31: Espaciamiento libre entre varillas
- X32: Espacio para tubería tremie
- X41: Asentamiento
- X42: Esgurrimiento
- X43: Viscosidad

- X44: Temperatura
- X45: Tubería tremie
- X46: Ensayos de permanencia

F. INDICADORES

- Y11: Lodo nuevo
- Y12: Lodo de reuso
- Y13: Lodo antes de vaciar
- Y21: Pérdida de verticalidad
- Y31: Armado e izaje de armadura
- Y41: Concreto fresco
- Y42: Concreto en proceso de vaciado

**Tabla 7:** Definición de variables

	<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
<b>GENERALES</b>	<b>VI:</b> Control de calidad	<b>VI:</b> Conjunto de características que debe reunir, tanto materiales como procesos constructivos de pilotes excavados que le confieran la aptitud de satisfacer los requisitos para los cuales fueron diseñados.
	<b>VD:</b> Procesos Constructivos	<b>VD:</b> Grupo de actividades que interactúan entre sí y están relacionadas a la construcción de pilotes excavados hasta su culminación.
<b>ESPECIFICOS</b>	<b>VI:</b> Control de parámetros de fluido de excavación	<b>VI:</b> Monitoreo sistemático de las características del fluido de excavación durante los procesos constructivos en los cuales interviene con la finalidad de mantenerlo dentro de los rangos estipulados por norma.
	<b>VD:</b> Proceso del fluido de excavación	<b>VD:</b> Diferentes etapas en las que interviene el fluido de excavación como preparación del lodo, uso en excavación y desarenado previo al vaciado de concreto. En cada etapa se debe realizar los controles antes mencionados.
	<b>VI:</b> Control de verticalidad	<b>VI:</b> Control de la verticalidad del pilote en comparación a la línea vertical teórica. Esto quiere decir, verificar que el grado de desviación cumpla las especificaciones.
	<b>VD:</b> Proceso de excavación	<b>VD:</b> Es el conjunto de actividades necesarias para remover el suelo donde se construirá el pilote. La excavación debe cumplir el rango de verticalidad especificada y se realiza mediante una maquina diseñada para atravesar todo tipo de estratos de suelo y roca.
	<b>VI:</b> Control de armadura de refuerzo	<b>VI:</b> Hace referencia a las diversas inspecciones que se deben realizar en el acero y su habilitación, pasando por el cumplimiento de detalles y amarres hasta la colocación en el sitio.
	<b>VD:</b> Proceso de armadura de refuerzo	<b>VD:</b> Es el conjunto de actividades que tiene como finalidad habilitar la armadura de refuerzo y colocarla dentro de la excavación donde se construirá el pilote.
<b>VI:</b> Control de concreto y vaciado	<b>VI:</b> Monitoreo del concreto con todos los ensayos que se le realizan en estado fresco previo al vaciado, se monitorea también el proceso de vaciado de concreto tremie.	
<b>VD:</b> Proceso de vaciado de concreto	<b>VD:</b> Conjunto de actividades que se realizan para poder vaciar el concreto tremie siguiendo todas las regulaciones que este necesita.	

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2. Operacionalización de las variables

**Tabla 8:** Operacionalización de variables

OBJETIVOS	VARIABLES PRINCIPALES	
<b>Objetivo general</b>	X: Control de calidad	Y: Procesos constructivos
Proponer un manual de control de calidad para monitorear los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado a través de un análisis documental.	DIMENSIONES DE X	DIMENSIONES DE Y
	X1: Control de parámetros del fluido de excavación X2: Control de verticalidad X3: Control de armadura de refuerzo X4: Control de concreto y vaciado	Y1: Proceso de fluido de excavación Y2: Proceso de excavación Y3: Proceso de armadura de refuerzo Y4: Proceso de vaciado de concreto
	INDICADORES DE X	INDICADORES DE Y
	X11: Viscosidad X12: Contenido de arena X13: Densidad X14: Cake X15: Filtrado X16: Ph X21: Desviación máxima 2% de la profundidad. X31: Espaciamiento libre entre varillas X32: Espacio para tubería tremie X41: Asentamiento X42: Escurrimiento X43: Viscosidad X44: Temperatura X45: Tubería tremie X46: Ensayos de permanencia	Y11: Lodo nuevo Y12: Lodo de rehúso Y13: Lodo antes de vaciar Y21: Pérdida de verticalidad Y31: Armado e izaje de armadura Y41: Concreto fresco Y42: Concreto en proceso de vaciado
<b>Problema general</b>	¿De qué manera un manual de control de calidad influye en el monitoreo de los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado?	
<b>Problema específico 1</b>	¿De qué manera un control de parámetros del fluido de excavación influye en el proceso de fluido de excavación en pilotes excavados?	
<b>Problema específico 2</b>	¿De qué manera un control de verticalidad influye en el proceso de excavación de pilotes excavados?	
<b>Problema específico 3</b>	¿De qué manera un control de armadura de refuerzo influye en el proceso de armadura de refuerzo en pilotes excavados?	
<b>Problema específico 4</b>	¿De qué manera un control de concreto y vaciado influye en el proceso de vaciado de concreto en pilotes excavados?	
<b>Objetivo general</b>	Proponer un manual de control de calidad para monitorear los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado a través de un análisis documental.	
<b>Objetivo específico 1</b>	Proponer un control de parámetros del fluido de excavación con la finalidad de monitorear el proceso del fluido de excavación.	
<b>Objetivo específico 2</b>	Proponer un control de verticalidad para monitorear el proceso de excavación.	
<b>Objetivo específico 3</b>	Proponer un control de armadura de refuerzo para monitorear el proceso de armadura de refuerzo.	
<b>Objetivo específico 4</b>	Proponer un control de concreto y vaciado para monitorear el proceso de vaciado de concreto.	

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. Tipos de técnicas e instrumentos

Las técnicas de recolección de datos serán mediante el análisis de documentos proporcionados por la empresa ejecutora.

Los instrumentos a utilizar para la recolección de datos serán a través de un listado de chequeo e informes para registrar, almacenar y analizar de una manera ordenada y eficaz.

#### 3.5.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Los criterios de validación y confiabilidad de los instrumentos serán respaldados por la diferente normas nacionales e internacionales comentadas en la presente tesis, así como también, por la experiencia profesional de los expertos que brindaron de sus conocimientos en las diferentes etapas de la tesis.

#### 3.5.3. Procedimientos para la recolección de datos

Para la recolección de datos se elaborará un listado para registrar la información que se recoge como:

- Informes diarios.
- Informes semanales.
- Informes mensuales.
- Procesos constructivos.
- Especificaciones técnicas.
- Dossier de calidad.
- Normas.
- Información histórica de proyectos similares.

### 3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Con el fin de lograr el procesamiento de datos, se utilizarán diagramas de flujo de los cuales obtendremos los indicadores de cumplimiento de cada proceso constructivo para el correcto entendimiento del mismo y no perder el rumbo de la investigación, así como también lograr los objetivos planteados.



## CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Descripción del proyecto



**Figura 19:** Ubicación de la línea 2 del Metro de Lima

Fuente: Plan nacional de infraestructura para la competitividad (2019)

Este proyecto está ubicado en la provincia de Lima y Callao, departamento de Lima, las cuales están divididas por tramos, una de ellas es “la Línea 2 y Ramal con avenida Faucett-avenida Gambeta perteneciente a la Red del Metro de Lima y Callao”.

Contará con un recorrido totalmente subterráneo con un costo de monto aproximado de 17.105 millones de soles. Este tramo se encargará de unir a 13 distritos de Lima y Callao en dirección este a oeste. Formará parte del Sistema Integrado de Transporte Público de Lima, que se conectará a la Línea 11 (mediante de una futura estación que será llamada estación 28 de Julio), la Línea 3, la Línea 4, la Línea 6 y el servicio de transporte de buses del Metropolitano. La línea del tren tiene un rango de velocidad máxima diseñada para los trenes que va de 85-90km/h, y estarán

programadas para viajar en tramos cortos de 1.5 minutos entre trenes logrando una posibilidad casi nula de probabilidades de accidentes.

Contará con 27 estaciones lo cual permitirá disminuir el tiempo de viaje entre Ate y Callao en unos 75 minutos (de 2 horas a solo 45 minutos). Este tramo también incluye el Ramal avenida Faucett-avenida Gambeta, el cual contará con 8 estaciones con una distancia de 8 kilómetros, esto ayudará a que ese viaje pueda realizar en 13 minutos y tener una estación cerca al Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

#### 4.2. Normativas utilizadas en esta investigación

En esta sección se enunciarán las normas y sus criterios más importantes que han sido tomados para la elaboración de la presente tesis y que servirán como base de apoyo ante lo mencionada en la misma.

##### 4.2.1. Nacionales

#### **RNE E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES**

La siguiente norma indica la obligatoriedad de efectuar un estudio de mecánica de suelos para este tipo de cimentaciones (pilotes excavados). De las cuales señala ciertos procedimientos a seguir destacando para nuestro propósito de estudio en la etapa del procedimiento de excavación las: técnicas de investigación de campo, ensayos in situ o de campo y de laboratorio, ensayos de verificación e inspección de la construcción.

#### **RNE E.060 CONCRETO ARMADO**

La norma E.060 nos fija los requisitos mínimos para controlar la calidad de los diferentes elementos estructurales de concreto simple o armado, en nuestro caso aplicaremos las indicaciones y recomendaciones a nuestro fin, donde rescataremos lo siguiente: materiales del concreto, colocación del refuerzo, mezcla, procedimiento de vaciado, curado, temperatura, así como ensayos de campo y su resistencia a la compresión medido mediante ensayos en laboratorio.

#### 4.2.2. Internacionales

##### **ISO 9001**

El ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización. El ISO 9001 y su sistema de gestión de calidad aporta un conjunto de procedimientos, políticas, procesos, registros y procesos documentados, las cuales regirán las reglas internas que formarán parte de una organización que quiera aplicar estos conocimientos a sus productos, en nuestro caso obras de ejecución, para así garantizar que no se omita ningún elemento importante para obtener la calidad de un proyecto.

##### **ISO 10005**

Este documento, al igual que el anterior, pertenece a la Organización Internacional de Normalización. Este estándar internacional nos sirve como referencia para la ejecución, orientación, directrices y a su vez darle una mejor orientación a nuestro manual de control de calidad dado que también funciona de la mano con los conceptos del ISO 9001 para el establecimiento de un buen sistema de gestión de calidad y de esta manera lograr los resultados deseados enfocados en cumplir con las expectativas y satisfacción del cliente como organización.

##### **EN 1536:2010: E Bored Piles**

Esta norma es de procedencia europea preparada por el Comité Europeo de Normalización (CEN). De esta obtendremos las estandarizaciones para los diferentes procedimientos de construcción y principios generales para la ejecución de pilotes excavados, incluyendo aspectos para el diseño, sus métodos de pruebas, control y los materiales requeridos para este tipo de estructuras, entre los que encontramos son: investigaciones geotécnicas, propiedades de bentonita, concreto, refuerzo y agregados.

**ISO 13500:2008(E) *Petroleum and natural gas industries – Drilling fluid materials - Specifications and tests***

Este estándar internacional se basa específicamente en fluidos de perforación, como son los casos de perforación petrolera o gas natural. Para nuestro caso específico, se aplican sus ensayos y estándares para el fluido de perforación hecho en base a bentonita.

Da las especificaciones para diferentes productos usados en perforación, en este caso bentonita. Estandariza también los diversos ensayos que se deben ejecutar en las etapas de control para la aceptación del fluido de perforación.

**EN 206:2013 F *Hormigón: especificación, rendimiento, producción y cumplimiento***

El presente documento indica los requisitos aplicables al concreto de los cuales para la presente investigación se tendrán en cuenta las especificaciones y los ensayos de cumplimiento.

Dentro de las diferentes especificaciones con las que cuenta, las aplicables para esta investigación son las propiedades del concreto fresco y su verificación, especificaciones del concreto, criterios de conformidad y evaluación de la conformidad.

**EN 12350 – 2:2012 *Ensayos de hormigón fresco Parte 2: prueba de asentamiento***

En esta norma encontramos todas las especificaciones recomendadas para ejecutar el ensayo de asentamiento en concreto fresco.

Se detallan las herramientas para el ensayo, especificaciones del concreto, el proceso de ejecución y el análisis de los resultados del ensayo.

**EN 12350 – 8:2010: E *Testing fresh concrete - Part 8: Self compacting concrete – Slump flow test***

Nos da a conocer el procedimiento a seguir para realizar correctamente el ensayo de escurrimiento en un concreto autocompactante, para nuestro caso específico, concreto tremie. De la misma manera, menciona también la instrumentación necesaria, así como el estado en la que se debe encontrar y las condiciones del sitio donde se llevará a cabo el ensayo. La toma de resultados e interpretación de los mismo también está incluida dentro de este documento.

**ASTM C1611/C1611M - 14 *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete***

De la misma manera que la norma EN 12350 – 8:2010: E, expone los procedimientos estandarizados para realizar el ensayo de escurrimiento para concreto autocompactante.

La diferencia entre ambas radica en su origen, ASTM de origen norteamericano mientras que EN de origen europeo.

#### 4.3. Procesos constructivos

En este apartado se detallará cada proceso constructivo con sus respectivos controles de calidad como se plantearon en los objetivos.

Debemos saber que siempre se parte de una necesidad, la cual llamaremos especificación técnica o proyecto ejecutivo, este es el documento donde encontraremos los alcances y requisitos que debe cumplir el proyecto, y servirá como guía durante todo el ciclo de vida, desde el inicio hasta el cierre.

Cada obra tiene entornos diferentes, por lo cual cada obra tendrá secuencias y se desarrollarán de diferente manera. Se debe tener en cuenta que no todos los suelos son iguales, que no todas las obras se encuentran ubicadas en zonas de fácil acceso, ni facilidad en la obtención de los recursos solicitados por el proyecto y que,

dependiendo de la ubicación, también el rendimiento disminuye o aumenta tanto del personal como de los materiales y equipos.

Es por ello que la planificación de un proyecto, en temas de procesos adecuados y equipos, es de vital importancia para lograr el objetivo de cumplimiento y no solo en este tipo de obras referidos a los pilotes excavados, sino que en obras en general.

Empezaremos dando algunas generalidades del tipo de pilote excavado a describir; estos serán de sección transversal circular, contará con acero de refuerzo en su interior y estará conformado en todo su volumen por concreto.

Los procesos con los cuales se rige nuestro pilote excavado son los siguientes:

- Fluido de excavación
- Excavación
- Armadura de refuerzo
- Vaciado de concreto

Se deben definir sus materiales cumpliendo todos los parámetros y requisitos impuestos por las especificaciones. Se deberá contar con una adecuada plataforma de trabajo que servirá como soporte de los equipos y de la maquinaria a usar para la perforación que en este caso será de tipo piloteadora.

Además de lo mencionado líneas arriba, describimos las secuencias de control de la calidad y cómo serán aplicadas, como se incorporan los requisitos, así como de proporcionar a los ingenieros responsables de la ejecución de estos pilotes excavados información sobre cómo deben efectuar o ejecutar sus procedimientos de trabajo. También nos servirá para diagnosticar y valorar como se están realizando estos procesos y qué resultados estamos obteniendo del mismo.

En esencia, se propondrá un modelo de control de calidad para cada procedimiento constructivo a usar para que posteriormente esta se pueda implementar en las diferentes obras dedicadas al mismo rubro.

Entre los beneficios rescatados de los controles propuestos tenemos:

- Proveer la forma en que se ejecutarán los procesos constructivos con el fin de lograr cumplir sus especificaciones técnicas y planos de diseño.
- Contribuir con la mejorar continua de la organización y staff profesional.
- Dar confianza a los clientes del proyecto.
- Evidenciar y manifestar las capacidades técnicas y conocimientos de la organización y staff profesional.
- Aportar en las labores de auditoría interna como externa.
- Formar parte de la evaluación por parte del área técnica de control de calidad.

Cabe mencionar que el número de documentos de control va depender de la magnitud de la organización, como también de la complejidad de sus procedimientos constructivos en sus proyectos.

En lo siguiente presentamos información a tener en cuenta para la elaboración de documentos para el control de calidad de los procesos constructivos de Pilotes Excavados:

## **Datos Generales**

- Nombre del proyecto.
- Logo de empresa contratista.
- Número del formato.
- Fecha.
- Cliente.
- Ubicación.
- Contratista.
- Nombre del Formato.
- Descripción del trabajo.
- Nombre de los encargados (de parte del cliente y contratista).
- Firma de los encargados (de parte del cliente y contratista).

### 4.3.1. Fluido de excavación

Como primer objetivo específico tenemos la propuesta de un control de parámetros del fluido de excavación con la finalidad de monitorear el proceso del fluido de excavación. Para esta investigación se usa el lodo bentonítico como método de soporte, esto quiere decir que a medida que se va extrayendo el suelo con la herramienta de perforación, se debe ir reemplazando este suelo con el fluido de excavación. Esta etapa del proceso constructivo está muy vinculada al proceso de excavación y de vaciado de concreto porque este fluido se encuentra en constante uso y control mientras se llevan a cabo estos procedimientos.

Con la finalidad de mantener el orden se ha separado este proceso de los otros dos para brindar un mayor entendimiento del tema a tratar.



Recordando las funciones principales del fluido de excavación tenemos la estabilización del pozo, remoción y transporte de recortes de suelo y el enfriamiento y lubricación de las herramientas de perforación.

Los controles a realizar para comprobar el estado y dar conformidad del fluido son: densidad, viscosidad, filtrado, pH, cake y contenido de arena. Estos parámetros se pueden medir mediante los ensayos mencionados en el capítulo II de la presente investigación.

A continuación, se detallará el proceso, desde la preparación hasta el momento a realizar los controles para la aceptación; también se comentarán algunos aspectos a tener en cuenta mediante el desarrollo de este.

La preparación del lodo se realiza en un equipo llamado digestor, este dispositivo simula una batidora, pero en dimensiones industriales. En este se agrega el agua y seguidamente la bentonita en la dosificación prevista para la preparación. La dosificación del lodo a preparar va en función al tipo de suelo sobre el cual se trabajará.

Para un estrato de suelo con tendencia a la permeabilidad, se sugiere preparar un lodo con moderada o alta concentración de bentonita, de esta manera se obtiene un lodo más viscoso y con menos posibilidades de filtración entre las paredes del suelo colindante.

Por lo contrario, para estratos de suelo con mayor tendencia a la impermeabilidad no será necesaria una cantidad moderada de bentonita, sino una tanda menos concentrada porque el suelo colindante posee características que disminuirán el paso del lodo hacia el suelo.

Para que el lodo de perforación desarrolle todas sus características de trabajo, se recomienda dejarlo madurar en tanques o depósitos de almacenamiento. En estado de reposo este proceso dura 24 horas mientras que, en recirculación a través de bombas, este tiempo se puede reducir hasta en 12 horas.

En esta etapa contamos con un lodo fresco o nuevo, que nunca se ha utilizado para excavación. Se realizan los ensayos de control para esta etapa: densidad, viscosidad, filtrado, pH y cake. Todos estos están detallados en el capítulo II de la presente investigación.

En esta etapa del proceso constructivo macro es donde se da inicio al proceso de excavación. Para realizarlo es necesario contar con lodo de perforación ya que a medida que se va extrayendo el suelo, se va reemplazando con lodo.

Culminada la excavación del pilote, es necesario hacer una limpieza del pozo o perforación debido a que esta se encontrará con sedimento producto del mismo proceso. Es muy importante realizar esta limpieza porque es posible que queden restos contenidos en el pozo y estos generarán juntas frías en la estructura del pilote.

La limpieza se realiza mediante un mecanismo de sustitución. Se coloca una bomba sumergible a las  $\frac{3}{4}$  partes de la profundidad total de la excavación, esta va succionando el lodo “sucio” y lo envía a un equipo desarenador, mientras que, por la parte superior se abastece de lodo fresco o nuevo para mantener siempre el nivel del lodo y evitar que este descienda por debajo del muro guía. El desarenador funciona mediante vibración de zarandas para filtrar la arena, y posteriormente se envía a los tanques de almacenamiento.

El proceso de limpieza culminará cuando ya no se aprecie arena saliendo del desarenador. En este momento es necesario realizar el control de parámetros del lodo para saber si el proceso de limpieza se realizó de manera exitosa. Se retira una muestra de lodo de la perforación y se realizan los ensayos de densidad, viscosidad y contenido de arena. Si los resultados de los controles han sido aprobados, se da luz verde para que inicie la colocación de la armadura y el posterior vaciado.

En el proceso de vaciado se va recuperando el lodo que es desplazado por el concreto. Este lodo, que cumple con todos los parámetros, retorna a los tanques

de almacenamiento para ser utilizados en una posterior excavación y reducir costos de operación.

Este lodo que ya ha sido utilizado previamente se denomina lodo de rehuso al cual será necesario hacerle los controles para asegurar su desempeño en una nueva excavación. En esta etapa se realizan los ensayos de viscosidad, filtrado, pH y cake.

Como se puede observar, es necesario controlar los parámetros del fluido de excavación en las diferentes etapas en las que este interviene.

La propuesta de control de fluido de excavación resume las etapas en las cuales se deben controlar y los ensayos que les corresponden a cada una de estas. Este se encuentra adjunto en el anexo 7, acápite 7.1.1. - A, Tabla 3.

#### 4.3.2. Excavación

Para ejecutar un pilote excavado de concreto armado se debe iniciar con la excavación del suelo. Este proceso constructivo consta de un control de calidad que se debe ejecutar para liberar este proceso, dar la conformidad y seguir con los procedimientos consecutivos. Este se detallará en los próximos párrafos. En el lugar de trabajo se deberá de contar con un muro guía. Este es una estructura de concreto armado de sección rectangular y con forma de anillo cuadrado. La función del muro guía es ubicar en planta la posición correcta del pilote según las coordenadas topográficas del proyecto. Otra de las funciones es sostener el

suelo de los alrededores ante posibles derrumbes, simulando un muro de contención.



**Figura 20:** Muro guía  
Fuente: Elaboración propia

Seguido a ello, se posiciona y nivela el equipo de excavación, en este caso una pilotera, con la herramienta de perforación correspondiente para iniciar el proceso de excavación.

En caso de que a lo largo de la excavación se encuentren estratos de suelo con características que compliquen el normal desarrollo de este proceso, se deberán utilizar las herramientas de perforación específicas para cada caso, como se describe en el capítulo II. Es muy importante saber utilizar las herramientas de perforación adecuadas para cada tipo de suelo porque estas contribuirán a que la perforación salga lo más vertical posible.

Es de suma importancia realizar el control de la verticalidad del pilote, ya que esto nos garantizará una estructura que pueda desarrollar toda la capacidad para la cual fue diseñada.

Existen diversos métodos para controlar la verticalidad de pilotes excavados, entre los más comunes se tienen: puntos de referencia, péndulo y sonda ecográfica.



**Figura 21:** Inicio de excavación con balde cortador

Fuente: Elaboración propia

Para esta investigación nos centraremos en el método de los puntos de referencia; no obstante, se dará una breve explicación de los demás métodos mencionados.

El péndulo, como su nombre lo dice, es un objeto cilíndrico del mismo diámetro de la perforación el cual es sujetado por la parte superior y está libre en la parte inferior. Se coloca en la perforación y se nivela verticalmente el cable de donde está sujetado. Se miden las distancias en los ejes X e Y, estas distancias se tomarán como desviación cero.

Se va sumergiendo el péndulo y se van tomando medidas en los ejes cada 5 m de profundidad. La diferencia de estas medidas comparadas con la profundidad de la toma de muestra nos da un valor de porcentaje de desviación. Recordar que

la norma NF EN 1536:2010-10 indica como valor máximo un 2% de la profundidad.

La sonda ecográfica es un instrumento electrónico que mide las distancias entre el centro teórico y las paredes de la perforación. En caso de existir alguna diferencia mayor o menor de lo normal, se verá reflejado en la lectura del equipo lo cual será indicio de desviación.

Para el método de puntos de referencia se deberán colocar pequeñas varillas de acero en los ejes X e Y del muro guía en posiciones simétricas y conocidas.

Se nivelará el mástil del equipo con un nivel electrónico de mano o con el sensor de verticalidad que algunos equipos poseen. Pueden usarse ambos para contrastar información.

Luego de colocar las varillas, se centrará el balde de perforación y se bajará la barra Kelly dentro perforación hasta que se encuentre al mismo nivel del muro guía. En esta etapa es necesario medir las distancias de la barra Kelly a los puntos de verticalidad en ambos ejes. Este registro será tomado como referencia (desviación cero).

Posterior a ello, se procede a descender la herramienta de perforación y a tomar medidas. Se recomienda realizar este control cada 3 metros de profundidad o en caso de que el operador lo solicite, se puede aumentar la frecuencia de este control, ya sea por desviaciones por fuera del rango permitido, anomalías en los controles previos, entre otros.

Esta desviación en planta dividida por la profundidad de la muestra nos da un porcentaje de desviación el cual deberá estar dentro de los valores permisibles del proyecto.

En la propuesta de control de verticalidad se colocará la información relacionada al control de verticalidad en campo. Este se encuentra adjunto en el anexo 7, acápite 7.1.1. - B, Tabla 4.

#### 4.3.3. Armadura de refuerzo

La armadura de refuerzo, como su nombre lo dice, brinda el soporte para los mecanismos de flexión existentes en la estructura, en este caso, pilotes excavados, complementando de esa manera la resistencia a la compresión del concreto.

Como datos previos en esta fase se tiene:

- El material debe cumplir con especificaciones y planos correspondientes.
- El tipo y distribución de la armadura longitudinal y transversal debe estar acorde con los planos.
- El tipo de la armadura transversal deben ser estribos circulares o forma de espiral, y su sección y distribución será la indicada en los planos.
- De ser el caso el uso de elementos metálicos para algún tipo de ensayo, no debe ser acero galvanizado para evitar la corrosión electroquímica de la armadura.
- Recubrimiento mínimo antes del vaciado debe ser 75 mm.
- Las uniones usadas en las barras deben garantizar que la resistencia total de cada barra se mantenga efectiva en ellas, para así evitar algún desplazamiento perjudicial de la armadura durante la ejecución del pilote.

Continuando con el procedimiento, la armadura de refuerzo debe instalarse inmediatamente después de la limpieza de la perforación.



**Figura 22:** Izaje de armadura de refuerzo

Fuente: Elaboración propia

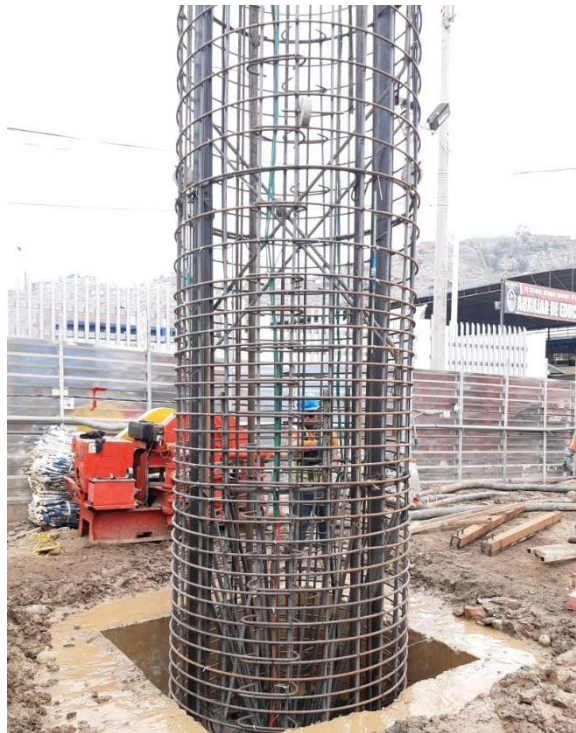
Previo al izaje de la armadura, el ingeniero encargado, el operador de la grúa y el rigger deberán revisar el peso y dimensión de la armadura en la tabla de cargas del equipo para conocer si se encuentra dentro de las capacidades del equipo y evitar accidentes.

En la instalación se debe alinear el eje longitudinal de la armadura con el eje de la perforación para mantener un correcto recubrimiento del concreto a lo largo de toda su longitud.

En necesaria la utilización de espaciadores para un correcto flujo del concreto, asegurar la posición concéntrica de la jaula de acero de refuerzo y el recubrimiento del concreto óptimo. Estos espaciadores o separadores deben ser diseñados y fabricados con los materiales adecuados para evitar la corrosión de la armadura; y de se deben colocar siempre cumpliendo lo siguiente:



- Deben ser colocados simétricamente en las jaulas de acero de refuerzo,
- Por lo menos debe haber 3 separadores por cada nivel,
- El distanciamiento de los separadores debe ser mayor a 3.0 m,
- Contar con suficiente tolerancia con respecto a la pared interior de la excavación para obtener una instalación segura y así evitar posibles daños en la misma y en las paredes internas de la excavación; y
- Según sea el diámetro del pilote, se puede incrementar o reducir el número de separadores.



**Figura 23:** Colocación de armadura

Fuente: Elaboración propia

Al ingresar a la excavación en todo momento se debe mantener suspendidas o sujeta a unos 30 cm por encima del fondo de la excavación, con la finalidad de conservar su correcta posición y recubrimiento inferior durante la etapa de vaciado de concreto.

Para los casos en los que la armadura de refuerzo sea de longitud elevada, estas se podrán construir en diferentes cuerpos, según lo indique el proyecto. La colocación y montaje de estas armaduras se ejecutará también como se mencionó líneas arriba, cuerpo a cuerpo, iniciando por el inferior y culminando por el superior.

Si es necesario se considerarán fijaciones adicionales en las uniones entre las jaulas de armaduras como, por ejemplo; abrazaderas y puntos o cordones de soldadura, según sea el caso.

En esta fase de montaje de la armadura de refuerzo y la unión de sus barras entre sí se debe tener en cuenta:

- Las jaulas de la armadura de refuerzo se puedan elevar e instalar sin que sufra deformaciones permanentes.
- Lo mismo para todas las barras pertenecientes a la jaula, debe permanecer en su posición correcta.
- Suficiente estabilidad para que en la etapa de hormigonado se evite el desplazamiento.

La armadura transversal (estribos) debe contar con:

- Armado con total precisión alrededor de las barras longitudinales principales.
- Estar unida o fija a las mismas.

Las uniones, nudos o sujeciones se deben realizar según las necesidades de la armadura de refuerzo con:

- Grapas.
- Alambres.
- Soldadura.

La tolerancia de instalación de la armadura de refuerzo, en su etapa post vaciado del concreto, debe ser que la cota superior de la misma debe contar con una desviación máxima de -0.15 m a + 0.15 m salvo sus especificaciones estén en contra.

A continuación, se mencionarán puntos a tener en cuenta para el control de la armadura de refuerzo.

- Verificar el transporte: Cuidados durante el transporte, la carga debe estar sujeta mediante elementos de sujeción sin que esto pueda causar deformaciones.
- Verificar la zona de acopio: No apoyar directamente con el terreno, mantener protegida, zona nivelada, sin agujeros, sin presencia de agua, entre otras.
- Registro de documentos: Ensayos realizados al acero, certificados de calidad actas de no conformidad, entre otras.

La propuesta del control para el proceso en mención se muestra con el detalle de cada una de las partes que lo componen en el anexo 7, acápite 7.1.1. - C, Tabla 5.

#### 4.3.4. Vaciado de concreto

Como parte final del proceso constructivo de pilotes excavados se tiene la fase o etapa de vaciado o colocación de concreto. Como se mencionó en el capítulo II, se deben tener ciertas consideraciones con el concreto a vaciar (concreto tremie). En los siguientes párrafos se darán algunas explicaciones de cómo se lleva a cabo este proceso. También algunas consideraciones a tomar en cuenta.

Como datos de entrada tenemos:

El pilote excavado estará constituido por concreto de resistencia especificada según los requerimientos del proyecto, salvo alguna indicación en contra en la etapa de construcción o según lo indicado en los planos. De encontrarse con

vaciados por debajo del nivel freático la primera mezcla de concreto del pilote debe contener la resistencia especificada, al igual que en lo anterior, el ingeniero proyecto podrán modificar la dosificación según el caso encontrado, sin salir de las recomendaciones impuestas por las normas o reglamentos a usar,

El concreto del pilote será concreto tremie el cual tendrá una docilidad adecuada para garantizar su continuidad absoluta. En caso de usarse algún tipo de aditivo, estos deben estar acorde a lo indicado en las especificaciones técnicas y siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Continuando con el procedimiento, se debe tener en cuenta que ya se realizó la preparación de la plataforma con todas sus características (dimensiones) y propiedades diseñadas, como lo suficientemente horizontal y estable para que sirva como reposo de los equipos usados para la colocación de la armadura y el vaciado del concreto. En caso no se cuente con la plataforma o no esté en condiciones óptimas, se deberá realizar un plan de trabajo adecuado para las condiciones existentes.

De encontrarse con obstáculos aéreos y superficiales (bloques de concreto, vegetación y troncos, entre otros) se deben considerar actividades como remoción y demolición de las interferencias encontradas para un libre movimiento y desempeño de los equipos a utilizar.

Entramos en la etapa de vaciado de concreto; tenemos como inicio la limpieza cuidadosa de la tubería tremie.

Como en todo procedimiento a seguir debemos satisfacer lo estipulado en las especificaciones técnicas y planos referidos al diseño (resistencia a la compresión); durante esta etapa de vaciado de concreto del pilote se debe tener muy en cuenta el conseguir que toda su sección longitudinal quede completa, uniforme y sin:

- Bolsas de aire o arena.
- Agua.
- Vacíos.
- Estrangulamientos.
- Cortes.

En esta etapa una de las funciones que debe cumplir este concreto es reducir al máximo la segregación de este, por tal motivo está prohibido vaciar por caída libre en ninguna etapa del proceso constructivo del pilote excavado, ni permitir que ingrese algún tipo de material ajeno al diseño dentro de la excavación del pilote para evitar la contaminación del concreto.

La tubería que se usa para el vaciado de concreto en este tipo de estructuras es de tipo tubería tremie, la cual debe ser lisa permitiendo el libre flujo del concreto y contar con un diámetro no menor de ocho veces el diámetro máximo del agregado a usar. Sin olvidar que antes de usar este tipo de tuberías debe estar completamente libre de restos de concreto o mortero que hayan quedado incrustados en sus paredes.

Durante el proceso de vaciado de los pilotes mediante tubería tremie, se ira elevando dicha tubería para que de esta manera siempre haya fluidez en el vaciado y no quede atascado por la presión del concreto, esta altura se comprueba frecuentemente por comparación del volumen del concreto vaciado y la altura de vaciado.

Se deberá tomar en cuenta que, para realizar un corte de tubería, esta deberá estar sumergida en el concreto 3 metros más que la sección de tubería a cortar. Esto quiere decir que si se tienen 20 metros de tubería desde el nivel del terreno natural y el nivel de concreto se encuentra a 15 metros desde la misma referencia, de esa diferencia de 5 metros, solo se podrá hacer un corte de 2 metros, quedando embebida siempre la tubería por lo menos 3 metros.

No obstante, tampoco es recomendable dejar una excesiva cantidad de tubería debido a que puede quedar atorada por la presión del concreto y/o por la pérdida de la trabajabilidad del concreto. Se recomienda no dejar más de 8 metros de tubería tremie sumergida en el concreto.



**Figura 24:** Vaciado de concreto

Fuente: Elaboración propia

Para llevar un control de la tubería tremie con la que se está trabajando, se hace utiliza una gráfica de control de vaciado de concreto, en la cual se lleva una curva que en el eje x representa el volumen de concreto que se va colocando durante el proceso de vaciado. En el eje y se coloca la profundidad a la que se encuentra el concreto (sondeos). En la parte lateral se coloca la secuencia de tubería tremie que se está utilizando y se va tachando a medida que se hacen los cortes de la tubería.

Antes de iniciar el proceso de vaciado se debe tener la curva teórica la cual representa el volumen teórico de concreto que requiere el pilote.

A medida que se va colocando el concreto, se hacen los sondeos del concreto. Estas coordenadas se deben graficar en el formato de control. Si este punto está por debajo de la curva teórica quiere decir que se está utilizando más concreto

del teórico por lo que no habría ningún problema, se garantiza que la armadura quede embebida en el concreto.

No obstante, en los casos que la coordenada pase para la parte superior de la curva significa que está entrando menos concreto del teórico, algún elemento está ocupando el lugar del concreto. Esto se puede dar por el tipo de suelo (expansivos), derrumbes, entre otros. Se debe reportar y evaluar la conformidad general. Se puede apreciar en el anexo 12.

En este tipo de pilotes el vaciado se hace hasta una altura no menor de 0.4 m a la estipulada en el proyecto, esta sobreelevación será demolida posteriormente, a esto se le conoce como descabezado.

Es muy importante que el vaciado del pilote sea de manera continua, sin interrupciones y en caso se deba vaciar en tiempos diferentes, estas dos masas sucesivas no excedan el tiempo de fraguado de ninguna de ellas. Y si por algún motivo lo explicado no se cumpla, el ingeniero responsable será el encargado de decidir si el pilote puede ser terminado y considerarse valido o no.

Referido al control de calidad, la calidad de sus materiales utilizados para la elaboración del concreto, se deben elegir para que estas satisfagan los requisitos especificados para un concreto fresco y endurecido que incluya:

- Consistencia.
- Resistencia.
- Densidad.
- Protección ante la corrosión en caso de usarse materiales de acero embebidos en el concreto.
- Durabilidad.

Sin olvidar tener en cuenta el método de fabricación y el método a usar para la ejecución de este tipo de obra de concreto.

Para los ensayos en concreto endurecido, se deben tomar en cuenta contar con probetas cilíndricas con un mínimo de 3 por muestra de concreto.

Si el concreto no fue fabricado bajo estándares de calidad y no incluye alguna documentación que garantice su diseño y resistencia, esta resistencia se debe determinar por cada muestra, realizar un ensayo a una probeta a los 7 días y a los 28 días. Sin dejar de lado las siguientes recomendaciones:

- Cada 3 pilotes excavados en un emplazamiento, se tomará 1 muestra.
- Una muestra por cada 5 pilotes excavados siguientes al punto anterior, en caso sea que el volumen del concreto sea igual o menor a  $4 \text{ m}^3$ , se deberán sacar muestras cada 15 pilotes excavados.
- Completado los 7 días de trabajo ininterrumpidos, se hace un corte y se toman 2 muestras más.
- Si al día se completa más de  $75 \text{ m}^3$  de concreto, se deben sacar por lo menos 1 muestra.
- Cuando la resistencia a la compresión de un pilote sea mayor a 35 MPa se debe tomar una muestra por cada pilote excavado que cumpla esta condición.

Sobre la calidad en la ejecución del trabajo; se tiene en cuenta que su etapa de ejecución debe ser obligatorio contar con una supervisión y seguimiento de estos, y no solo de la estructura en sí, sino también de las construcciones aledañas al proyecto.

La propuesta de control de vaciado de concreto se encuentra adjunto en el anexo 7, acápite 7.1.1. - D, Tabla 6.



#### 4.4. Manual de control de Calidad para un Proyecto

Como objetivo general tenemos la propuesta de un manual de control de calidad para monitorear los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado a través de un análisis documental; lo que queremos indicar es que, teniendo un conjunto de procesos, elementos y responsabilidades que, interrelacionadas apropiadamente, ayuden a garantizar a las organizaciones la ejecución de sus proyectos cumpliendo con los requisitos y requerimientos de las especificaciones técnicas y planos previamente establecidos por el diseño. En los cuales podemos destacar algunos beneficios a la hora de su implementación en proyectos:

- Servir como guía para el desarrollo del conocimiento y mejora continua de las organizaciones en lo referido a calidad.
- Un mayor seguimiento del proyecto desde la recepción de obra hasta su fin.
- Se crea una mejor estrategia en la planificación de la calidad del proyecto.
- Realizar las actividades tal como han sido planificadas.
- La organización se concentrará en aquellos puntos donde puede haber más probabilidades de ocurrencia de algún riesgo.
- Tomar acciones correctivas y preventivas a tiempo ante la presencia de problemas o situaciones anómalas.
- Disminuir los sobrecostos debido a retrabajos en alguna etapa del proyecto.

Con esto indicamos que no solo debemos ocuparnos de la calidad del proyecto, sino que también debemos poner atención en la calidad durante la ejecución de los procesos constructivos

Se pretende que con esta propuesta sea posible ajustar el alcance, procesos constructivos y complejidad de estos para lograr una mayor productividad en el proyecto y obteniendo un buen balance entre el costo-beneficio.

En lo siguiente se presentará una guía para la elaboración de un manual de control de calidad para un proyecto. Cabe mencionar que todo proyecto difiere uno del otro y cada manual a implementar deberá estar basado en el contenido que debe cumplir según las políticas internas de la empresa.

Un manual de control de calidad es el eje principal referido a la calidad, es donde se inicia y termina todo lo relacionado con la calidad de un proyecto. Consiste en describir a detalle los procedimientos a seguir y documentación a tener en cuenta al momento de ejecutar un proyecto, las áreas de trabajo que cuentan con el acceso a este documento; y muestra cuál es el flujo que llevan los procesos constructivos al interactuar entre ellos.

Al momento de elaborar un manual de control de calidad hay que tener en cuenta detalles a los cuales tenemos que dar importancia, debiendo contener como mínimo lo siguiente:

- Solo debe existir un manual de calidad por proyecto.
- Incluirá el alcance, exclusiones y supuestos.
- Procedimientos referidos a la secuencia a seguir para los documentos de calidad del proyecto.
- Descripción e información del proyecto.
- No puede haber modificaciones del manual sin autorización del director del proyecto o el ingeniero responsable.

Así como hay que poner énfasis en los detalles, también se tienen conceptos mínimos que hay que seleccionar para el contenido de un manual de calidad:

- Título: Es el inicio del manual, se ingresará el nombre del proyecto.
- Tabla de contenido: Índice del manual con títulos y subtítulos acorde al contenido a tratar.

- Política de calidad: Se describen los recursos necesarios para asegurar satisfactoriamente el cumplimiento de los requerimientos de calidad, mejora continua, buen desempeño y mantener la excelencia de los servicios de la organización.
- Objetivo de calidad: Donde se describirá los objetivos de calidad que se deben cumplir.
- Organización: Breve descripción de la organización, sus autoridades, organigrama del proyecto, sus roles y responsabilidades.
- Documentación: Mencionar y tener la relación de todos los documentos para realizar las gestiones correspondientes a calidad, ya sean políticas, formatos, registros, certificados, entre otros.
- Descripción del manual: Secuencia de cómo se deberá implementar el manual al proyecto, sus métodos y herramientas a seguir por el proyecto.
- Anexos: Se incluye información de apoyo para realizar el control de calidad.

Durante su elaboración se deben tener en cuenta la información mencionada líneas arriba, así como también el siguiente modelo de índice que deberá contener como mínimo el manual de control de calidad de un proyecto.

La propuesta del manual del control de calidad se encuentra en su totalidad en el anexo 7.

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACION**

### 5.1. Resultados de la Investigación

1. De acuerdo al acápite 2.2.2. apartado A, los diversos parámetros del fluido de excavación como la densidad, contenido de arena, viscosidad, cake, filtrado y pH, influyen directamente en las diversas fases tales como lodo nuevo, de rehuso y antes de vaciar, los mismos que fueron explicados en el acápite 4.3.1., realizando la propuesta del control del fluido de excavación que se adjunta en el anexo 7, acápite 7.1.1. - A, Tabla 3.

2. De acuerdo a los límites máximos de desviación de verticalidad, los cuales se aprecian en el acápite 2.2.2. apartado B y al análisis del método de estacas fijas para el control de la verticalidad que se encuentra en el acápite 4.3.2., se procede a proponer el control de verticalidad para el proceso de excavación el cual se muestra adjunto en el anexo 7, acápite 7.1.1. - B, Tabla 4.

3. Expuestos los requisitos mínimos de espaciamiento entre varillas, espacios para tuberías tremie y elementos de auscultación dados por las diversas normativas tales como EN 1992, ACI336 y EN1536 que se encuentran en el acápite 2.2.2. apartado C., se realiza la propuesta del control de armadura para el seguimiento del proceso que se encuentra adjunto en el anexo 7, acápite 7.1.1. - C, Tabla 5.

4. En el acápite 2.2.2. apartado D., se expusieron las propiedades necesarias del concreto tremie como la trabajabilidad, estabilidad, filtrado y exudación al igual que los ensayos de aceptación y retención de la trabajabilidad que se deben aplicar para medir las propiedades antes mencionadas. Finalmente se realizó la propuesta del protocolo de control presentado en el anexo 7, acápite 7.1.1. - D, Tabla 6.

### 5.2. Análisis e interpretación de los resultados

El control del fluido de excavación sirvió para monitorear el estado de los parámetros del fluido de excavación en sus diferentes estados como lo son: lodo nuevo, lodo de reuso y lodo previo al vaciado. Se pudo mantener los parámetros dentro de los límites

establecidos los cuales garantizaron que todos los procesos en los que intervino el lodo se desarrollen de manera correcta. Por lo que, al realizar el procedimiento con el lodo con los parámetros adecuados hizo que este se lleve a cabo correctamente.

En el caso del control de verticalidad, este permitió realizar el monitoreo de la verticalidad del pilote durante la excavación de este, concediendo así que la desviación no se exceda del límite del 2%. El constante control evitó que se generen desviaciones importantes las cuales pudieron causar disminución de productividad, sobrecostos por trabajos de reparaciones, entre otros.

El control de acero de refuerzo, como los demás, fue un punto clave puesto que con el seguimiento que se realizó al proceso de armadura de refuerzo, se pudo precaver posibles incumplimientos en el material como su calidad, tipo, tamaños, y otros temas referido al material; de la misma manera, durante el proceso se evitó desviaciones a las especificaciones técnicas como cordones de soldadura, separaciones, cantidades de varillas, espaciamentos libres, entre otros.

Como fase cierre, la propuesta del control de vaciado de concreto fue de mucha ayuda porque gracias a este se pudo monitorear en tiempo real el estado de todo el proceso de vaciado del concreto como las profundidades del concreto y la longitud de tubería tremie sumergida, el estado del concreto fresco, los ensayos de aceptación y la retención de la trabajabilidad para asegurar que el estado del concreto sea el adecuado durante el tiempo de vaciado.

Finalmente, con la propuesta del manual se pudo realizar un seguimiento integral de todos los procesos que intervinieron en la construcción de pilotes excavados de concreto armado. Esto permitió asegurar que todos los procesos involucrados se desarrollen bajo las especificaciones del proyecto y así asegurar un producto de calidad, lo cual incrementa el prestigio del ente ejecutor o supervisor trayendo muchos beneficios consigo.

### 5.3. Discusión

Según las diferentes normativas estudiadas, se coincide en que los controles propuestos para cada proceso constructivo son de suma importancia debido a que esto permitirá el desarrollo de todas las fases de manera controlada. No obstante, la optimización del control de los procesos constructivos será más eficiente si cada empresa ejecutora decide ir mejorando el control de estos a modo de “prueba y error”, discerniendo entre los controles que mejor se adaptan a sus procesos constructivos, de manera que se amplíe y mejore el ámbito de aplicación del manual de control de calidad y a su vez, los controles a ejecutar sean más eficientes.

Para ejemplificar, lo ideal sería probar varias marcas de bentonita y hacerles los controles respectivos y llegar a una conclusión según los resultados obtenidos. Esto será de mucha ayuda para futuras obras en las que, debido a sus condiciones, podría ser muy útil porque permitirá ahorrar tiempo y dinero. De la misma manera con diversos materiales y herramientas, equipos de medición, empresas de calibración, proveedores, métodos de control y otros.

Finalizada la implementación de los controles de calidad propuestos, y según nuestras bases teóricas; la calidad y el control de calidad aplicado en los procesos constructivos de un pilote excavado ayudan a las organizaciones a tener un mejor cierre de sus proyectos, referido a que cada uno de estos cumplen con todos los objetivos y los beneficios esperados del mismo para los cuales fueron desarrollados.

Dicho esto, podemos terminar agregando que la implementación de estos controles de calidad y el manual ayudó a determinar qué es necesario que las empresas constructoras (ejecutoras) o supervisoras cuenten con esta información para así poder hacer un mejor control y monitoreo de todas las fases del proyecto, los cuales son los procesos constructivos con los que cuentan los proyectos (pilotes excavados), permitiendo así poder reducir costos, evitar re trabajos, reducir las no conformidades, y mejorar si es el caso el cronograma del proyecto. Logrando así una manera de

mejora continua para sus proyectos y como también como organización, así aportando en ser una más competitiva y capacitada en el rubro.

## CONCLUSIONES

1. Dada la implementación de la propuesta de control del fluido de excavación (ver anexo 2) en el pilote de muestra P-01 (ver tabla 6) se pudo monitorear los diversos parámetros a considerar tales como densidad, viscosidad, contenido de arena, pH y cake que se controlan en las etapas de lodo nuevo, lodo de reuso y lodo previo al colado los cuales se detallan en el acápite 4.3.1. Finalmente se concluye que el uso de la propuesta de control influye positivamente en el seguimiento y control del proceso del fluido de excavación.
2. La implementación de la propuesta de control de verticalidad (ver anexo 3) se realizó en el pilote de muestra P-01 (ver tabla 6), donde se aprecian las diversas profundidades de control en las que ninguno de los de los valores excedió el límite de 2% para el método de estacas fijas explicado en el acápite 4.3.2. Con lo dicho se concluye que el uso de la propuesta del control de verticalidad es posible monitorear el proceso de excavación.
3. Se implementó la propuesta de control de armadura (ver anexo 4) en el pilote de muestra P-01 (ver tabla 6) donde se observan desde las características técnicas de la armadura de este pilote hasta la verificación final en campo siguiendo los lineamientos explicados en el acápite 4.3.3 llegando a la conclusión que con el uso de la propuesta de control de armadura se pudo monitorear el proceso de manera eficiente.
4. En la implementación del protocolo de control de concreto y vaciado (ver anexo 5) en el pilote de muestra P-01 (ver tabla 6) se presentan las especificaciones técnicas a cumplir para los ensayos de aceptación y retención de trabajabilidad, según lo expuesto en el acápite 4.3.4., mientras que en el anexo 6 se presenta el gráfico de control de vaciado para la interpretación de resultado final. Expuesto este análisis se concluye que la propuesta de control de concreto y vaciado influye de manera efectiva en el desarrollo del proceso en mención.



5. Por último, esto nos lleva a la conclusión general de presentar la propuesta del manual de control de calidad, la cual se encuentra en el anexo 7, con la finalidad de monitorear los diversos procesos constructivos que intervienen en la ejecución de los pilotes excavados obteniendo beneficios como la reducción de tiempos de ejecución y costos, sistematización de procesos constructivos, control de procesos constructivos basados en normativas nacionales e internacionales, evitar retrabajos, trabajos de reparaciones y asegurar la calidad estipulada para el proyecto.

## RECOMENDACIONES

1. El manual y los controles de calidad deberán ser elaborados antes de haber iniciado el proyecto, o a más tardar las primeras semanas de haberlo iniciado para poder generar una cultura comprometida y consciente con la calidad de los procesos constructivos del proyecto.
2. Una vez elaborado el manual y los controles de calidad deben estar en constante revisión y monitoreo por el ingeniero a cargo para verificar si el fin de lo propuesto viene siendo efectivo y está logrando satisfacer con las necesidades de calidad del proyecto; o si es necesario realizar algún tipo de cambio para la mejora de este.
3. La organización a cargo de la construcción de los pilotes excavados debe fomentar el acceso a todo el equipo involucrado en el proyecto para que tenga conocimiento y comprenda lo indicado por el manual y los controles para cada procedimiento constructivo con el fin de familiarizarse con el objetivo de calidad propuesto.
4. Se debe tener muy en cuenta que implementar un manual con sus respectivos controles de calidad, si bien son hechos para asegurar y monitorear la calidad de un proyecto, no garantizan el 100% de cumplimiento de los objetivos de calidad del mismo, sino que aumenta las probabilidades de minimizar los riesgos (de calidad, tiempo, costos y alcance) lo cual promueve una cultura de mejora continua yendo de la mano con el compromiso del staff de la organización.
5. Sugerimos que, a través de conferencias y cátedras especializadas, se propicien metodologías aplicadas en temas relacionados al control de calidad en los proyectos como complemento para los diversos cursos que se dictan en la universidad, dado que el mercado es muy exigente hoy en día y las organizaciones se vuelven más competitivas lo cual hace que este ámbito de la ingeniería se torne indispensable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International. (2014). *Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete*. Pensilvania: Association Française de Normalisation (AFNOR).
- Betancourt López, L. A. (2007). *Aplicación el PMBOK a la construcción de un hotel*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bolaños Chaves, H., & Martínez Guevara, M. (2012). *Pilotes de gran diámetro colados en sitio: Control en obra y rendimientos para un proyecto de silo de cemento*. San Pedro Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.
- Cámara Chilena de la Construcción. (2000). *Manual de la Calidad en la Construcción*. Valparaíso.
- Chaves, H. B. (2012). *Pilotes de gran diámetro colados en sitio: Control en obra y rendimientos para un proyecto de silo de cemento*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). (2010). *Execution of special geotechnical work Bored Piles*. Saint-Denis: Association Française de Normalisation (AFNOR).
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). (2010). *Testing fresh concrete - Part 8: Self-compacting concrete - Slump-flow test*. Bruselas: COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN).
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). (2010). *Testing fresh concrete Part 8: Self - compacting concrete - Slump flow test*. Bruselas: British Standards Institution (BSI).
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). (2012). *Essais pour béton frais Partie 2 : Essai d'affaissement*. Saint-Denis: Association Française de Normalisation (AFNOR).

- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). (2014). *Béton — Spécification, performances, production et conformité*. Saint-Denis: Association Française de Normalisation (AFNOR).
- Construcción Civil*. (14 de Febrero de 2012). Obtenido de <https://www.elconstructorcivil.com/2012/02/cimentaciones-profundas-pilas-y-sus.html>
- Coronel, I. R. (2015). *Implementación de un sistema de gestión de calidad, para el proyecto crecer del gobierno provincial Azuay, según la norma ISO 9001:2008*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Construcción Civil*. (15 de Febrero de 2011). Obtenido de <https://www.elconstructorcivil.com/2011/02/tipos-de-pilotes-y-su-capacidad-de.html>
- Cubillos Rodríguez, M. C., & Rozo Rodríguez, D. (2009). El concepto de calidad: Historia, evolución e importancia para competitividad. *Revista de la Universidad de La Salle*, 80-99.
- Flores, L. A. (2012). *Propuesta de diseño e implementación de un sistema de gestión de calidad en la norma ISO 9001:2008 aplicado a una empresa de fabricación de lejías*. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Granada, O. d. (2017). *Recomendaciones constructivas para pilotaje*. Colombia: Universidad la Gran Colombia.
- Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón. (2018). *Guía del hormigón tremie en cimentaciones profundas*. Estados Unidos de América: Grupo de Trabajo Conjunto para el Hormigón de la EFFC (European Federation of Foundation Contractors) y el DFI (Deep Foundations Institute, USA).
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw-Hill Education.
- Ingeniería Civil*. (2017). Obtenido de <https://ingecivilcusco.blogspot.com/>
- International Organization for Standardization - ISO. (2008). *Petroleum and natural gas industries - Drilling fluid materials - Specifications and tests*. Suiza: Association Française de Normalisation (AFNOR).

- Landázuri, L. L. (2017). *Estabilización de terreno súper-mercado mayorista: Pilotes excavados*. Piura: Universidad de Piura.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2018). *Plan Nacional de Infraestructura para la competitividad*. Lima: Ministerio de Económica y Finanzas.
- Moreno Rojas, E. (2015). *Criterios de aceptación y rechazo*. Bogota: Universidad de Los Andes.
- Mullins, G., & Ashmawy, A. (2005). *Factors affecting anomal y formation in drilled shafts - final report*. Florida: University of South Florida.
- Palacios, R. F. (2004). *Guía para el diseño de pilotes*. Piura: Universidad de Piura.
- Parisca, L. (2015). *Variación de la viscosidad y la calidad del lodo utilizado para la construcción de pilotes, considerando la calidad de sólidos suspendidos*. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Prieto Herrera, W., & Sandoval Manya, M. F. (2015). *Dirección de un proyecto de construcción en el sector minero bajo el enfoque de la guía del PMBOK, 5ta edición*. Lima: Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas.
- Rodríguez Jiménez, C. E. (2015). *Modelo de Gestión para Control de Calidad en Edificación*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Rodríguez Villegas , M. A., & Torpoco Huayllani, F. A. (2015). *Manual de construcción e instalación de pilotes según la práctica de empresas especializadas en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO. (2009). *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES NORMA E.060 CONCRETO ARMADO*. Lima: DIGIGRAF CORP. SA.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. (1983). *Manual de diseño y construcción de pilas y pilotes*.

- Tapia Puelles, M., & Villagaray Pacheco, Ó. R. (2014). *Propuesta de mejora de los procesos de producción de concreto para edificaciones en zonas alejadas, plan piloto empresa constructora Sondor S.R.L.* Cusco : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Velásquez, L. G. (1997). *Manual para el control de calidad en estructuras de concreto reforzado.*
- Ventura, M. A. (2017). *Mejora del control de calidad en el proceso constructivo de los pilotes del paso inferior 28 de julio-Cercado de lima.* Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- Vicent, J. M. (2000). *Micropilotes Inyectados para la fundación de puentes.* Pilotes Terratest S.A.

## ANEXOS

**Anexo 1:** Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	VARIABLES	METODOLOGÍA	TIPO Y DISEÑO
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolección de información histórica.</li> <li>• Inspección de los procesos constructivos.</li> <li>• Análisis de los datos a controlar en los procesos constructivos</li> <li>• Elaboración de los documentos para controlar los procesos constructivos</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Método de Investigación: Inductivo</li> <li>2. Orientación de Investigación: Aplicada</li> <li>3. Enfoque de Investigación: Cualitativo</li> <li>4. Fuente de información: Retrolectiva</li> <li>5. Tipo de Investigación: Descriptivo</li> <li>6. Nivel de Investigación: Descriptivo</li> <li>7. Diseño de Investigación:                             <ol style="list-style-type: none"> <li>7.1. Según Propósito: No Experimental</li> <li>7.2. Según Número de Mediciones: Transversal</li> <li>7.3. Según Cronología de las Observaciones: Retrospectivo</li> </ol> </li> </ol>
¿De qué manera un manual de control de calidad influye en el monitoreo de los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado?	Proponer un manual de control de calidad para monitorear los procesos constructivos de pilotes excavados de concreto armado a través de un análisis documental.	Control de calidad		
		<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
		Procesos Constructivos		
<b>PROBLEMA ESPECIFICO 1</b>	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 1</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>		
¿De qué manera un control de parámetros del fluido de excavación influye en el proceso de fluido de excavación en pilotes excavados?	Proponer un control de parámetros del fluido de excavación con la finalidad de monitorear el proceso del fluido de excavación.	Control de parámetros del fluido de excavación		
		<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
		Proceso de fluido de excavación		
<b>PROBLEMA ESPECIFICO 2</b>	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 2</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>		
¿De qué manera un control de verticalidad influye en el proceso de excavación de pilotes excavados?	Proponer un control de verticalidad para monitorear el proceso de excavación.	Control de verticalidad		
		<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
		Proceso de excavación		
<b>PROBLEMA ESPECIFICO 3</b>	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 3</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>		
¿De qué manera un control de armadura de refuerzo influye en el proceso de armadura de refuerzo en pilotes excavados?	Proponer un control de armadura de refuerzo para monitorear el proceso de armadura de refuerzo.	Control de armadura de refuerzo		
		<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
		Proceso de armadura de refuerzo		
<b>PROBLEMA ESPECIFICO 4</b>	<b>OBJETIVO ESPECIFICO 4</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>		
¿De qué manera un control de concreto y vaciado influye en el proceso de vaciado de concreto en pilotes excavados?	Proponer un control de concreto y vaciado para monitorear el proceso de vaciado de concreto.	Control de concreto y vaciado		
		<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>		
		Proceso de vaciado de concreto		

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 2:** Aplicación del control del fluido de excavación

<b>CONTROL DEL FLUÍDO DE EXCAVACIÓN</b>		**-.CLB-CC-1 Versión 0 Fecha: 20-10-2020				
Nombre del Proyecto: _____		Ubicación del Proyecto: <u>Lima - Perú</u>				
Contratista: _____		Fecha: <u>05/10/2020</u> Diámetro: <u>1800 mm</u>				
Cliente: _____		N°Pilote: <u>1</u> N°Protocolo: <u>-</u>				
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>						
<b>MATERIAL</b>						
<b>Lodo nuevo</b>	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" &lt; 1.1"/>	Viscosidad (seg) <input type="text" value=" 32 a 50"/>	Arena % <input type="text" value=" N/A"/>	pH <input type="text" value=" 7 a 11"/>	Cake (mm) <input type="text" value=" &lt; 3"/>	Filtrado (ml) <input type="text" value=" &lt; 30"/>
<b>Lodo de rehuso</b>	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" N/A"/>	Viscosidad (seg) <input type="text" value=" 32 a 60"/>	Arena % <input type="text" value=" N/A"/>	pH <input type="text" value=" 7 a 12"/>	Cake (mm) <input type="text" value=" &lt; 6"/>	Filtrado (ml) <input type="text" value=" &lt; 50"/>
<b>Lodo previo a vaciar</b>	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" &lt; 1.15"/>	Viscosidad (seg) <input type="text" value=" 32 a 50"/>	Arena % <input type="text" value=" &lt; 4"/>	pH <input type="text" value=" N/A"/>	Cake (mm) <input type="text" value=" N/A"/>	Filtrado (ml) <input type="text" value=" N/A"/>
<b>DISEÑO EN CAMPO</b>						
<b>DOSIFICACIÓN DEL LODO BENTONÍFICO</b>						
N°1	Agua (m <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" 1"/>	Bentonita (kg) <input type="text" value=" 25"/>	N°3	Agua (m <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" -"/>	Bentonita (kg) <input type="text" value=" -"/>	
N°2	Agua (m <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" -"/>	Bentonita (kg) <input type="text" value=" -"/>	N°4	Agua (m <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" -"/>	Bentonita (kg) <input type="text" value=" -"/>	
Tanda	Volumen (m <sup>3</sup> ) <input type="text" value=" 56"/>	Volumen (L) <input type="text" value=" -"/>				
<b>CONTROLEN CAMPO</b>						
Tiempo que transcurrió para la prueba Cake/Filtrado      7.5 min <input checked="" type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/>						
<b>Equipos de medición</b>	<b>Hora</b>	<b>Densidad (gr/cm3)</b>	<b>Viscosidad (seg)</b>			
Balanza Baroid	8:00	1.00	-			
Cono Marsh	8:00	-	26			
	<b>Hora</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Viscosidad (seg)</b>	<b>Arena %</b>	<b>pH</b>	<b>Cake (mm)</b>
<b>Depósito</b>						
Silo 1	10:00	1.03	35	0.20	9	2
Silo 2	10:50	1.03	35	0.20	9	2
Silo 3	11:30	1.03	35	0.10	9	2
Tanque 1	13:00	1.02	34	0.10	9	2
Tanque 3	16:00	1.02	34	0.10	9	2
<b>Antes del vaciado de concreto</b>						
Pilote 1	9:35	1.02	34	0.1	9	2
Recomendaciones: _____						
Observaciones: _____						
Nombre y Firma Ing. Residente	Nombre y Firma Ing. de Campo	Nombre y Firma Ing. Control de calidad	Nombre y Firma Supervisión			

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 3: Aplicación del control de verticalidad

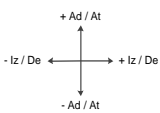
<b>CONTROL DE VERTICALIDAD</b>	** - CV - CC - 1 Versión 0 Fecha: 20-10-2020
--------------------------------	--

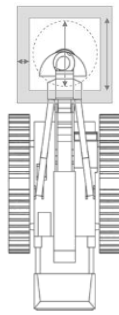
Nombre del Proyecto: _____	Ubicación del Proyecto: <u>Lima - Perú</u>
Contratista: _____	Fecha: <u>04/10/2020</u> N° Protocolo: _____
Cliente: _____	N° Pilote: <u>1</u> Diámetro: <u>1800 mm</u>
Nivel electrónico: <u>Nivel-001</u>	Equipo: <u>Soilmec R-825</u>

Profundidad (m)	Nivel electrónico a la barra Kelly		Medición a las estacas		Porcentaje de desviación	
	Izquierda/Derecha (%)	Atras/Adelante (%)	Izquierda/Derecha (cm)	Atras/Adelante (cm)	IZ / DE	AT / AD
0			95	95	-	-
5	0.18	0.10	96	95.5	0.20	0.10
10	0.12	-0.05	97	95	0.10	-0.05
15	0.10	0.05	98	96	0.07	0.07
20	-0.10	0.00	96	96.5	-0.10	0.03
25	0.00	0.05	95	95	-0.04	-0.06
30	0.00	0.00	94.5	94.5	-0.02	-0.02

Nota:

- Colocar las estacas a 20 cm del borde interno del muro guía.
- Para cada toma de verticalidad se deberá medir la inclinación de la barra Kelly mediante un nivel electrónico.
- Medir la distancia de la estaca a la barra Kelly luego de centrar el balde en la superficie y tomarlo como punto de desviación cero.





Recomendaciones: \_\_\_\_\_

---

Observaciones: \_\_\_\_\_

---

Nombre y Firma Ing. Residente	Nombre y Firma Ing. de Campo	Nombre y Firma Ing. Control de calidad	Nombre y Firma Supervisión
----------------------------------	---------------------------------	---	-------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

### Anexo 4: Aplicación del control de armadura

	CONTROL DE ARMADURA	**-CAE-CC-1 Versión 0 Fecha: 20-10-2020
--	---------------------	---

Nombre del Proyecto: \_\_\_\_\_ Ubicación del Proyecto: Lima - Perú  
 Contratista: \_\_\_\_\_ Fecha: 04/10/2020 N° Protocolo: \_\_\_\_\_  
 Cliente: \_\_\_\_\_ N° Pilote: 1 Diametro: 1800 mm  
 Plano Ref: \_\_\_\_\_ Revisión: 0

Nota: El control del armado se debe realizar con los planos aprobados.

Materiales en campo	Especificaciones Técnicas	Verificación en Campo	Comentarios	
Acero Vertical	Buen estado	OK	/	
Acero Horizontal	Buen estado	OK		
Rigidizadores	Buen estado	OK		
Separadores	Buen estado	OK		
Asas	Buen estado	OK		
<b>Armadura</b>				
Diametro	1.65 m	OK		
Longitud	32.00 m	OK		
Pasos para tubería tremie	Verificar	OK		
Identificación	Verificar	OK		
<b>Separadores</b>				
Diametro / Tamaño	Separadores	OK		
Cantidad	6 pzas	OK		
Separación	@ 2.0 m	OK		
Material	Concreto	OK		
<b>Acero Vertical</b>				
Barras Principales	Diámetro de varillas	3/4" 3/4"		OK
	Cantidad	24 pzas		OK
	Separación	N/A		OK
	Traslapes (Cantidad / longitud)	Según especificaciones		OK
Barras Refuerzo	Diámetro de varillas	3/4"		OK
	Cantidad	24 pzas		OK
	Separación	N/A		OK
	Traslapes (Cantidad / longitud)	Según especificaciones		OK
<b>Acero Transversal</b>				
Escribos Principales	Diámetro de varillas	5/8" 5/8"		OK
	Cantidad	42 pzas 132 pzas		OK
	Separación	@ 0.10 m @ 0.20 m		OK
Escribos Secundarios	Diámetro de varillas	1"		OK
	Cantidad	17 pzas		OK
	Separación	@ 2.0 m	OK	
<b>Rigidizadores</b>				
Internos	Diametro de varillas / Cantidad	1" / 68 pzas	OK	
<b>Asas</b>				
De Suspensión	Diámetro de varillas	1"	OK	
	Cantidad	2 pzas	OK	
	Separación	N/A	OK	
	Soldadura	Según especificaciones	OK	
De Izaje	Diámetro de varillas	1"	OK	
	Cantidad	8 pzas	OK	
	Separación	N/A	OK	
	Soldadura	Según especificaciones	OK	

Recomendaciones: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Nombre y Firma Ing. Residente	Nombre y Firma Ing. de Campo	Nombre y Firma Ing. Control de calidad	Nombre y Firma Supervisión
----------------------------------	---------------------------------	---	-------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 5: Aplicación del control de vaciado de concreto**

	<b>CONTROL DE VACIADO DE CONCRETO</b>	<b>**_CVC-CC-1</b> <b>Versión 0</b> <b>Fecha: 20-10-2020</b>
--	---------------------------------------	--

Nombre del Proyecto: \_\_\_\_\_ Ubicación del Proyecto: Lima - Perú  
 Contratista: \_\_\_\_\_ Fecha: 05/10/2020 N° Protocolo: i  
 Cliente: \_\_\_\_\_ N° Pilote: 1 Diametro: 1800 mm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
F'c (kg/cm2)	<u>400</u>	Retención trabajabilidad (h)	<u>4</u>
Aditivo	<u>N/A</u>	Tamaño maximo del agregado (pulg.)	<u>1/2"</u>
		Escurrecimiento (pulg)	<u>N/A</u>
		Asentamiento (pulg)	<u>9"</u>

CONTROLEN CAMPO			
DISEÑO			
Volumen de concreto teórico (m <sup>3</sup> )	<u>81.43</u>	Profundidad desde muro guía	<u>32.20</u>
Volumen de concreto real (m <sup>3</sup> )	<u>92.00</u>	Nivel tope de concreto (m)	<u>0</u>
VACIADO			
Hora inicio	<u>12:46</u>	Hora fin	<u>19:42</u>
		Sobrevolumen (%)	<u>12.98</u>

Concreto		Ensayos			Unidades				Medida	Comentarios
Volumen (m <sup>3</sup> )		Temperatura (°C)		Asentamiento / Escurrecimiento (pulg)	Hora				Profundidad (m)	
Absoluto	Acumulado	Ambiente	Concreto		Salida planta	Llegada a obra	Inic. Vaciado	Fin Vaciado		
7.0	7.0	25.4	26.5	9 1/2	10:13	10:37	12:46	13:12	29.00	C1 = 0.5 m (8m3)
7.0	14.0	25.4	26.7	10 1/2	10:25	10:53	13:18	13:43	26.50	C2 = 1.5 m
7.0	21.0	25.5	26.7	9 3/4	10:31	11:00	13:54	14:06	23.85	C3 = 2 m
7.0	28.0	25.0	28.8	10	13:26	14:04	14:18	14:28	20.90	C4 = 2 m
7.0	35.0	24.5	29.5	9 1/2	13:36	14:07	14:36	14:45	18.40	-
7.0	42.0	24.6	29.5	9 3/4	13:55	14:32	14:49	14:58	15.80	C5 = 4 m
7.0	49.0	24.4	29.7	9 1/2	14:46	15:15	15:29	15:39	13.10	C6 = 4 m
7.0	56.0	24.4	30.0	10 1/2	15:06	15:34	15:52	15:57	11.10	C7 = 4 m
7.0	63.0	24.4	30.0	10 1/2	15:37	16:11	16:35	16:40	8.50	-
7.0	70.0	24.4	39.8	9 3/4	15:52	16:26	16:49	16:56	6.00	C8 = 3 m
8.0	78.0	24.1	30.00	9 3/4	16:21	17:22	17:32	17:39	4.00	C9 = 3 m
7.0	85.0	24.0	29.5	10	16:55	17:40	17:49	17:59	1.60	C10 = 3 m
7.0	92.0	24.0	29.7	9 3/4	18:35	19:10	19:16	19:42	0.00	-

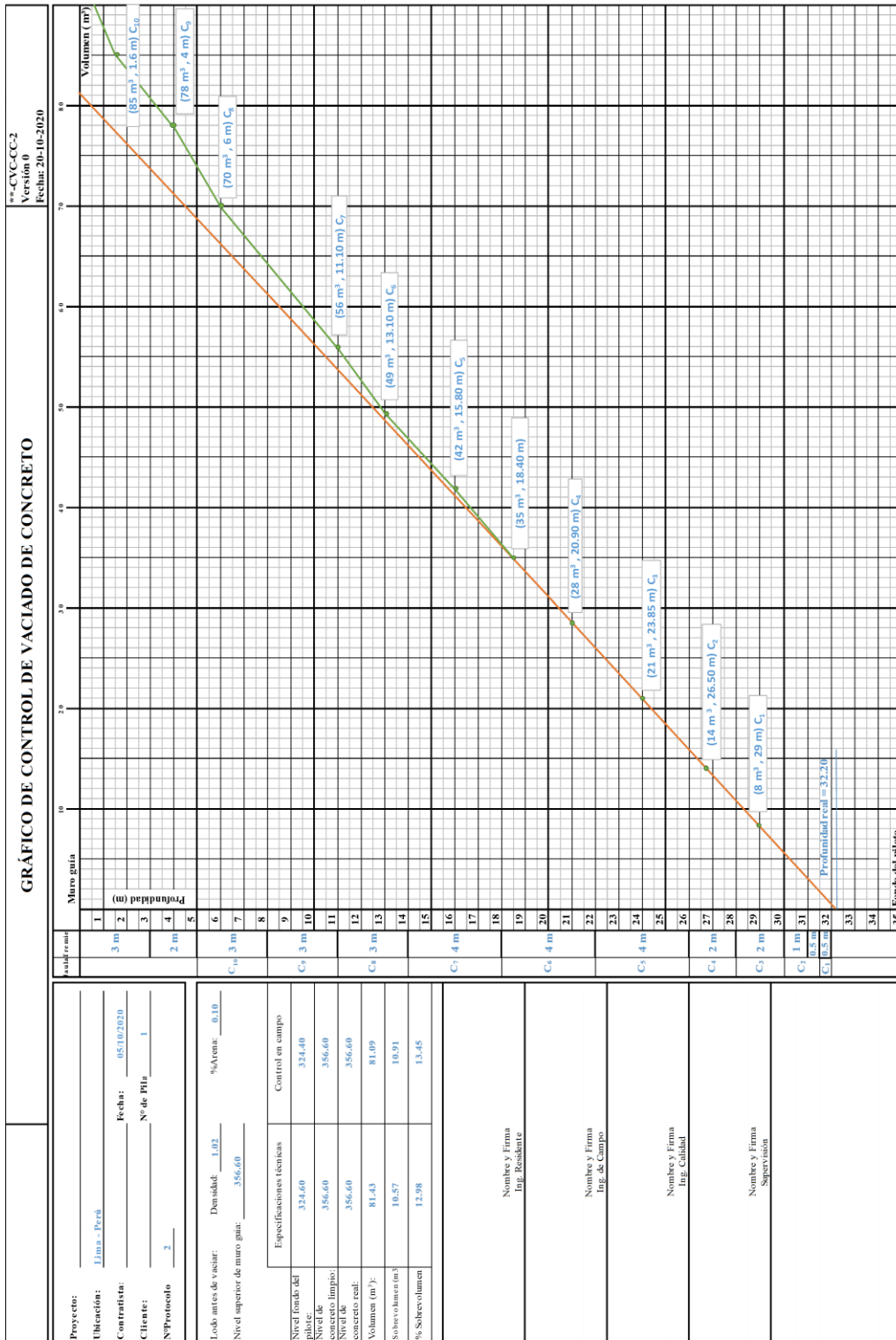
Recomendaciones: \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Nombre y Firma Ing. Residente	Nombre y Firma Ing. de Campo	Nombre y Firma Ing. Control de calidad	Nombre y Firma Supervisión
----------------------------------	---------------------------------	---	-------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Aplicación de gráfica de control de vaciado



Fuente: Elaboración propia

# **MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE PILOTES EXVACADOS DE CONCRETO ARMADO**

## **PREPARADO POR:**

**Bach. PARDO FATTORINI, Emilio José**

**Bach. RUIZ RIOS, Carlos Alberto**

**ASESOR: Mg. TORRES PÉREZ, Enrique**

## **PREPARADO PARA:**

**NOMBRE DE LA EMPRESA O DEL PROYECTO.**

<b>Revisión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Emitido para</b>	<b>Elaborado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>	<b>Firma del aprobador</b>
<b>A</b>	<b>XX/XX /XX</b>	<b>Revisión interna</b>	<b>XX</b>	<b>XX</b>	<b>XX</b>	
<b>0</b>	<b>XX/XX /XX</b>	<b>Construcción</b>	<b>XX</b>	<b>XX</b>	<b>XX</b>	

## INDICE GENERAL

<b>1.</b>	<b>Introducción</b> .....	5
<b>1.1.</b>	<b>Generalidades</b> .....	5
<b>1.2.</b>	<b>Alcances del Manual de Control de Calidad</b> .....	6
<b>2.</b>	<b>Objetivos</b> .....	6
<b>3.</b>	<b>Política de Calidad</b> .....	7
<b>4.</b>	<b>Terminología</b> .....	8
<b>5.</b>	<b>Funciones del Staff Profesional</b> .....	9
<b>5.1.</b>	<b>Responsabilidades</b> .....	9
<b>5.2.</b>	<b>Área de Control de Calidad</b> .....	9
<b>5.3.</b>	<b>Organigrama</b> .....	13
<b>6.</b>	<b>Documentos de calidad</b> .....	14
<b>6.1.</b>	<b>Gestión de las comunicaciones</b> .....	14
<b>6.2.</b>	<b>Documentos de control de calidad</b> .....	15
<b>6.3.</b>	<b>Evaluación de Procura y Subcontratas.</b> .....	15
6.3.1.	Evaluación a subcontratas .....	15
6.3.2.	Evaluación de proveedores .....	15
6.3.3.	Datos de la compra.....	16
6.3.4.	Evaluación de compra .....	16
<b>6.4.</b>	<b>Inspección de ensayos</b> .....	16
6.4.1.	Procedimientos .....	16
A.	Fluido de excavación.....	16
B.	Excavación .....	21
C.	Armadura de refuerzo .....	22
D.	Concreto y vaciado.....	22

6.4.2. Procedimientos de traslado/acopio.....	28
<b>7. Alcances del proyecto.....</b>	<b>30</b>
<b>7.1. Estructura de desglose de trabajo .....</b>	<b>30</b>
7.1.1. Procesos constructivos .....	31
A. Proceso de Fluido de Excavación.....	31
B. Proceso de Excavación.....	37
C. Proceso de Armadura de Refuerzo.....	42
D. Proceso de Vaciado de Concreto.....	48
<b>7.2. Entregables del proyecto .....</b>	<b>58</b>
7.2.1. Informes .....	58
<b>8. Dossier de calidad.....</b>	<b>58</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Cuadro 1:</b> Parámetros del fluido de excavación .....	17
<b>Cuadro 2:</b> Criterios de aceptación del Índice de Estabilidad Visual.....	24
<b>Cuadro 3:</b> Control del fluido de excavación .....	35
<b>Cuadro 4:</b> Control de verticalidad .....	40
<b>Cuadro 5:</b> Control de armadura .....	46
<b>Cuadro 6:</b> Control de vaciado de concreto.....	55
<b>Cuadro 7:</b> Gráfico de control de vaciado de concreto .....	56

## INDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1:</b> Organigrama .....	14
<b>Imagen 2:</b> Muestras de concreto para índice de Estabilidad Visual.....	23
<b>Imagen 3:</b> EDT.....	30
<b>Imagen 4:</b> Flujograma de fluido de excavación .....	34
<b>Imagen 5:</b> Flujograma de excavación .....	39
<b>Imagen 6:</b> Flujograma de armadura .....	45
<b>Imagen 7:</b> Flujograma de concreto y vaciado .....	54



## **1. Introducción**

Este Manual de Control de Calidad tiene como finalidad establecer y dar a conocer los lineamientos con los que nuestra Organización efectuará para con el proyecto. Con lo cual se pretende garantizar el cumplimiento de lo establecido es las especificaciones técnicas y los planos del proyecto, así como los estándares y normas constructivas aplicables durante el desarrollo y finiquito del servicio.

La intención del Manual de Control de Calidad es proporcionar procedimientos de verificación y ensayos para demostrar que la organización alcanzo sus obligaciones en los trabajos.

El presente manual ha sido elaborado bajo la referencia del ISO 9001 el cual es un estándar internacional para la implementación de sistemas de gestión de calidad. Este brinda procedimientos, políticas, procesos y registros con la finalidad que la empresa tenga los aspectos básicos a seguir. De la misma manera, se tomaron los lineamientos indicados en el ISO 10005 el cual brinda, a las empresas y organizaciones, orientación y las directrices a tomar en cuenta para la elaboración de planes de calidad y manuales de calidad.

### **1.1. Generalidades**

El presente manual ha sido elaborado tomando como referencia el proyecto “Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao”.

El proyecto en mención forma parte del Plan Nacional de Infraestructura para la competitividad. Este consta de una línea de tren totalmente subterránea que comprende 27 estaciones subterráneas a lo largo de 27 km de recorrido, desde el Puerto del Callao hacia la Municipalidad de Ate Vitarte, mientras tanto, el ramal de la Línea 4 consta de 7 estación a lo largo de 8 km de recorrido desde la estación Carmen de la Legua hasta la estación Gambetta en dirección al Callao.

La tecnología constructiva que se utiliza para la construcción de las estaciones subterráneas de este proyecto es la de muros pantalla o Milán y pilotes excavados, los

cuales se desarrollan siguiendo los procesos constructivos desarrollados en la presente propuesta de manual de control de calidad.

Cabe recalcar que este documento fue elaborado siguiendo los lineamientos requeridos en esta investigación; sin embargo, este podrá ser adecuado a la necesidad de cualquier proyecto a desarrollar.

## **1.2. Alcances del Manual de Control de Calidad**

El alcance del presente documento es el de proporcionar los lineamientos necesarios, para el desarrollo de las actividades de aseguramiento de la calidad durante la construcción del proyecto, así como establecer los requerimientos mínimos que deberán ser implementados en el plan de aseguramiento y control de la calidad del contratista.

Cabe indicar que ambas organizaciones tanto ejecutora como supervisora (sea cual fuere la posición en la que se encuentre) deberán familiarizarse completamente con el presente Manual de Control de Calidad. Para lo cual se debe hacer la difusión correcta de dicho Manual.

Este manual contempla los lineamientos según especificaciones, planos y documentación contractual que hay que seguir, y por lo tanto se deben cumplir al realizarse un pilote excavado; con la ejecución de estos pilotes nos referimos a sus cuatro procesos constructivos, como lo es: el fluido de excavación, la excavación, el acero de refuerzo y el vaciado de concreto.

## **2. Objetivos**

El objetivo del presente manual es establecer los procedimientos y técnicas apropiadas para realizar control de la calidad de los procesos constructivos de un pilote excavado, de tal manera que se cumplan con los requerimientos establecidos en las especificaciones técnicas, hojas de datos, códigos, normas aplicables y planos de la ingeniería de detalle del proyecto.

Como organización haremos cumplir los siguientes lineamientos en el proyecto:

- Asegurar la calidad de los materiales y equipos suministrados.
- Asegurar la calidad de los procesos constructivos.
- Asegurar la correcta implementación de la ingeniería, ensayos y pruebas según el expediente de construcción aprobado.
- Asegurar la calidad de información, gestión y comunicación.
- Asegurar la conformidad del propietario en la entrega del proyecto.

### **3. Política de Calidad**

La calidad de nuestros proyectos está definida por la alta dirección de la organización para todas sus actividades y es de fiel cumplimiento por todos sus empleados. Es documentada, registrada y custodiada bajo el sistema de gestión de calidad de la organización.

Como organización nos encargamos de que todas nuestras actividades sean realizadas con un alto nivel ético, político y profesional enfocándonos siempre en nuestros clientes y la sociedad en general. Como organización y staff profesional poseemos las habilidades para ejecutar o recomendar las mejores soluciones, basados en los siguientes principios:

**INTEGRIDAD PERSONAL** como expresión de disciplina, orden, respeto, honestidad y entusiasmo.

**RESPONSABILIDAD** para trabajar con excelencia los asuntos encomendados, velando por la efectividad, eficacia individual y de equipo en los resultados y con un desafío permanente hacia una mejora continua.

**CUMPLIMIENTO** en el tiempo acordado y respetando las expectativas de nuestros clientes.

#### 4. Terminología

- **Manual:** Conjunto de instrucciones que servirán como explicación y guía para la ejecución paso a paso de como ejecutar un proyecto.
- **Control:** Acciones ejecutadas para medir todas las actividades de los procesos constructivos con la finalidad de hacer un seguimiento continuo de calidad.
- **Calidad:** Conjunto de características que debe reunir, tanto materiales como procesos constructivos de pilotes excavados, que le confieran la aptitud de satisfacer los requisitos para los cuales fueron diseñados.
- **Proceso constructivo:** Grupo de actividades que interactúan entre sí y están relacionadas a la construcción de pilotes excavados hasta su culminación.
- **Pilote:** Estructura esbelta de sección circular que pueden cimentarse de forma directa para la transferencia de cargas recibidas al suelo.
- **Excavar:** Es el proceso de usar algunas herramientas manuales o equipo pesado, para eliminar material de una superficie sólida, generalmente tierra o arena en la superficie del suelo.
- **Requisito:** Capacidad o condición que debe y se requiere que estén presentes en los procesos constructivos.
- **Especificaciones Técnicas:** Son los documentos contractuales que contienen descripción técnica de los materiales, equipos, sistemas de construcción, normas técnicas, calidad de los trabajos y administrativos aplicables a la obra.
- **Inspecciones:** Conjunto de acciones que debidamente programados se realizan para hacer seguimiento, verificar el cumplimiento de los procesos constructivos y evidenciar su conformidad.
- **Ensayo/prueba:** Determinación de una o más características de acuerdo a un procedimiento.
- **Laboratorio:** El laboratorio establecido y autorizado por el Cliente o Administrador de Construcción para realizar los ensayos de materiales y el trabajo involucrado en el contrato.

- **Mejora continua:** Actividad recurrente para aumentar la capacidad de cumplir los requisitos.
- **Conformidad:** Cumplimiento de un requisito.
- **No conformidad:** Incumplimiento de un requisito.

## **5. Funciones del Staff Profesional**

### **5.1.Responsabilidades**

Esta organización integra personal competente con los requisitos establecidos para el proyecto y se asegura de que entiendan la importancia que tienen sus funciones en el proyecto. La difusión de la policía de calidad es realizada en forma constante y permite conseguir el compromiso de todos para alcanzar los objetivos del proyecto.

### **5.2.Área de Control de Calidad**

Salvo que se encuentre especificado de otra manera por otro documento contractual de mayor autoridad, las funciones y responsabilidades del personal principal asignado al proyecto se encuentran establecidas de la siguiente manera:

#### **1. Jefe de Proyecto**

- Debe aprobar la documentación de calidad cuando corresponda.
- Es responsable de exigir y supervisar que los trabajos sean realizados de acuerdo con los procedimientos de trabajo establecidos y aprobados.

#### **2. Ingeniero de Producción**

- Es responsable del cumplimiento de la programación de obra, rendimiento y producción establecidos para la actividad en el proyecto.
- Es responsable de la coordinación y ejecución de los trabajos.

#### **3. Ingeniero de Calidad**

- Es responsable de monitorear el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidos para la actividad en el proyecto.

- Es responsable de verificar y liberar cada uno de los procesos establecidos para la continuidad de los trabajos de acuerdo con los procedimientos establecidos.
- Es responsable de exigir que los trabajos sean realizados bajo las normas de calidad establecidas.
- Debe conservar y archivar la documentación de calidad que le corresponda.
- Debe controlar la correcta identificación de la documentación de calidad.
- Es responsable de la identificación y retiro de la documentación obsoleta.
- Es responsable de registrar la recepción y la distribución de la documentación de calidad cuando corresponda.
- Debe realizar el seguimiento y actualización de la calibración de los equipos de medición utilizados en obra.

#### **4. Supervisor de Seguridad y Medio Ambiente**

- Debe apoyar a la supervisión en las labores de las charlas operacionales
- Realizará controles Medio Ambientales, Seguridad y Salud Ocupacional en la obra.
- Deben asesorar a la Jefatura y Supervisión de la obra, sobre procedimientos, riesgos y medidas de seguridad necesarias en la obra.
- Liderar el procedimiento en caso de accidente.

#### **5. Supervisores de campo**

- Son responsables de exigir que los trabajos sean realizados de acuerdo con los procedimientos de trabajo establecidos y aprobados.
- Es responsable de realizar una revisión a la jaula en materia de seguridad, antes de su izado.
- Es responsable de asignar las actividades a realizar a cada uno de los trabajadores para la correcta ejecución de estas.

- Es responsable de dar el visto bueno en los protocolos de calidad de las actividades ejecutadas en campo.

## **6. Operadores de pilotera**

- Deberá prever su ubicación y el desplazamiento del equipo en las distintas etapas de ejecución de los pilotes.
- Deberá dirigir a su Kellyman y mantener una comunicación visual permanente durante las operaciones de perforación.
- Deberá mantener su área de trabajo, herramientas y otros equipos necesarios para la ejecución de sus funciones, siempre en perfectas condiciones de uso, orden y limpieza.
- Ante un problema o situación no contemplado en este procedimiento, no deberá operar por iniciativa propia. Las instrucciones para resolver situaciones no previstas serán dadas por el Supervisor de campo.
- Deberá registrar los procesos de perforación, limpieza de herramientas, uso de carrotier, uso de barreno, uso de trépano, desplazamientos, paradas mecánicas y eventualidades en el registro del turno.
- Realizar los chequeos preventivos, en coordinación con el responsable de equipos de acuerdo con la cantidad de horas trabajadas.
- Avisar a los encargados y parar el equipo en caso de alguna falla mecánica.

## **7. Operadores de grúa de servicio**

- Deberán prever su ubicación y desplazamientos en las distintas etapas de ejecución de los trabajos de forma de anticipar movimientos de otros equipos que pudieran interferir con el libre y expedito tránsito de su grúa móvil.
- Ante un problema o situación no contemplada, no deberán operar por iniciativa propia, las instrucciones para resolver situaciones no previstas serán dadas por el Supervisor de campo.
- Realizar los chequeos y mantenciones preventivas, cuando corresponda.

- Avisar a los encargados en caso de falla o anomalía en la maquinaria.

## **8. Rigger**

- Responsable en guiar las maniobras de las grúas de servicio.
- Será el responsable de todo movimiento o traslado de carga aérea que se realice con la grúa de servicio.
- Deberá realizar un cierre perimetral en el área de trabajo de la pilotera y grúa de Servicio.

## **9. Kellyman**

- Apoyo al operador de pilotera en la verificación diaria al inicio de turno de niveles de combustible y aceite de pilotera.
- Monitoreo de niveles de bentonita dentro de la perforación durante la perforación
- Limpieza de zona de murete guía para posicionamiento de referencias de posición de barra kelly.
- Revisión y monitoreo constante de nivel de perforación de acuerdo con el proyecto con sonda y plomada.
- Verificación de niveles y estado de perforación al inicio y durante de turno para prevenir caídos dentro de la perforación o pérdidas de lodo intempestivas.

## **10. Ayudantes**

- Empleado encargado del armado de la tubería tremie y su mantenimiento
- Realiza trabajos de izajes de las tuberías tremie.
- Seguimiento de niveles de colado y cortes de tubería según procedimiento.
- Deberán mantener siempre su área de trabajo, herramientas y otros equipos necesarios para la ejecución de sus funciones en perfectas condiciones de uso, orden y aseo.
- Cumplirán todos los pasos establecidos en el presente procedimiento.



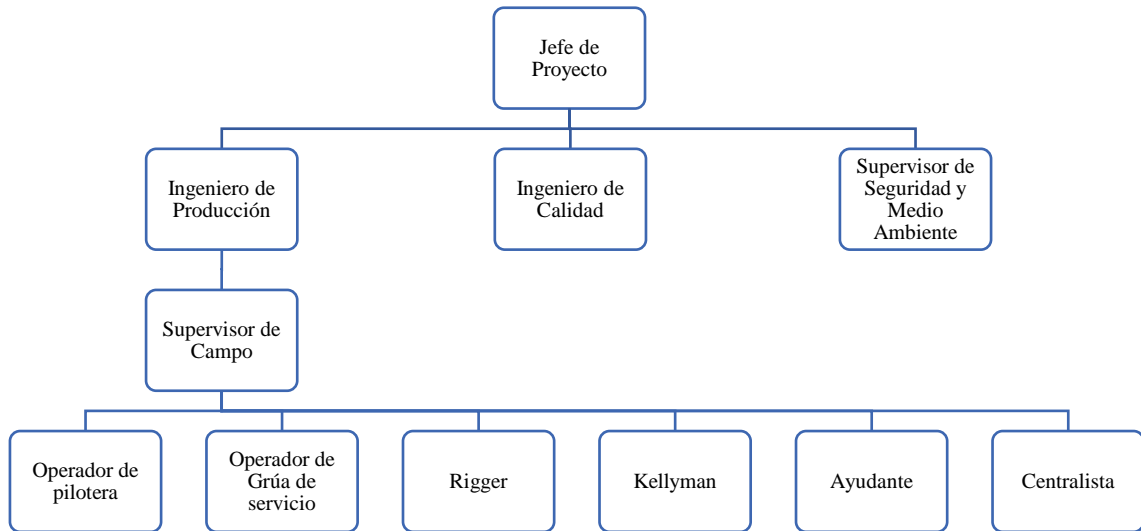
- Usarán en todo momento los elementos de protección personal requeridos para la operación.
- Acatarán todas las órdenes impartidas por su supervisor directo.
- Informarán siempre al Supervisor directo de cualquier anomalía o desperfecto que se observe en las herramientas o equipos, así como aquellas no conformidades que pudieran presentarse en las áreas de excavación y talleres de mantención de la obra.

### **11. Centralista**

- Deberán encargarse de la preparación y el abastecimiento de lodo durante todo el proceso de excavación de los pilotes.
- Deberán mantener un stock de lodo limpio y de programar el uso más eficiente de los tanques o silos de acumulación, con el objetivo de mantener una reserva para recibir el lodo recuperado.
- Deberá darles limpieza y mantenimiento a los estanques de agua y lodo bentonítico.
- Deberán mantener en buen estado su área de trabajo, herramientas y otros equipos necesarios para la correcta ejecución de las labores.
- Ante un eventual problema o situación no contemplada, no deberá operar por iniciativa propia, las instrucciones para resolver situaciones no previstas serán dadas por el Supervisor de campo
- Deben realizar los ensayos de conformidad para el lodo de excavación y registrar los datos de fabricación de lodo en cada turno, además de todas las observaciones y eventualidades que surjan durante el proceso de fabricación y bombeo del lodo hacia los frentes de excavación.

### **5.3. Organigrama**

Se ingresará el diagrama que será conformado por todos los niveles asignados a los trabajadores, será la estructura que ayudará a observar las relaciones jerárquicas que existen.



**Imagen 1:** Organigrama

Fuente: Elaboración propia

## 6. Documentos de calidad

### 6.1. Gestión de las comunicaciones

Es de suma importancia mantener una comunicación estrecha entre todas las partes involucradas en el proyecto durante toda la construcción. Con el fin de coordinar las actividades entre el propietario, el ingeniero a cargo de la supervisión y el ingeniero a cargo del control de calidad quienes ejecutan el proyecto; así como establecer los canales adecuados de autoridad y conducción de información (email corporativo, no llamadas vía WhatsApp ni mensaje por el mismo medio).

Se debe tener en cuenta que como manual se propone que las reuniones presenciales y virtuales para el proyecto se deberán desarrollar antes y durante la construcción. A continuación, se describen el tipo de reuniones que habrá que mantener y sus propósitos en relación con este proyecto:

- Reunión previa a la construcción.
- Reunión de avance diario o semanal.
- Aspectos de seguridad.

## **6.2. Documentos de control de calidad**

La documentación deberá registrar la información sobre el seguimiento, la medición, el control, análisis y mejora. Los resultados de los ensayos se registrarán en un formato aprobado con la firma de los responsables.

- Control del fluido de excavación (\*\*-CLB-CC-1)
- Control de verticalidad (\*\*-CV-CC-1)
- Control de armadura (\*\*-CAE-CC-1)
- Control de vaciado de concreto (\*\*-CVC-CC-1)
- Gráfico de control de vaciado de concreto (\*\*-CVC-CC-2)

## **6.3. Evaluación de Procura y Subcontratas.**

### **6.3.1. Evaluación a subcontratas**

Todos los subcontratistas críticos y que participarán en la licitación de alguna partida serán evaluados en los siguientes aspectos:

- Reputación en el mercado.
- Cumplimiento de plazos y alcance.
- Calidad de los resultados.
- Ajuste al presupuesto acordado.
- Capacidad de contratación.
- Experiencia en el rubro a licitar.
- No cuente con realizar trabajos con terceros.

Por cada aspecto se le otorgará una clasificación a cada empresa participante, la cual se rescatará un máximo de 3 empresas con mayor puntaje para deliberar y dar la buena pro a una de las mismas.

### **6.3.2. Evaluación de proveedores**

Todo proveedor de equipos y materiales para la implementación de proyectos deberá estar calificado tanto técnicamente como financieramente, de acuerdo a

requisitos establecidos por la organización, como lo son: cumplimiento del alcance, calidad de los materiales y equipos, precio del mercado, tiempo de atención, plazo de entrega, entre otros. Esta calificación deberá ser actualizada cada cierto tiempo por el ingeniero responsable del proyecto, dependiendo de la duración del proyecto.

Si el proveedor no cumple con los requerimientos, el ingeniero responsable del área de calidad correspondiente podrá solicitar su inhabilidad.

La desactivación del proveedor deberá ser firmada y autorizada por el Gerente de Proyecto o el ingeniero a cargo del proyecto, registrando en el mismo formulario, fecha, nombre del solicitante y razón de la desactivación del proveedor.

#### 6.3.3. Datos de la compra

Se ingresarán los datos del material, equipo o herramienta que serán suministrados al proyecto, con el fin de tener un acceso rápido a ellos y tener a la mano la procedencia de estos.

#### 6.3.4. Evaluación de compra

En este capítulo se analizará los datos para dar un veredicto de si es recomendable su uso o no para el proyecto (esta fase también se puede realizar antes de haber realizado la compra).

### **6.4. Inspección de ensayos**

#### 6.4.1. Procedimientos

##### A. Fluido de excavación

Este fluido de excavación tiene como función principal la estabilización de las paredes del pozo, por lo cual los parámetros medibles que caracterizan este lodo deben cumplir con ciertos requisitos brindados por la norma NF EN 1536:2010 *Bored Piles* (Pilotes Perforados), los cuales se muestran a continuación.

**Cuadro 1:** Parámetros del fluido de excavación

Propiedad	Etapas		
	Nuevo	Re-uso	Previo a vaciar
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	< 1.10	N/A	< 1.15
Viscosidad (s)	32 a 50	32 a 60	32 a 50
Filtrado (cm <sup>3</sup> )	< 30	< 50	N/A
pH	7 a 11	7 a 12	N/A
Cake (mm)	< 3	< 6	N/A
Contenido arena (%)	N/A	N/A	< 4

Fuente: EN 1536:2010: E

## a. Densidad

Este parámetro nos dará a conocer si el fluido en cuestión cuenta con partículas ajenas a su composición original. Esto se verá reflejado en su densidad. Si el valor de densidad es muy alto, quiere decir que tiene partículas que incrementan su peso por unidad de volumen, en el mayor de los casos, arena.

Para el ensayo de densidad se utiliza una balanza de lodos, la cual lleva un recipiente en un extremo, con un brazo (regla graduada) y una contrapesa deslizando. El recipiente se llena completamente con lodo y se coloca en la balanza, el peso se nivela con la contrapesa deslizando en la regla graduada y luego se hace la medición directamente en la regla graduada de la balanza.

b. Viscosidad

El ensayo se realiza con un cono Marsh, una jarra graduada con capacidad de 1000 ml y un cronómetro. Para llevar a cabo este ensayo es necesario llenar el cono con 1.5 L de lodo mientras se tapa el orificio inferior con el dedo, en la parte superior por donde se coloca el lodo, tiene una malla de acero de 1/16" para atrapar impurezas. Este se llena hasta la marca establecida. Una vez llenado el cono hasta la marca y con el dedo en el parte inferior, se retira el dedo al mismo tiempo que se acciona el cronómetro y se deja llenar la jarra graduada hasta la marca superior, la cual acumula un volumen de 946 ml. (Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, 1984)

Cuando un lodo es muy viscoso, resulta difícil de bombear, por lo que los equipos para tal fin se verán sobre esforzados; por otro lado, un lodo que no es muy viscoso pierde las propiedades que dan mantenimiento a las paredes de la perforación. Un fluido de perforación con una viscosidad controlada permitirá estabilizar correctamente la excavación y también mantener en suspensión los sólidos o escombros existentes.

c. Contenido de arena

Ensayo que permite conocer la cantidad de arena o sedimento existente en una muestra representativa del lodo de perforación. Ésta muestra un porcentaje volumétrico de las partículas sólidas suspendidas mayores a 74 micrones.

Para realizar este ensayo se necesita una probeta graduada, conocida como elutiómetro. En éste se coloca una muestra del lodo a ensayar hasta una marca especificada. Seguidamente se agita para luego escurrir el material a través de un cono con un tamiz N° 200. Una vez pasado todo el volumen de lodo a través de este cono, se queda atrapado en el tamiz todas las impurezas que contenía ese lodo, seguido a esto, se regresa la arena

encontrada al elutriómetro, con el cual se podrá medir el contenido de arena.

d. Filtrado y cake

Estos controles van de la mano, los cuales reflejan la capacidad que posee un lodo de perforación para crear una película impermeable que permita al lodo desarrollar una presión hidrostática que se ejerza en las paredes de la perforación para así evitar derrumbes o caídos. No obstante, el cake no debe ser tan grueso ya que puede disminuir la sección de la perforación y esto puede acarrear problemas en la etapa de vaciado de concreto. (Sociedad Mexicana de mecánica de suelos, 1984).

Con el ensayo de filtrado podemos verificar que el lodo de perforación no expulse el agua que este contiene hacia las paredes de la perforación. Para realizar estos ensayos se utiliza un filtro prensa el cual consta de un recipiente metálico en forma de cilindro que es capaz de recibir hasta 7 bares de presión de gas (aire), el cilindro tiene una tapa desmontable en la parte inferior con un orificio donde se coloca un tamiz y papel filtro sobre el cual se formará el cake, estos filtros evitarán que pase cualquier impureza por el orificio de la parte inferior y así obstruirlo (Soletanche Bachy, 2020).

Una vez montada la tapa inferior, se procede a batir ligeramente el lodo recogido de la excavación para que la muestra sea lo más representativa posible. Se vierte el lodo en el cilindro para luego montarlo en la estructura de soporte y tapanlo; colocar una probeta graduada de 25 ml en la boquilla inferior para poder dar lectura al agua de filtrado.

La estructura de la tapa superior está compuesta por un manómetro, una válvula de purga, un regulador de presión y la entrada para la cápsula de gas. Se debe cerrar bien la tapa superior para impedir que el gas escape. Se procede a hacer el cambio de la cápsula de gas con la válvula de purga

cerrada, una vez colocada, se inicia el ensayo abriendo el regulador de presión hasta que el manómetro marque 7 bares, al accionar el regulador se debe controlar el tiempo con un cronómetro.

El ensayo tiene una duración de 30 minutos, este tiempo se puede reducir a 7 minutos 30 segundos siempre y cuando los resultados finales se multipliquen por 2. Finalizado el tiempo, se retira la probeta y se hace la lectura del resultado, este resultado dependerá del tiempo que duró el ensayo como se indica líneas arriba, se cierra el regulador de presión y se abre la válvula de purga para eliminar la presión de gas remanente y desechar el lodo ensayado, se desmonta la tapa inferior y se retira el papel filtro con el cake; se coloca una regla milimetrada perpendicular al papel filtro y se hace la lectura.

e. pH

El pH nos indica si una sustancia es ácida o alcalina. El valor del pH puede ser modificado debido a la influencia del suelo en el cual se está ejecutando la perforación, este cambio del pH puede perturbar las propiedades del lodo de perforación; para controlarlo se puede utilizar papel pH que, según el fabricante, tiene una escala colorimétrica con la cual se hará lectura del resultado luego de sumergir el papel en la muestra (Soletanche Bachy, 2020). Se debe controlar primero el pH del agua con la que se preparará el lodo, este valor debe ser de 7; este control de pH del lodo se puede efectuar de diversas maneras:

- En caso de que el lodo sea muy viscoso, se puede colocar el papel pH sobre la muestra, sin sumergirla, hasta que el color del papel se estabilice.
- Si el lodo no ha adquirido una consistencia espesa aún, el papel pH se puede sumergir en él para posteriormente retirarlo y hacer la lectura del resultado.



- También es posible realizar la prueba en el agua de filtrado que sale en ese ensayo, se sumerge el papel durante 30 segundos y procede a realizar la lectura con la escala colorimétrica del fabricante.

## B. Excavación

Es de suma importancia realizar el control de la verticalidad del pilote, ya que esto nos garantizará una estructura que pueda desarrollar toda la capacidad para la cual fue diseñada.

Existen diversos métodos para controlar la verticalidad de pilotes excavados, entre los más comunes se tienen: puntos de referencia, péndulo y sonda ecográfica.

Para esta investigación nos centraremos en el método de los puntos de referencia para el cual se deberán colocar pequeñas varillas de acero en los ejes X e Y del muro guía en posiciones simétricas y conocidas.

Se nivelará el mástil del equipo con un nivel electrónico de mano o con el sensor de verticalidad que algunos equipos poseen. Pueden usarse ambos para contrastar información.

Luego de colocar las varillas, se centrará el balde de perforación y se bajará la barra Kelly dentro perforación hasta que se encuentre al mismo nivel del muro guía. En esta etapa es necesario medir las distancias de la barra Kelly a los puntos de verticalidad en ambos ejes. Este registro será tomado como referencia (desviación cero).

Posterior a ello, se procede a descender la herramienta de perforación y a tomar medidas. Se recomienda realizar este control cada 3 metros de profundidad o en caso de que el operador lo solicite, se puede aumentar la frecuencia de este control, ya sea por desviaciones por fuera del rango permitido, anomalías en los controles previos, entre otros.

Esta desviación en planta dividida por la profundidad de la muestra nos da un porcentaje de desviación el cual deberá estar dentro de los valores permisibles del proyecto.

#### C. Armadura de refuerzo

Para este proceso en específico no es necesario realizar algún tipo de ensayo en campo; sin embargo, es importante realizar el seguimiento de todo el proceso, desde la llegada de materiales a obra hasta la liberación final de la armadura para asegurar el cumplimiento de todas las especificaciones técnicas brindadas.

#### D. Concreto y vaciado

En el proceso de vaciado de concreto es necesario realizar, inicialmente, ensayos de aceptación una vez que los mixers de concreto han llegado a obra, se esta manera se da conformidad y el visto bueno para su colocación.

Para los ensayos de aceptación se recomiendan el ensayo de escurrimiento, el ensayo de índice de estabilidad visual y el ensayo de asentamiento.

##### a. Ensayo de escurrimiento

Este ensayo aporta con el monitoreo de la consistencia del concreto fresco autocompactante. Indica también el potencial que posee el concreto para llenar y desplazarse por la excavación, y embeber la armadura con concreto. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018). Para este ensayo se necesita una superficie plana, no absorbente, se recomienda una plancha metálica de 700 mm de longitud por cada lado para los casos en donde no se cuente con dicha superficie, teniendo en cuenta que esta superficie deberá estar limpia y húmeda.

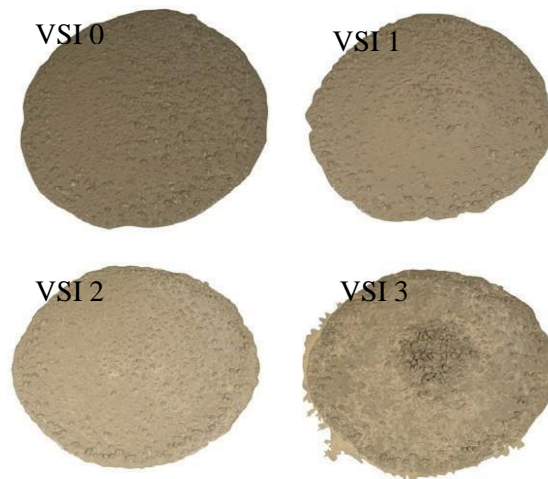
Luego de nivelar la superficie de trabajo, colocar el cono de Abrams con el diámetro mayor apoyado en la superficie y en el centro de esta, se deberá llenar con concreto en una sola capa, sin la necesidad de compactarlo

mecánicamente con una varilla (enrasar la parte superior con la varilla y retirar el excedente).

Levantar el cono verticalmente en un tiempo entre 1 y 3 segundos (dentro de los 30 segundos desde el inicio de llenado), una vez el concreto deje de fluir, se debe medir dos diámetros del material esparcido; las medidas deben ser en posiciones ortogonales y redondear el valor hacia los 10 mm más cercanos, debe registrarse el diámetro promedio. La diferencia entre las mediciones no debe exceder los 50 mm, en caso esto suceda, se deberá volver a ensayar otra muestra. Este ensayo está avalado por las normas ASTM C1611 y EN 12350 – 8.

b. Ensayo de Índice de Estabilidad Visual

Este ensayo está basado en la apreciación visual para clasificar la resistencia del concreto a la segregación. Con este ensayo se conocerá si la masa de concreto tiende a exudar o segregarse, tener en cuenta que para realizar este ensayo se debe ejecutar el mismo procedimiento descrito para el ensayo de escurrimiento. Luego que la masa de concreto deja de fluir, se inspecciona visualmente y clasifica según los criterios presentados a continuación. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)



**Imagen 2:** Muestras de concreto para índice de Estabilidad Visual

Fuente: (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

**Cuadro 2:** Criterios de aceptación del Índice de Estabilidad Visual

Valor VSI	Criterio
0 = Muy estable	No se aprecia segregación o exudación
1 = Estable	No se aprecia segregación; ligeros indicios de exudación observados en forma de “brillo” sobre la masa de hormigón.
2 = Inestable	Ligero halo de mortero < 10 mm [1/2 pulg.] y/o acumulación de áridos en el centro de la masa de hormigón.
3=Altamente inestable	Segregación clara, apreciándose un gran halo de mortero > 10 mm [1/2 pulg.] y/o una gran acumulación de áridos en el centro de la masa de hormigón.

Fuente: (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

c. Ensayo de asentamiento

El ensayo en mención nos brindará una medida de la trabajabilidad del concreto. Para realizar este ensayo se necesita una superficie limpia, lisa y no absorbente, un cono de asentamiento de 30 cm de alto y una varilla lisa de 1” de diámetro.

Se coloca el cono con el diámetro mayor en contacto con la superficie, se rellena el cono con concreto en 3 capas de igual altura y compactar con 25 golpes cada una, tener en cuenta que se debe enrasar la superficie y limpiar los excedentes de los alrededores. Levantar el cono y tomar la medida de la diferencia entre la altura del cono y la altura de la masa de concreto esparcida; según las especificaciones del proyecto, se aprobará o no la carga de concreto siempre y cuando este ensayo sea elegido como parte de la aceptación del concreto.

El concreto tremie, utilizado para este tipo de estructuras, debe tener ciertas características que permitan la correcta colocación de este y también que aseguren que, durante el tiempo de vaciado, el concreto no pierda sus propiedades de diseño. (Grupo de Trabajo Conjunto EFFC/DFI para el Hormigón, 2018)

Estos pilotes suelen requerir grandes volúmenes de concreto por la profundidad y diámetro que los caracterizan, es por este motivo que el proceso de vaciado de concreto dura varias horas. Por esta razón es necesario que el concreto cumpla con una retención de trabajabilidad estipulada dentro de las especificaciones del proyecto.

d. Ensayo de flujo de cono invertido

Este ensayo mide el tiempo, en segundos, que tarda la masa de concreto en salir del cono de abrams en posición invertida, para realizar este ensayo se utiliza el mismo equipo para el ensayo de asentamiento más un cronómetro, se coloca el cono en posición invertida, el diámetro menor en contacto con la superficie de apoyo, y se llena de concreto en una sola capa, compactar 25 veces con la varilla lisa, enrasar la superficie, limpiar los excedentes y esperar 30 segundos, para lo cual el cronómetro debe estar en cero.

Levantar el cono de forma vertical hasta unos 40 centímetros aproximadamente en un tiempo de  $3 \pm 1$  segundo. Empezar a contabilizar el tiempo desde que el concreto empieza salir por la apertura del cono y se finaliza la medición cuando el cono ha quedado vacío, la precisión del tiempo será de 0.1 segundos. En el caso que no se cuente con una especificación detallada, se recomienda trabajar con un intervalo entre 2 segundos como mínimo y 7 segundos como máximo.

e. Ensayo de exudación

Mediante este ensayo podremos conocer si la masa de concreto pierde agua de la mezcla debido a la consolidación del concreto. (Soletanche Bachy, 2020) El principio de este ensayo es medir el volumen de agua que brota hacia la superficie de la muestra de concreto debido al asentamiento de este; esto se deberá controlar cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos, luego cada 30 minutos. será necesario un recipiente de forma cilíndrica con un diámetro interior de 250 mm y una altura de 300 mm aproximadamente, una tapa y una cuña los cuales deberán ser de material no absorbente y resistente a la pasta de concreto. Se necesitará también una varilla metálica lisa para compactar el concreto, una pipeta o jeringa milimétrica.

Se procede a pesar el recipiente vacío, limpio y seco; luego se llenará el recipiente con concreto colocado en 3 capas y compactado con 25 golpes cada una hasta una altura de 250 mm y cubrir con un plástico sin que esté en contacto con el concreto para impedir la evaporación del agua; sobre el plástico colocar la tapa del recipiente; apuntar la hora del inicio del ensayo; apuntar el peso del recipiente con el concreto y la diferencia de ambos pesos dará como resultado el peso de la masa de concreto.

Inicialmente cada 10 minutos se deberá realizar el chequeo del concreto durante los primeros 40 minutos, posterior a ello, las tomas se harán cada 30 minutos; dos minutos antes de cumplirse este tiempo, se deberá inclinar el recipiente con una cuña en la parte inferior hasta cumplir el tiempo establecido para que la posible agua de exudación se dirija hacia un solo extremo; en este momento, con una pipeta o jeringa graduada, extraer toda el agua de exudación presente en la superficie, dar lectura y anotar en mililitros.

Se considera que un valor de exudación es relevante cuando este es mayor o igual que 0.5 ml. En caso de no lograr este resultado, se continuará ejecutando la prueba durante el periodo establecido para la retención de la trabajabilidad del concreto; cuando el valor de exudación exceda el límite inferior mencionado previamente, se continuará ejecutando la prueba durante un periodo de 2 horas más.

Para el cálculo de la velocidad de exudación se tomarán en cuenta solo aquellos valores mayores a 0.5 ml; la suma de estos valores se divide entre 120 minutos (2 horas después de exceder los 0.5 ml). En caso de que la velocidad de exudación sea mayor a 0.1 ml/min, este no será conforme.

f. Ensayo de filtrado Bauer

Mediante este ensayo podremos conocer la capacidad que posee el concreto para retener agua en un escenario bajo presión; este ensayo determina la pérdida de agua por filtrado a través de un filtro. (Soletanche Bachy, 2020)

Para llevar a cabo este ensayo es necesario un recipiente de forma cilíndrica de 1.5 litros de volumen; en la parte inferior se coloca un papel filtro y en la parte superior va un dispositivo que presuriza aire comprimido y un manómetro con regulador de presión, se llena el recipiente con concreto en dos capas con 5 golpes cada una; se coloca bajo una presión de 5 bar durante 5 minutos; en la parte inferior se coloca una probeta graduada donde se visualizará el volumen de agua que se separa de la masa de concreto.

Para este tipo de concreto (tremie) se recomienda un valor máximo de filtrado de 20 ml.; los valores que se encuentren por encima de este podrían no ser aprobados.

Este ensayo tanto como el ensayo de exudación son una medida de la estabilidad del concreto. Se recomienda ejecutarlos por lo menos una vez cada semana junto con los ensayos de retención de la trabajabilidad del concreto.

Los dos últimos ensayos mencionados solo se ejecutarán al inicio mas no durante todo el lapso del control de la trabajabilidad del concreto.

#### 6.4.2. Procedimientos de traslado/acopio

##### **Armadura de refuerzo:**

Las barras y mallas de acero que serán usadas en el proceso de armadura de refuerzo se acopiarán de manera que:

- Se impida el mezclado de barras o mallas de distintos tipos, diámetros o partidas.
- Estarán separados del piso una distancia de 15 cm como mínimo, teniendo en cuenta que el sector donde serán acopiados los materiales cuente con un piso firme y estable.
- Se recomienda que el periodo de exposición máximo a la intemperie no debe ser mayor a los 60 días.

Cada barra y malla de acero o material que será usado para el proceso de armadura de refuerzo que ingrese a su frente de trabajo deberá contener como mínimo su certificado de calidad de fábrica.

##### **Vaciado de Concreto:**

##### **Agregados**

En caso de agregados, cada tipo de agregado se acopiará por pilas separadas, las cuales se deberán mantener libres de tierra o de elementos extraños y dispuestos de tal forma, que se evite al máximo la segregación de los agregados. No se



utilizará el agregado en contacto con el terreno si se encuentran indicios de que pueda estar contaminado.

### **Cemento**

El cemento en bolsa se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo en rumas.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en silos apropiados aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento será la suficiente para el consumo de dos (2) jornadas de producción normal.

Todo cemento que tenga más de tres (3) meses de almacenamiento en sacos o seis (6) en silos, deberá ser empleado previa verificación de calidad, verificándose si aún es susceptible de utilización. Esta frecuencia disminuida en relación directa a la condición climática o de temperatura/humedad y/o condiciones de almacenamiento.

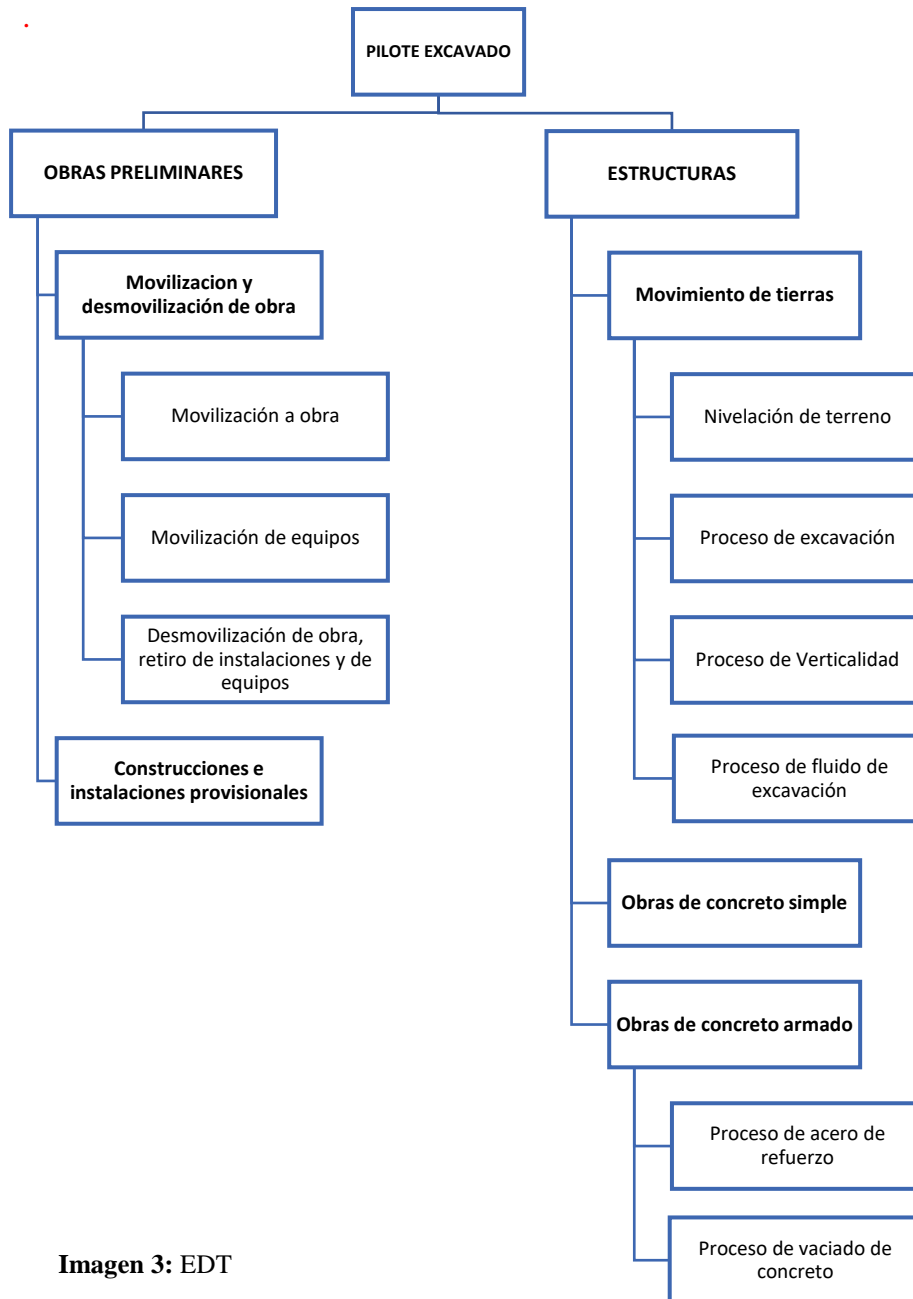
### **Aditivos**

Los aditivos se protegerán convenientemente de la intemperie y de toda contaminación. Los sacos de productos en polvo se almacenarán bajo cubierta y observando las mismas precauciones que en el caso del almacenamiento del cemento. Los aditivos suministrados en forma líquida se almacenarán en recipientes estancos. Ésta recomendaciones no son excluyentes de la especificadas por los fabricantes.

## 7. Alcances del proyecto

### 7.1. Estructura de desglose de trabajo

Por efectos académicos la EDT presentada a continuación solo debe ser usado como referencia



**Imagen 3:** EDT

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.1. Procesos constructivos

Se detallarán los procesos constructivos que estarán incluidos en el proyecto y como deben ser monitoreados mediante el uso de los documentos de control de calidad.

#### A. Proceso de Fluido de Excavación

Recordando las funciones principales del fluido de excavación tenemos la estabilización del pozo, remoción y transporte de recortes de suelo y el enfriamiento y lubricación de las herramientas de perforación.

Los controles a realizar para comprobar el estado y dar conformidad del fluido son: densidad, viscosidad, filtrado, pH, cake y contenido de arena. Estos parámetros se pueden medir mediante los ensayos mencionados en el capítulo II de la presente investigación.

A continuación, se detallará el proceso, desde la preparación hasta el momento a realizar los controles para la aceptación; también se comentarán algunos aspectos a tener en cuenta mediante el desarrollo de este.

La preparación del lodo se realiza en un equipo llamado digestor, este dispositivo simula una batidora, pero en dimensiones industriales. En este se agrega el agua y seguidamente la bentonita en la dosificación prevista para la preparación. La dosificación del lodo a preparar va en función al tipo de suelo sobre el cual se trabajará.

Para un estrato de suelo con tendencia a la permeabilidad, se sugiere preparar un lodo con moderada o alta concentración de bentonita, de esta manera se obtiene un lodo más viscoso y con menos posibilidades de filtración entre las paredes del suelo colindante.

Por lo contrario, para estratos de suelo con mayor tendencia a la impermeabilidad no será necesaria una cantidad moderada de bentonita, sino

una tanda menos concentrada porque el suelo colindante posee características que disminuirán el paso del lodo hacia el suelo.

Para que el lodo de perforación desarrolle todas sus características de trabajo, se recomienda dejarlo madurar en tanques o depósitos de almacenamiento. En estado de reposo este proceso dura 24 horas mientras que, en recirculación a través de bombas, este tiempo se puede reducir hasta en 12 horas.

En esta etapa contamos con un lodo fresco o nuevo, que nunca se ha utilizado para excavación. Se realizan los ensayos de control para esta etapa: densidad, viscosidad, filtrado, pH y cake. Todos estos están detallados en el capítulo II de la presente investigación.

En esta etapa del proceso constructivo macro es donde se da inicio al proceso de excavación. Para realizarlo es necesario contar con lodo de perforación ya que a medida que se va extrayendo el suelo, se va reemplazando con lodo.

Culminada la excavación del pilote, es necesario hacer una limpieza del pozo o perforación debido a que esta se encontrará con sedimento producto del mismo proceso. Es muy importante realizar esta limpieza porque es posible que queden restos contenidos en el pozo y estos generarán juntas frías en la estructura del pilote.

La limpieza se realiza mediante un mecanismo de sustitución. Se coloca una bomba sumergible a las  $\frac{3}{4}$  partes de la profundidad total de la excavación, esta va succionando el lodo “sucio” y lo envía a un equipo desarenador, mientras que, por la parte superior se abastece de lodo fresco o nuevo para mantener siempre el nivel del lodo y evitar que este descienda por debajo del muro guía. El desarenador funciona mediante vibración de zarandas para filtrar la arena, y posteriormente se envía a los tanques de almacenamiento.

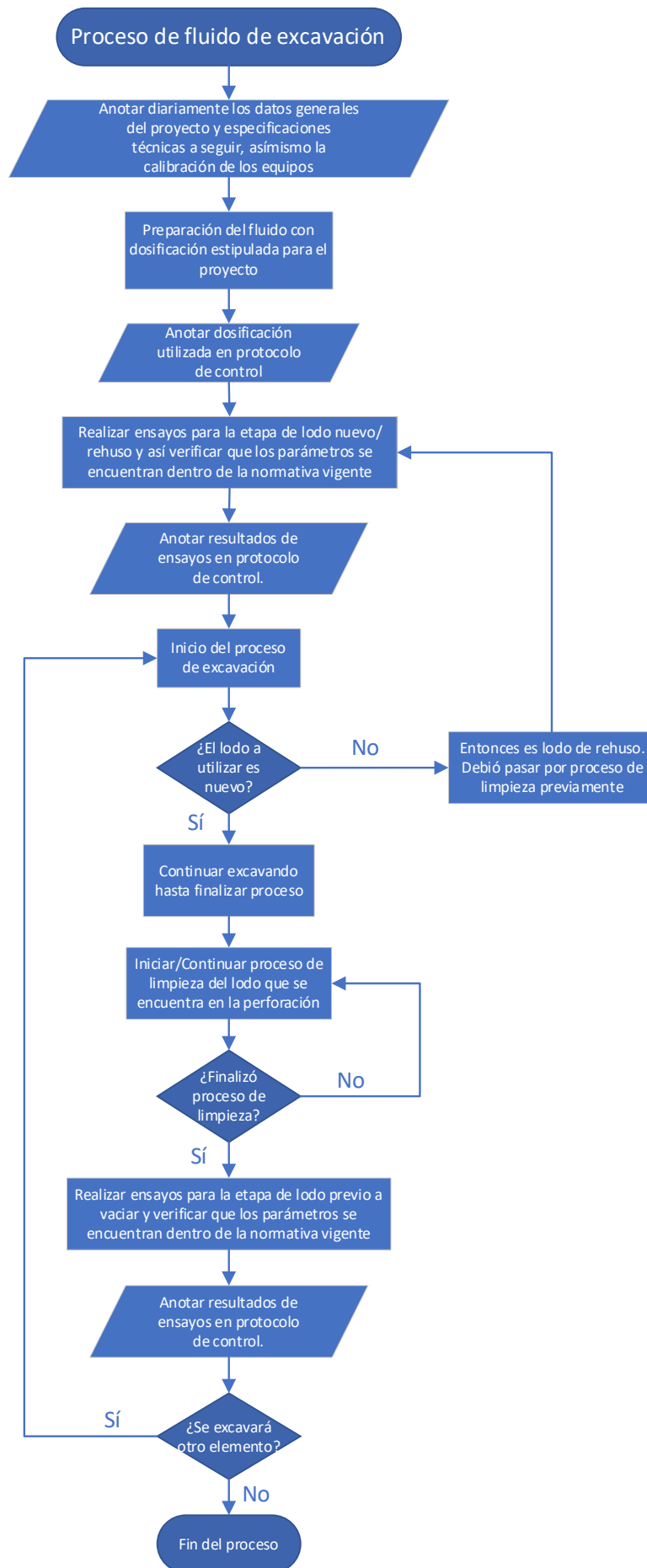
El proceso de limpieza culminará cuando ya no se aprecie arena saliendo del desarenador. En este momento es necesario realizar el control de parámetros

del lodo para saber si el proceso de limpieza se realizó de manera exitosa. Se retira una muestra de lodo de la perforación y se realizan los ensayos de densidad, viscosidad y contenido de arena. Si los resultados de los controles han sido aprobados, se da luz verde para que inicie la colocación de la armadura y el posterior vaciado.

En el proceso de vaciado se va recuperando el lodo que es desplazado por el concreto. Este lodo, que cumple con todos los parámetros, retorna a los tanques de almacenamiento para ser utilizados en una posterior excavación y reducir costos de operación.

Este lodo que ya ha sido utilizado previamente se denomina lodo de rehuso al cual será necesario hacerle los controles para asegurar su desempeño en una nueva excavación. En esta etapa se realizan los ensayos de viscosidad, filtrado, pH y cake.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso seguido de la propuesta del control del fluido de excavación con una explicación de uso del mismo.



**Imagen 4:** Flujograma de fluido de excavación

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 3:** Control del fluido de excavación

	<b>CONTROL DEL FLUIDO DE EXCAVACIÓN</b>						**CLB-CC-1 Versión 0 Fecha: 20-10-2020
Nombre del Proyecto: _____	Ubicación del Proyecto: _____						
Contratista: _____	<b>1</b>			Fecha: _____	Diametro: _____		
Ciente: _____			NºPilote: _____	NºProtocolo: _____			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS							
MATERIAL							
<b>Lodo nuevo</b>	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	Viscosidad (seg)	<input type="text"/>	Arena %	<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
<b>Lodo de rehuso</b>	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	Viscosidad (seg)	<input type="text"/>	Arena %	<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
<b>Lodo previo a vaciar</b>	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	Viscosidad (seg)	<input type="text"/>	Arena %	<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
DISEÑO EN CAMPO							
DOSIFICACIÓN DEL LODO BENTONÍNICO							
Nº1	Agua (m <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	Bentonita (kg)	<input type="text"/>	Nº3	Agua (m <sup>3</sup> )	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Nº2	Agua (m <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	Bentonita (kg)	<input type="text"/>	Nº4	Agua (m <sup>3</sup> )	
		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
Tanda	Volumen (m <sup>3</sup> )	<input type="text"/>	Volumen (L)	<input type="text"/>			
		<input type="text"/>		<input type="text"/>			
		<input type="text"/>		<input type="text"/>			
CONTROLEN CAMPO							
Tiempo que transcurrió para la prueba Cake/Filtrado      7.5 min <input type="checkbox"/> 30 min <input type="checkbox"/> <b>4</b>							
Equipos de medición	Hora	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad (seg)				
Balanza Baroid							
Cono Marsh							
Hora	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad (seg)	Arena %	pH	Cake (mm)	Filtrado (ml)	
Depósito							
Antes del vaciado de concreto							
Recomendaciones: _____	<b>7</b>						
Observaciones: _____							
Nombre y Firma Ing. Residente		Nombre y Firma Ing. de Campo		Nombre y Firma Ing. Control de calidad		Nombre y Firma Supervisión	
		<b>8</b>					

Fuente: Elaboración propia.

1. **Encabezado:** En este apartado se colocarán datos generales de la empresa ejecutora, la empresa contratista, título del documento, codificación correspondiente y datos generales del pilote a ejecutar.
2. **Especificaciones técnicas:** Se colocarán los rangos, valores mínimos o máximos de aceptación para cada parámetro a controlar. La empresa ejecutora decidirá si trabajará con los valores propuestos en la normativa vigente o trabajará con valores más exigentes.
3. **Diseño en campo:** Sección donde se colocará la dosificación preparada en obra. Volumen de agua utilizado con la cantidad de bentonita en kilos empleado para esa tanda.
4. **Equipos de medición:** Diariamente se deben verificar la calibración de los equipos antes de iniciar la jornada. Se ensaya la viscosidad del agua con el cono la cual debe ser de 26 segundos. En caso de no ser así, limpiar el embudo o calibrar en un laboratorio certificado. La densidad del agua debe ser de  $1 \text{ g/cm}^3$ , caso contrario el depósito de la balanza debió haber sufrido alguna deformación. Reportar y reemplazar por uno nuevo.
5. **Depósitos:** Se registrarán los parámetros obtenidos en de las muestras de lodo que se almacenan en los diversos depósitos en obra. El lodo almacenado en los tanques puede ser nuevo como de rehuso.
6. **Antes del vaciado:** Registro de los parámetros del lodo previo al vaciado de concreto y posterior a la limpieza del pozo.
7. **Recomendaciones/Observaciones:** Recomendaciones y/u observaciones generales que ocurrieron durante la jornada durante la jornada.
8. **Firmas:** Firmas de los encargados por parte de la empresa ejecutora y también por parte del responsable de ente supervisor.



## B. Proceso de Excavación

Para ejecutar un pilote excavado de concreto armado se debe iniciar con la excavación del suelo. Este proceso constructivo consta de un control de calidad que se debe ejecutar para liberar este proceso, dar la conformidad y seguir con los procedimientos consecutivos. Este se detallará en los próximos párrafos.

En el lugar de trabajo se deberá de contar con un muro guía. Este es una estructura de concreto armado de sección rectangular y con forma de anillo cuadrado. La función del muro guía es ubicar en planta la posición correcta del pilote según las coordenadas topográficas del proyecto. Otra de las funciones es sostener el suelo de los alrededores ante posibles derrumbes, simulando un muro de contención.

Seguido a ello, se posiciona y nivela el equipo de excavación, en este caso una pilotera, con la herramienta de perforación correspondiente para iniciar el proceso de excavación.

En caso de que a lo largo de la excavación se encuentren estratos de suelo con características que compliquen el normal desarrollo de este proceso, se deberán utilizar las herramientas de perforación específicas para cada caso, como se describe en el capítulo II. Es muy importante saber utilizar las herramientas de perforación adecuadas para cada tipo de suelo porque estas contribuirán a que la perforación salga lo más vertical posible.

Es de suma importancia realizar el control de la verticalidad del pilote, ya que esto nos garantizará una estructura que pueda desarrollar toda la capacidad para la cual fue diseñada.

Existen diversos métodos para controlar la verticalidad de pilotes excavados, entre los más comunes se tienen: puntos de referencia, péndulo y sonda ecográfica.

El control propuesto está hecho para el método de puntos de referencia. Para ejecutarlo se deberán colocar pequeñas varillas de acero en los ejes X e Y del muro guía en posiciones simétricas y conocidas.

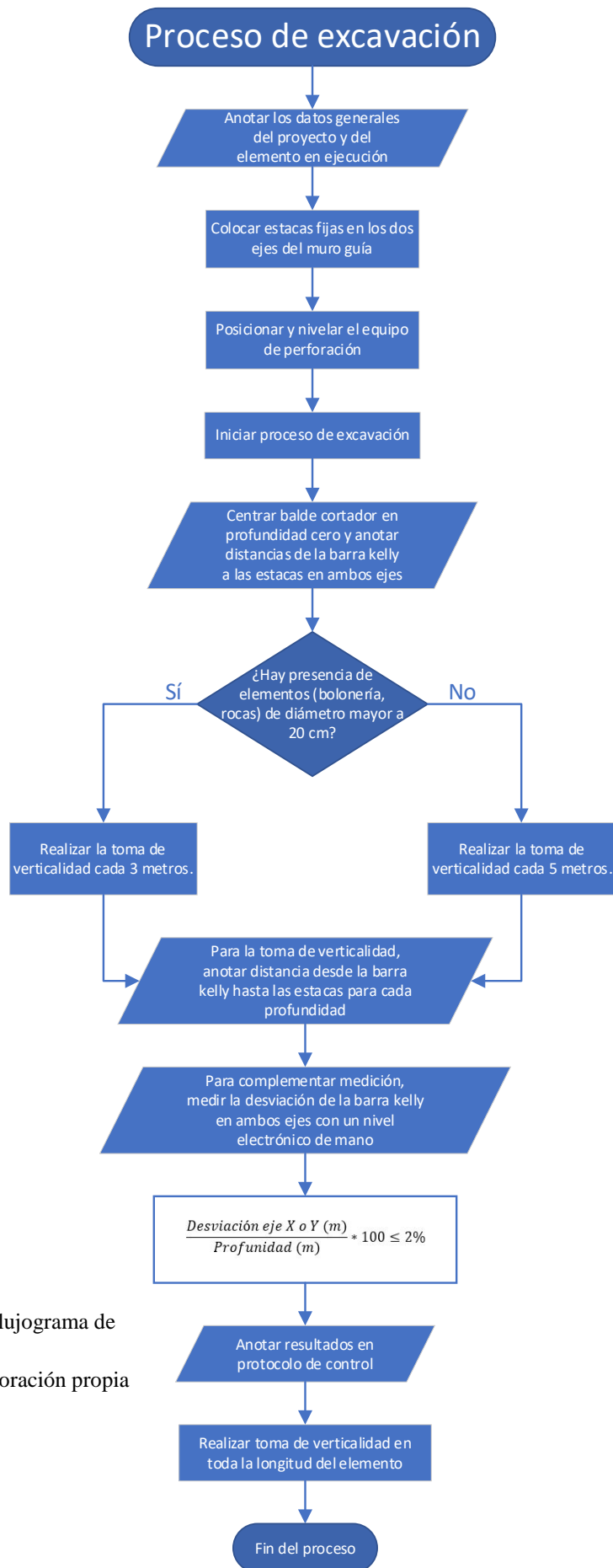
Se nivelará el mástil del equipo con un nivel electrónico de mano o con el sensor de verticalidad que algunos equipos poseen. Pueden usarse ambos para contrastar información.

Luego de colocar las varillas, se centrará el balde de perforación y se bajará la barra Kelly dentro perforación hasta que se encuentre al mismo nivel del muro guía. En esta etapa es necesario medir las distancias de la barra Kelly a los puntos de verticalidad en ambos ejes. Este registro será tomado como referencia (desviación cero).

Posterior a ello, se procede a descender la herramienta de perforación y a tomar medidas. Se recomienda realizar este control cada 3 metros de profundidad o en caso de que el operador lo solicite, se puede aumentar la frecuencia de este control, ya sea por desviaciones por fuera del rango permitido, anomalías en los controles previos, entre otros.

Esta desviación en planta dividida por la profundidad de la muestra nos da un porcentaje de desviación el cual deberá estar dentro de los valores permisibles del proyecto.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso seguido de la propuesta del control de verticalidad con una explicación de uso de este.



**Imagen 5:** Flujograma de excavación  
Fuente: Elaboración propia

### Cuadro 4: Control de verticalidad

CONTROL DE VERTICALIDAD					**-CV-CC-1 Versión 0 Fecha: 20-10-2020	
Nombre del Proyecto: _____			Ubicación del Proyecto: _____			
Contratista: _____			Fecha: _____ N° Protocolo: _____			
Cliente: _____			N° Pilote: _____ Diametro: _____			
Nivel electrónico: _____			Equipo: _____			
Profundidad (m)	Nivel electrónico a la barra kelly		Medición a las estacas		Porcentaje de desviación	
	Izquierda/Derecha (%)	Atras/Adelante (%)	Izquierda/Derecha (cm)	Atras/Adelante (cm)	IZ / DE	AT / AD
<p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar las estacas a 20 cm del borde interno del muro guía.</li> <li>- Para cada toma de verticalidad se deberá medir la inclinación de la barra kelly mediante un nivel electrónico.</li> <li>- Medir la distancia de la estaca a la barra kelly luego de centrar el balde en la superficie y tomarlo como punto de desviación cero.</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Diagrama de desviación con ejes: +Ad / At (arriba), -Ad / At (abajo), +Iz / De (derecha), -Iz / De (izquierda).</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Diagrama de un nivel electrónico sobre una barra Kelly.</p> </div> </div>						
Recomendaciones: _____						
Observaciones: _____						
Nombre y Firma Ing. Residente		Nombre y Firma Ing. de Campo		Nombre y Firma Ing. Control de calidad		Nombre y Firma Supervisión

Fuente: Elaboración propia.

1. **Encabezado:** En este apartado se colocarán datos generales de la empresa ejecutora, la empresa contratista, título del documento, codificación correspondiente, y datos generales del pilote a ejecutar.
2. **Profundidad:** Columna en la cual se toma apunte de la profundidad de la excavación al momento de tomar los datos de la verticalidad. Se recomienda realizar las medidas de la verticalidad cada 5 m de profundidad excavados.
3. **Nivel electrónico:** En este apartado se colocará el valor de inclinación de la barra Kelly. Se coloca el inclinómetro en la dirección izquierda/derecha y atrás/adelante. Se tomará esta medida en cada profundidad del pilote.
4. **Medición a las estacas:** Se apuntará la distancia de la barra Kelly a las estacas colocadas en el muro guía. Se tomará una primera medida a penas el balde de cortador supere el nivel superior del muro guía. Esta medida será la referencial (desviación cero).
5. **Porcentaje de desviación:** Cálculo del porcentaje de desviación en función a la profundidad. La diferencia de valores entre la medida a las estacas de la profundidad en mención menos la medida inicial (verticalidad cero) se divide entre la profundidad al cual fue tomado el registro. El cálculo debe hacerse en una sola unidad de longitud.
6. **Recomendaciones/Observaciones:** Recomendaciones y/u observaciones generales que ocurrieron durante la jornada durante la jornada.
7. **Firmas:** Firmas de los encargados por parte de la empresa ejecutora y también por parte del responsable de ente supervisor.

### C. Proceso de Armadura de Refuerzo

La armadura de refuerzo, como su nombre lo dice, brinda el soporte para los mecanismos de flexión existentes en la estructura, en este caso, pilotes excavados, complementando de esa manera la resistencia a la compresión del concreto.

Como datos previos en esta fase se tiene:

- El material debe cumplir con especificaciones y planos correspondientes.
- El tipo y distribución de la armadura longitudinal y transversal debe estar acorde con los planos.
- El tipo de la armadura transversal deben ser estribos circulares o forma de espiral, y su sección y distribución será la indicada en los planos.
- De ser el caso el uso de elementos metálicos para algún tipo de ensayo, no debe ser acero galvanizado para evitar la corrosión electroquímica de la armadura.
- Recubrimiento mínimo antes del vaciado debe ser 75 mm.
- Las uniones usadas en las barras deben garantizar que la resistencia total de cada barra se mantenga efectiva en ellas, para así evitar algún desplazamiento perjudicial de la armadura durante la ejecución del pilote.

Continuando con el procedimiento, la armadura de refuerzo debe instalarse inmediatamente después de la limpieza de la perforación.

Previo al izaje de la armadura, el ingeniero encargado, el operador de la grúa y el rigger deberán revisar el peso y dimensión de la armadura en la tabla de cargas del equipo para conocer si se encuentra dentro de las capacidades del equipo y evitar accidentes.

En la instalación se debe alinear el eje longitudinal de la armadura con el eje de la perforación para mantener un correcto recubrimiento del concreto a lo largo de toda su longitud.

En necesaria la utilización de espaciadores para un correcto flujo del concreto, asegurar la posición concéntrica de la jaula de acero de refuerzo y el recubrimiento del concreto óptimo. Estos espaciadores o separadores deben ser diseñados y fabricados con los materiales adecuados para evitar la corrosión de la armadura; y de se deben colocar siempre cumpliendo lo siguiente:

- Deben ser colocados simétricamente en las jaulas de acero de refuerzo,
- Por lo menos debe haber 3 separadores por cada nivel,
- El distanciamiento de los separadores debe ser mayor a 3.0 m,
- Contar con suficiente tolerancia con respecto a la pared interior de la excavación para obtener una instalación segura y así evitar posibles daños en la misma y en las paredes internas de la excavación; y

Según sea el diámetro del pilote, se puede incrementar o reducir el número de separadores.

Al ingresar a la excavación en todo momento se debe mantener suspendidas o sujeta a unos 30 cm por encima del fondo de la excavación, con la finalidad de conservar su correcta posición y recubrimiento inferior durante la etapa de vaciado de concreto.

Para los casos en los que la armadura de refuerzo sea de longitud elevada, estas se podrán construir en diferentes cuerpos, según lo indique el proyecto. La colocación y montaje de estas armaduras se ejecutará también como se mencionó líneas arriba, cuerpo a cuerpo, iniciando por el inferior y culminando por el superior.

Si es necesario se considerarán fijaciones adicionales en las uniones entre las jaulas de armaduras como, por ejemplo; abrazaderas y puntos o cordones de soldadura, según sea el caso.

En esta fase de montaje de la armadura de refuerzo y la unión de sus barras entre sí se debe tener en cuenta:

- Las jaulas de la armadura de refuerzo se puedan elevar e instalar sin que sufra deformaciones permanentes.
- Lo mismo para todas las barras pertenecientes a la jaula, debe permanecer en su posición correcta.
- Suficiente estabilidad para que en la etapa de hormigonado se evite el desplazamiento.

La armadura transversal (estribos) debe contar con:

- Armado con total precisión alrededor de las barras longitudinales principales.
- Estar unida o fija a las mismas.

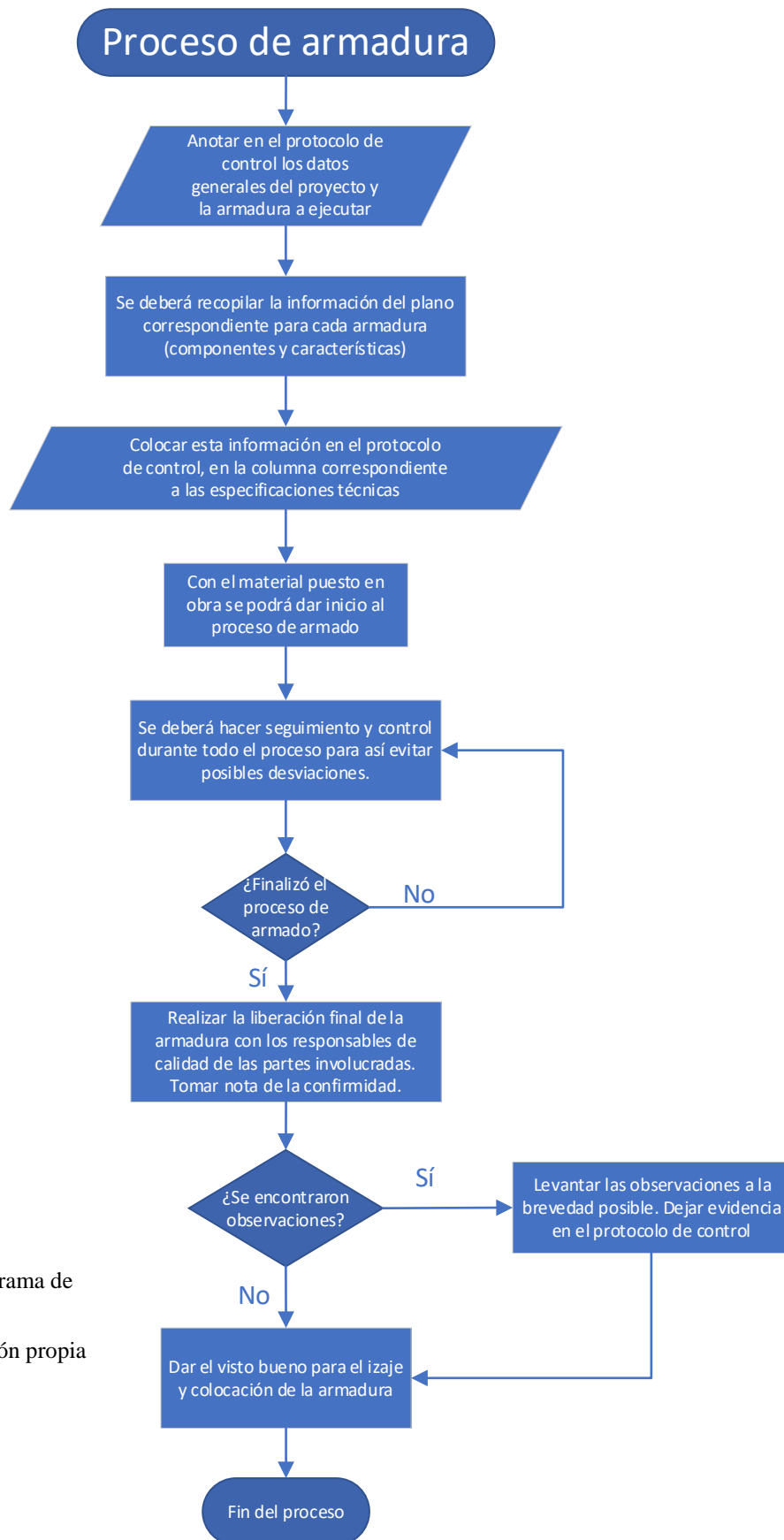
Las uniones, nudos o sujeciones se deben realizar según las necesidades de la armadura de refuerzo con:

- Grapas.
- Alambres.
- Soldadura.

La tolerancia de instalación de la armadura de refuerzo, en su etapa post vaciado del concreto, debe ser que la cota superior de la misma debe contar con una desviación máxima de  $-0.15$  m a  $+ 0.15$  m salvo sus especificaciones estén en contra.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso seguido de la propuesta del control de armadura con una explicación de uso de este.





**Imagen 6:** Flujograma de armadura

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 5: Control de armadura**

	<b>CONTROL DE ARMADURA</b>	**-CAE-CC-1 Versión 0 Fecha: 20-10-2020
Nombre del Proyecto: _____	<b>1</b>	Ubicación del Proyecto: _____
Contratista: _____		Fecha: _____ N°Protocolo: _____
Cliente: _____		N°Pilote: _____ Diámetro: _____
Plano Ref: _____		Revisión: _____

Nota: El control del armado se debe realizar con los planos aprobados.

Materiales en campo	Especificaciones Técnicas	Verificación en Campo	Comentarios																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Materiales en campo</b></td></tr> <tr><td colspan="2">Acero Vertical</td></tr> <tr><td colspan="2">Acero Horizontal</td></tr> <tr><td colspan="2">Rigidizadores</td></tr> <tr><td colspan="2">Separadores</td></tr> <tr><td colspan="2">Asas</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Armadura</b></td></tr> <tr><td colspan="2">Diámetro</td></tr> <tr><td colspan="2">Longitud</td></tr> <tr><td colspan="2">Pasos para tubería tremie</td></tr> <tr><td colspan="2">Identificación</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Separadores</b></td></tr> <tr><td colspan="2">Diámetro / Tamaño</td></tr> <tr><td colspan="2">Cantidad</td></tr> <tr><td colspan="2">Separación</td></tr> <tr><td colspan="2">Material</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Acero Vertical</b></td></tr> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Barras Principales</td><td>Diámetro de varillas</td></tr> <tr><td>Cantidad</td></tr> <tr><td>Separación</td></tr> <tr><td>Traslapes (Cantidad / longitud)</td></tr> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Barras Refuerzo</td><td>Diámetro de varillas</td></tr> <tr><td>Cantidad</td></tr> <tr><td>Separación</td></tr> <tr><td>Traslapes (Cantidad / longitud)</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Acero Transversal</b></td></tr> <tr><td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Estribos Principales</td><td>Diámetro de varillas</td></tr> <tr><td>Cantidad</td></tr> <tr><td>Separación</td></tr> <tr><td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Estribos Secundarios</td><td>Diámetro de varillas</td></tr> <tr><td>Cantidad</td></tr> <tr><td>Separación</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Rigidizadores</b></td></tr> <tr><td style="text-align: center;">Internos</td><td>Diámetro de varillas / Cantidad</td></tr> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Asas</b></td></tr> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">De Suspensión</td><td>Diámetro de varillas</td></tr> <tr><td>Cantidad</td></tr> <tr><td>Separación</td></tr> <tr><td>Soldadura</td></tr> <tr><td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;">De Laje</td><td>Diámetro de varillas</td></tr> <tr><td>Cantidad</td></tr> <tr><td>Separación</td></tr> <tr><td>Soldadura</td></tr> </table>	<b>Materiales en campo</b>		Acero Vertical		Acero Horizontal		Rigidizadores		Separadores		Asas		<b>Armadura</b>		Diámetro		Longitud		Pasos para tubería tremie		Identificación		<b>Separadores</b>		Diámetro / Tamaño		Cantidad		Separación		Material		<b>Acero Vertical</b>		Barras Principales	Diámetro de varillas	Cantidad	Separación	Traslapes (Cantidad / longitud)	Barras Refuerzo	Diámetro de varillas	Cantidad	Separación	Traslapes (Cantidad / longitud)	<b>Acero Transversal</b>		Estribos Principales	Diámetro de varillas	Cantidad	Separación	Estribos Secundarios	Diámetro de varillas	Cantidad	Separación	<b>Rigidizadores</b>		Internos	Diámetro de varillas / Cantidad	<b>Asas</b>		De Suspensión	Diámetro de varillas	Cantidad	Separación	Soldadura	De Laje	Diámetro de varillas	Cantidad	Separación	Soldadura	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Materiales en campo</b>																																																																										
Acero Vertical																																																																										
Acero Horizontal																																																																										
Rigidizadores																																																																										
Separadores																																																																										
Asas																																																																										
<b>Armadura</b>																																																																										
Diámetro																																																																										
Longitud																																																																										
Pasos para tubería tremie																																																																										
Identificación																																																																										
<b>Separadores</b>																																																																										
Diámetro / Tamaño																																																																										
Cantidad																																																																										
Separación																																																																										
Material																																																																										
<b>Acero Vertical</b>																																																																										
Barras Principales	Diámetro de varillas																																																																									
	Cantidad																																																																									
	Separación																																																																									
	Traslapes (Cantidad / longitud)																																																																									
Barras Refuerzo	Diámetro de varillas																																																																									
	Cantidad																																																																									
	Separación																																																																									
	Traslapes (Cantidad / longitud)																																																																									
<b>Acero Transversal</b>																																																																										
Estribos Principales	Diámetro de varillas																																																																									
	Cantidad																																																																									
	Separación																																																																									
Estribos Secundarios	Diámetro de varillas																																																																									
	Cantidad																																																																									
	Separación																																																																									
<b>Rigidizadores</b>																																																																										
Internos	Diámetro de varillas / Cantidad																																																																									
<b>Asas</b>																																																																										
De Suspensión	Diámetro de varillas																																																																									
	Cantidad																																																																									
	Separación																																																																									
	Soldadura																																																																									
De Laje	Diámetro de varillas																																																																									
	Cantidad																																																																									
	Separación																																																																									
	Soldadura																																																																									
Recomendaciones: _____																																																																										
Observaciones: _____																																																																										
Nombre y Firma Ing. Residente	<b>7</b> Nombre y Firma Ing. de Campo	Nombre y Firma Ing. Control de calidad	Nombre y Firma Supervisión																																																																							

Fuente: Elaboración propia.

1. **Encabezado:** En este apartado se colocarán datos generales de la empresa ejecutora, la empresa contratista, título del documento, codificación correspondiente, y datos generales del pilote a ejecutar.
2. **Datos generales:** En este apartado se colocan los datos generales de los materiales y la armadura a verificar. Esto se puede implementar en función a cada proyecto para un mejor control.
3. **Especificaciones técnicas:** Aquí se colocará las especificaciones con las que el material y la armadura debe cumplir, como diámetros, calidad del acero, separaciones, longitudes, entre otros.
4. **Verificación en campo:** Para la liberación y aceptación de la armadura de refuerzo se debe inspeccionar que cumpla con todas las especificaciones técnicas. En el caso de los materiales se debe verificar el estado nuevo, sin hendiduras, sin fisuras, grado, número de lote, certificado de calidad, listas de despiece, corte, doblado, entre otros. Para el armado verificar el izaje, posición, distribución, recubrimiento, separadores, evitar contacto con materiales que no estén especificados, soldaduras, longitud total, diámetro, entre otros.
5. **Comentarios:** En caso de existir alguna desviación o acontecimiento que deba reportarse se debe indicar en esta columna para que quede registrado.
6. **Recomendaciones/Observaciones:** Recomendaciones y/u observaciones generales que ocurrieron durante la jornada durante la jornada.
7. **Firmas:** Firmas de los encargados por parte de la empresa ejecutora y también por parte del responsable de ente supervisor.

#### D. Proceso de Vaciado de Concreto

Como parte final del proceso constructivo de pilotes excavados se tiene la fase o etapa de vaciado o colocación de concreto. En los siguientes párrafos se darán algunas explicaciones de cómo se lleva a cabo este proceso. También algunas consideraciones a tomar en cuenta.

El pilote excavado estará constituido por concreto de resistencia especificada según los requerimientos del proyecto, salvo alguna indicación en contra en la etapa de construcción o según lo indicado en los planos. De encontrarse con vaciados por debajo del nivel freático la primera mezcla de concreto del pilote debe contener la resistencia especificada, al igual que en lo anterior, el ingeniero proyecto podrán modificar la dosificación según el caso encontrado, sin salir de las recomendaciones impuestas por las normas o reglamentos a usar,

El concreto del pilote será concreto tremie el cual tendrá una docilidad adecuada para garantizar su continuidad absoluta. En caso de usarse algún tipo de aditivo, estos deben estar acorde a lo indicado en las especificaciones técnicas y siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Continuando con el procedimiento, se debe tener en cuenta que ya se realizó la preparación de la plataforma con todas sus características (dimensiones) y propiedades diseñadas, como lo suficientemente horizontal y estable para que sirva como reposo de los equipos usados para la colocación de la armadura y el vaciado del concreto. En caso no se cuente con la plataforma o no esté en condiciones óptimas, se deberá realizar un plan de trabajo adecuado para las condiciones existentes.

De encontrarse con obstáculos aéreos y superficiales (bloques de concreto, vegetación y troncos, entre otros) se deben considerar actividades como remoción y demolición de las interferencias encontradas para un libre movimiento y desempeño de los equipos a utilizar.

Entramos en la etapa de vaciado de concreto; tenemos como inicio la limpieza cuidadosa de la tubería tremie.

Como en todo procedimiento a seguir debemos satisfacer lo estipulado en las especificaciones técnicas y planos referidos al diseño (resistencia a la compresión); durante esta etapa de vaciado de concreto del pilote se debe tener muy en cuenta el conseguir que toda su sección longitudinal quede completa, uniforme y sin:

- Bolsas de aire o arena.
- Agua.
- Vacíos.
- Estrangulamientos.
- Cortes.

En esta etapa una de las funciones que debe cumplir este concreto es reducir al máximo la segregación de este, por tal motivo está prohibido vaciar por caída libre en ninguna etapa del proceso constructivo del pilote excavado, ni permitir que ingrese algún tipo de material ajeno al diseño dentro de la excavación del pilote para evitar la contaminación del concreto.

La tubería que se usa para el vaciado de concreto en este tipo de estructuras es de tipo tubería tremie, la cual debe ser lisa permitiendo el libre flujo del concreto y contar con un diámetro no menor de ocho veces el diámetro máximo del agregado a usar. Sin olvidar que antes de usar este tipo de tuberías debe estar completamente libre de restos de concreto o mortero que hayan quedado incrustados en sus paredes.

Durante el proceso de vaciado de los pilotes mediante tubería tremie, se ira elevando dicha tubería para que de esta manera siempre haya fluidez en el vaciado y no quede atascado por la presión del concreto, esta altura se

comprueba frecuentemente por comparación del volumen del concreto vaciado y la altura de vaciado.

Se deberá tomar en cuenta que, para realizar un corte de tubería, esta deberá estar sumergida en el concreto 3 metros más que la sección de tubería a cortar. Esto quiere decir que si se tienen 20 metros de tubería desde el nivel del terreno natural y el nivel de concreto se encuentra a 15 metros desde la misma referencia, de esa diferencia de 5 metros, solo se podrá hacer un corte de 2 metros, quedando embebida siempre la tubería por lo menos 3 metros.

No obstante, tampoco es recomendable dejar una excesiva cantidad de tubería debido a que puede quedar atorada por la presión del concreto y/o por la pérdida de la trabajabilidad del concreto. Se recomienda no dejar más de 8 metros de tubería tremie sumergida en el concreto.

Para llevar un control de la tubería tremie con la que se está trabajando, se hace utiliza una gráfica de control de vaciado de concreto, en la cual se lleva una curva que en el eje x representa el volumen de concreto que se va colocando durante el proceso de vaciado. En el eje y se coloca la profundidad a la que se encuentra el concreto (sondeos). En la parte lateral se coloca la secuencia de tubería tremie que se está utilizando y se va tachando a medida que se hacen los cortes de la tubería.

Antes de iniciar el proceso de vaciado se debe tener la curva teórica la cual representa el volumen teórico de concreto que requiere el pilote.

A medida que se va colocando el concreto, se hacen los sondeos del concreto. Estas coordenadas se deben graficar en el formato de control. Si este punto está por debajo de la curva teórica quiere decir que se está utilizando más concreto del teórico por lo que no habría ningún problema, se garantiza que la armadura quede embebida en el concreto.

No obstante, en los casos que la coordenada pase para la parte superior de la curva significa que está entrando menos concreto del teórico, algún elemento está ocupando el lugar del concreto. Esto se puede dar por el tipo de suelo (expansivos), derrumbes, entre otros. Se debe reportar y evaluar la conformidad general.

En este tipo de pilotes el vaciado se hace hasta una altura no menor de 0.4 m a la estipulada en el proyecto, esta sobreelevación será demolida posteriormente, a esto se le conoce como descabezado.

Es muy importante que el vaciado del pilote sea de manera continua, sin interrupciones y en caso se deba vaciar en tiempos diferentes, estas dos masas sucesivas no excedan el tiempo de fraguado de ninguna de ellas. Y si por algún motivo lo explicado no se cumpla, el ingeniero responsable será el encargado de decidir si el pilote puede ser terminado y considerarse válido o no.

Referido al control de calidad, la calidad de sus materiales utilizados para la elaboración del concreto, se deben elegir para que estas satisfagan los requisitos especificados para un concreto fresco y endurecido que incluya:

- Consistencia.
- Resistencia.
- Densidad.
- Protección ante la corrosión en caso de usarse materiales de acero embebidos en el concreto.
- Durabilidad.

Sin olvidar tener en cuenta el método de fabricación y el método a usar para la ejecución de este tipo de obra de concreto.

Para los ensayos en concreto endurecido, se deben tomar en cuenta contar con probetas cilíndricas con un mínimo de 3 por muestra de concreto.

Si el concreto no fue fabricado bajo estándares de calidad y no incluye alguna documentación que garantice su diseño y resistencia, esta resistencia se debe determinar por cada muestra, realizar un ensayo a una probeta a los 7 días y a los 28 días. Sin dejar de lado las siguientes recomendaciones:

- Cada 3 pilotes excavados en un emplazamiento, se tomará 1 muestra.
- Una muestra por cada 5 pilotes excavados siguientes al punto anterior, en caso sea que el volumen del concreto sea igual o menor a 4 m<sup>3</sup>, se deberán sacar muestras cada 15 pilotes excavados.
- Completado los 7 días de trabajo ininterrumpidos, se hace un corte y se toman 2 muestras más.
- Si al día se completa más de 75m<sup>3</sup> de concreto, se deben sacar por lo menos 1 muestra.
- Cuando la resistencia a la compresión de un pilote sea mayor a 35 MPa se debe tomar una muestra por cada pilote excavado que cumpla esta condición.

Sobre la calidad en la ejecución del trabajo; se tiene en cuenta que su etapa de ejecución debe ser obligatorio contar con una supervisión y seguimiento de estos, y no solo de la estructura en sí, sino también de las construcciones aledañas al proyecto.

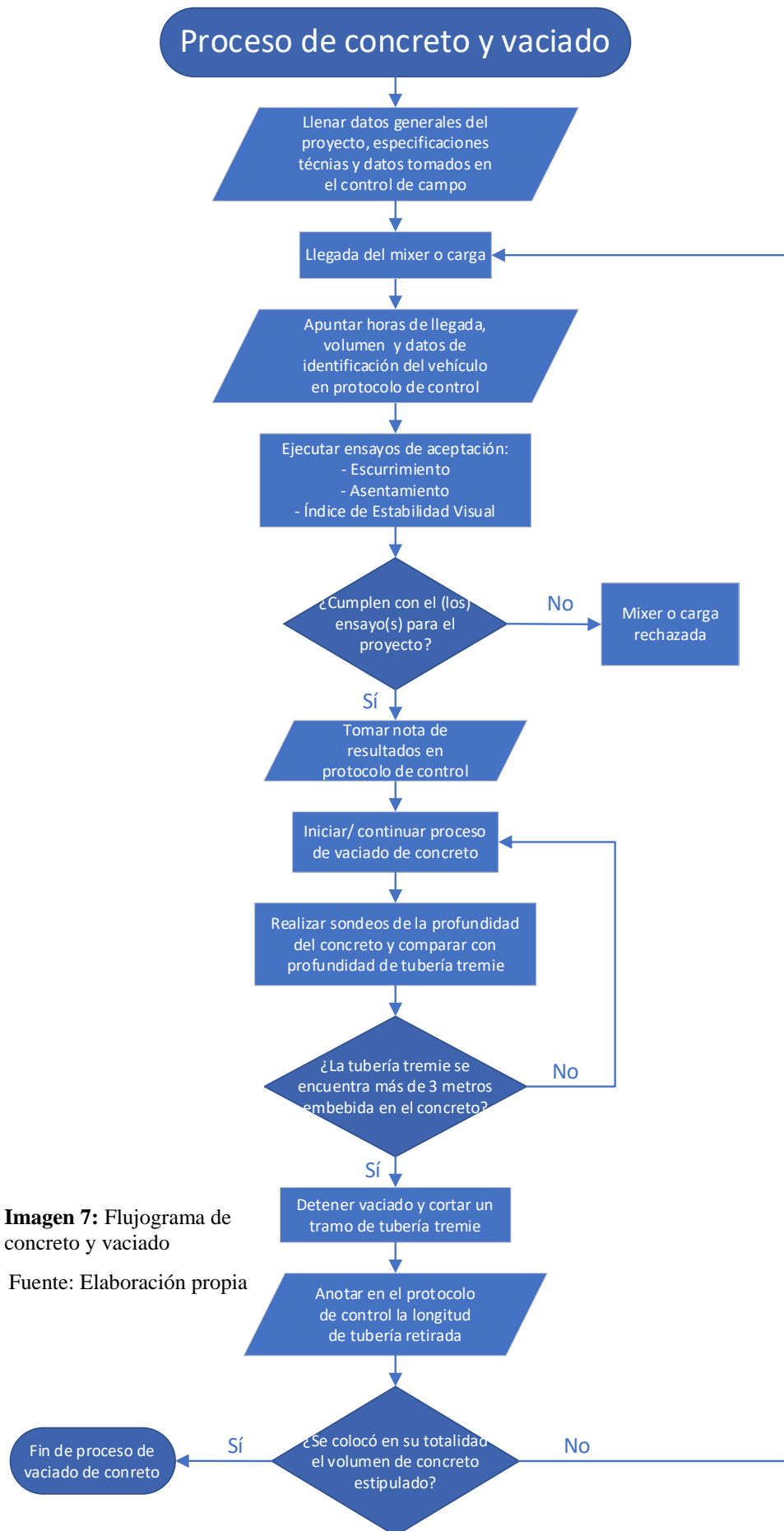
Algunos puntos a tener en cuenta para el control del vaciado de concreto.

- Verificar el transporte: Cuidados de transporte del concreto premezclado, sin derrames ni precinto de seguridad violentado.
- Verificar la zona de maniobras: La zona debe ser plana, sin agujeros en el terreno, ni material suelto para evitar accidentes debido a que los mixers rondan las 30 toneladas de peso, sin interferencias.
- Verificar equipos y herramientas de trabajo: Nuevos o aptos para el trabajo solicitado, calibrados, certificados de calidad y calibración.



- Pre-Vaciado: Ensayos de aceptación, mezclado, temperatura, consistencia del concreto.
- Vaciado del concreto: Colocación, método, tiempo, consistencia del concreto, evitar taponamientos de la tubería tremie.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso seguido de la propuesta del control de vaciado de concreto y su gráfico de control con una explicación de uso.



**Imagen 7:** Flujograma de concreto y vaciado  
 Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6: Control de vaciado de concreto

	<b>CONTROL DE VACIADO DE CONCRETO</b>	**-.CVC-CC-1 Versión 0 Fecha: 20-10-2020
--	---------------------------------------	--

Nombre del Proyecto: \_\_\_\_\_ Ubicación del Proyecto: \_\_\_\_\_

Contratista: \_\_\_\_\_ **1** \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ N°Protocolo: \_\_\_\_\_

Cliente: \_\_\_\_\_ N°Pilote: \_\_\_\_\_ Diametro: \_\_\_\_\_

---

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

F'c (kg/cm2)  Retención trabajabilidad (h)  **2** Escurrimiento (pulg)

Aditivo  Tamaño maximo del agregado (pulg.)  Asentamiento (pulg)

---

**CONTROL EN CAMPO**

**DISEÑO**

Volumen de concreto teórico (m<sup>3</sup>)  Profundidad desde muro guía  Ø Tubería tremie (pulg)

Volumen de concreto real (m<sup>3</sup>)  Nivel tope de concreto (m)  **3** Ø perforación (m)

**VACIADO**

Hora inicio  Hora fin  Sobrevolumen (%)

Concreto		Ensayos			Unidades				Medida	Comentarios
Volumen (m3)		Temperatura (°C)		Asentamiento / Escurrimiento (pulg)	Hora				Profundidad (m)	
Absoluto	Acumulado	Ambiente	Concreto		Salida planta	Llegada a obra	Inic. Vaciado	Fin Vaciado		

Recomendaciones: \_\_\_\_\_ **5** \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Nombre y Firma Ing. Residente	Nombre y Firma Ing. de Campo	Nombre y Firma Ing. Control de calidad	Nombre y Firma Supervisión
----------------------------------	---------------------------------	---	-------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 7: Gráfico de control de vaciado de concreto**

GRÁFICO DE CONTROL DE VACIADO DE CONCRETO															
<b>** CVC-CC-2</b> Versión 0 Fecha: 20-10-2020		Metro gua Profundidad (m)													
	1														
	2														
	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
	8														
	9														
	10														
	11														
	12														
	13														
	14														
	15														
	16														
	17														
	18														
	19														
	20														
	21														
	22														
	23														
	24														
	25														
	26														
	27														
	28														
	29														
	30														
Fondo del pilote		Volumen (m³)													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%; padding: 5px;">Proyecto: _____</td> <td style="width: 30%; padding: 5px;">Ubicación: _____</td> <td style="width: 30%; padding: 5px;">Fecha: _____</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Contratista: _____</td> <td style="padding: 5px;">Cliente: _____</td> <td style="padding: 5px;">N° de Pila: _____</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">N° Protocolo: _____</td> <td colspan="2"></td> </tr> </table>				Proyecto: _____	Ubicación: _____	Fecha: _____	Contratista: _____	Cliente: _____	N° de Pila: _____	N° Protocolo: _____					
Proyecto: _____	Ubicación: _____	Fecha: _____													
Contratista: _____	Cliente: _____	N° de Pila: _____													
N° Protocolo: _____															
Loda antes de vaciar: _____ Densidad: _____ %Aren: _____ Nivel superior de muro guía: _____															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">Especificaciones/Conc. Control en campo:</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">Nivel Tomado del concreto líquido: _____</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Nivel de concreto real: _____</td> <td style="padding: 2px;">Volumen (m³): _____</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Sobrevolumen: _____</td> <td style="padding: 2px;">% Sobrevolumen: _____</td> </tr> </table>	Especificaciones/Conc. Control en campo:	Nivel Tomado del concreto líquido: _____	Nivel de concreto real: _____	Volumen (m³): _____	Sobrevolumen: _____	% Sobrevolumen: _____	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">Nombre y Firma Ing. Responsabil:</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">Nombre y Firma Ing. de Producción</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> </td> <td style="padding: 2px;">Nombre y Firma Ing. Calidad</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> </td> <td style="padding: 2px;">Nombre y Firma Supervisión</td> </tr> </table>			Nombre y Firma Ing. Responsabil:	Nombre y Firma Ing. de Producción		Nombre y Firma Ing. Calidad		Nombre y Firma Supervisión
Especificaciones/Conc. Control en campo:	Nivel Tomado del concreto líquido: _____														
Nivel de concreto real: _____	Volumen (m³): _____														
Sobrevolumen: _____	% Sobrevolumen: _____														
Nombre y Firma Ing. Responsabil:	Nombre y Firma Ing. de Producción														
	Nombre y Firma Ing. Calidad														
	Nombre y Firma Supervisión														

Fuente: Elaboración propia.

1. **Encabezado:** En este apartado se colocarán datos generales de la empresa ejecutora, la empresa contratista, título del documento, codificación correspondiente, y datos generales del pilote a ejecutar.
2. **Especificaciones técnicas:** Apartado en el cual se colocarán la información del concreto a colocar como la resistencia, escurrimiento o asentamiento de aceptación, retención de trabajabilidad, aditivos, entre otros. Cabe recalcar que estos pueden ser modificados en función a las necesidades del ente ejecutor.
3. **Control en campo:** En esta sección se deberá registrar los datos de campo del pilote a ejecutar como lo son la profundidad, volúmenes teóricos y reales, diámetro, horas de inicio y fin, porcentajes de sobre volumen.
4. **Cuadro de control:** Para el inicio del vaciado de concreto es necesario conocer si los ensayos de aceptación fueron válidos, los volúmenes de cada mixer. Estos se deberán registrar en este cuadro, también se deberá anotar las horas de vaciado en caso de que la empresa desee hacer cálculos de rendimiento y medidas con la sonda.
5. **Recomendaciones/Observaciones:** Recomendaciones y/u observaciones generales que ocurrieron durante la jornada durante la jornada.
6. **Firmas:** Firmas de los encargados por parte de la empresa ejecutora y también por parte del responsable de ente supervisor.

## **7.2. Entregables del proyecto**

### **7.2.1. Informes**

- Se ingresará los informes de calidad que se hayan realizado durante el ciclo de vida del proyecto, ya sean diarios, semanales o mensuales (estos informes dependen del proyecto a ejecutar), NCR (reporte de no conformidad en campo), RFI (solicitud de consulta referido a la calidad), reporte de servicio o producto no conforme, orden de cambio, entre otro.
- Planos.
- Se ingresarán las actualizaciones de los planos con las recomendaciones de calidad aceptadas, o en caso algún cambio realizado por el área de calidad haya sido aceptada.
- Anexos.
- Se adjuntará información, planos, documentos, gráficos, entre otros que hayan sido usados para beneficio y apoyo del control de calidad del proyecto (en caso de que hubiera).
- Lecciones aprendidas: El ingeniero de Calidad y/o Jefe de Proyecto/Residente de obra solicitará a los participantes del proyecto que aporten sus experiencias respecto a aspectos positivos y negativos vividos durante la ejecución de los servicios, para ser utilizadas como información de entrada para generar oportunidades de mejoramiento.

## **8. Dossier de calidad**

### **a. Desarrollo**

Los documentos que se han aplicado a cada sistema del proyecto formarán parte del dossier, y deben ser originales. Los documentos que forman parte de éste son los siguientes:

- Índice
- Introducción
- Resumen Ejecutivo.
- Descripción del Proyecto.

- Listado de RFIs (cerrados).
  - Informe de No Conformidad (NCR – Non Conformance Report)
  - Planos Red Line.
  - Planos As-Built (debidamente sellado y firmado por un ingeniero colegiado y habilitado de la especialidad).
  - Protocolos de Calidad.
  - Certificados de Calidad.
  - Ensayos de laboratorio.
  - Salud Seguridad Medio Ambiente y Comunidad (HSEC Siglas en inglés).
  - Lecciones aprendidas.
  - Anexos.
  - Panel Fotográfico.
  - Lo indicado en la Cartilla de Cierre de Contratos.
- b. Organización del dossier en Función de las partidas ejecutadas

La organización del dossier debe guardar relación con la secuencia lógica del desarrollo de los procesos constructivos del proyecto y el ordenamiento de su estructura será en función a los objetivos y alcances de los planes de inspección diseñados para la ejecución del pilote excavado. La organización del dossier debe ser de fácil entendimiento para el usuario.

c. Entrega del Dossier

El dossier deberá ser presentado en archivador y si la magnitud de la documentación así lo requiere puede ser desdoblado en varios volúmenes.