

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC- DBL-007	Fecha 08- 07-2021	Revisión B
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO		Pág. 1 (121)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Danny Jhoan Ortiz Vera Reinaldo Pulido Caicedo		
FACULTAD	Facultad de ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización en Interventoría de Obras Civiles		
DIRECTOR	Esp. Jesús Ramón Sánchez Durán		
TÍTULO DE LA TESIS	Aspectos De Supervisión Técnica En La Construcción De Caisson En La Ciudad De Cúcuta, Norte De Santander.		
TITULO EN INGLES	Technical Supervision Aspects In The Construction Of Caisson In The City Of Cúcuta, Norte De Santander		
RESUMEN (70 palabras)			
En tal sentido en el Municipio de Cúcuta se ha estado utilizando repetidamente esta solución de cimentación para la construcción de obras de control y mitigación de terrenos inestables y para la construcción de puentes como soluciones de interconectividad vial, ejemplo de ello han sido las diferentes obras que se han ejecutado en el municipio de Cúcuta y su área metropolitana.			
RESUMEN EN INGLES			
In this sense, in the Municipality of Cúcuta this foundation solution has been repeatedly used for the construction of control and mitigation works for unstable terrain and for the construction of bridges as solutions for road interconnectivity, an example of which are the different works that have been executed in the municipality of Cúcuta and its metropolitan area.			
PALABRAS CLAVES	Aspectos, Supervisión, Técnica, Construcción, Caisson.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Aspects, Supervision, Technical, Construction, Caisson..		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:121	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**Aspectos De Supervisión Técnica En La Construcción De Caisson En La Ciudad
De Cúcuta, Norte De Santander.**

Danny Jhoan Ortiz Vera

Reinaldo Pulido Caicedo

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Especialización en Interventoría de Obras Civiles

Esp. Jesús Ramón Sánchez Durán

14 noviembre de 2023

Índice

Capítulo 1. Generalidades	8
1.1 Elección del tema	8
1.2 Delimitación del tema	10
1.3 Desarrollo Del Argumento	11
1.4 Metodología	12
Capítulo 2. Marco normativo y técnico asociado a la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson.....	14
2.1 Cimentaciones profundas preexcavadas.....	23
2.1.1 Clasificación de pilas preexcavadas	24
2.1.2 Métodos constructivos.....	27
2.1.3 Maquinaria y Equipo para Excavación en Cimentaciones Profundas.....	32
2.1.4 Método constructivo Caisson	38
2.2 Norma Colombiana de diseño de puente CCP14	41
2.3 Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).....	44
Capítulo 3. Procedimientos Seguros en Espacios Confinados para Excavaciones en la ejecución de obras de cimentaciones tipo Caissons.....	47
3.1 Marco Normativo	48

3.2	Definiciones	56
3.2.1	Aire Respirable.....	56
3.2.2	Aislamiento del Espacio Confinado.....	56
3.2.3	Ajuste de Sensores:	57
3.2.4	Análisis de Peligros por Actividad (APA):.....	57
3.2.5	Apertura de Línea:.....	58
3.2.6	Área Clasificada:	58
3.2.7	Atmósfera Aceptable:.....	59
3.2.8	Atmósfera deficiente o enriquecida de oxígeno	59
3.2.9	Atmósferas explosivas.....	60
3.2.10	Atmósfera inerte	60
3.2.11	Atmósfera IPVS	61
3.2.12	Atmósfera tóxica	61
3.2.13	Auto reporte de condiciones de salud y trabajo	61
3.2.14	Certificación de Equipos	62
3.2.15	Certificado de Apoyo para Entrada y Trabajo en Espacio Confinado	62
3.2.16	Condiciones de Ingreso Aceptables	63
3.2.17	Contaminantes.....	63
3.2.18	Control de Protección Respiratoria	63
3.2.19	Deficiencia de Oxígeno.....	64

3.2.20	Enriquecimiento de Oxígeno.....	64
3.2.21	Equipo de Aire Autocontenido SCBA	65
3.2.22	Espacio Confinado	65
3.2.23	Procedimiento de Rescate:	68
3.2.24	Pilote:	68
3.2.25	Torton.....	69
3.2.26	Zona de Respiración.....	69
3.3	Responsabilidad de los actores involucrados en el proceso	69
3.4	Procedimiento de trabajo en espacios confinados.....	71
3.4.1	Vaciado de concreto para obras de excavación de 1.2 m de profundidad en la construcción de cajones de cimentación	71
3.4.2	Recomendaciones adicionales proceso de vaciado para excavaciones.	74
3.4.3	Señalización	76
3.4.4	Control en el ingreso de personal a zonas confinados.	78
Capítulo 4. Controles técnicos requeridos en la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson.....		
4.1	Proceso constructivo y supervisión técnica de cimentaciones profundas tipo Caisson. 80	
4.1.1	Paso 1: Preliminares	80
4.1.2	Paso 2. Localización y replanteo.....	81

4.1.3	Paso 3. Excavación de los anillos de revestimiento	82
4.1.4	Paso 4. Encofrado de la excavación	83
4.1.5	Paso 5. Concreto de limpieza	85
4.1.6	Paso 6. Armado y colocación de la canasta de refuerzo	86
4.1.7	Paso 7. Concreto para fuste	87
4.2	Controles técnicos	89
4.2.1	Control de Planos	89
4.2.2	Control de Especificaciones	90
4.2.3	Control de Materiales	90
4.2.4	Control de calidad	92
4.3	Análisis de experiencia de construcción de un puente vehicular en el municipio de San José de Cúcuta, Departamento de Norte de Santander.	100
5	Conclusiones.....	107
6	Recomendaciones	114
	Referencias.....	115

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de espacios confinados	66
Tabla 2. Requisitos del control de materiales	91
Tabla 3. Modelo de lista de inspección de seguridad para el personal	95
Tabla 4. modelo de lista de chequeo para construcción del caisson.....	96
Tabla 5. Modelo de lista de chequeo para la mezcla de concreto.....	98
Tabla 6. modelo de lista de chequeo para el pre colado de estructura.....	99

Lista de Figuras

Figura 1. Detalles transversales de los tipos de pilas preexcavadas.	25
Figura 2. Clasificación de las cimentaciones.....	26
Figura 3. Esquema del método de perforación de Chicago para pilas preexcavadas	28
Figura 4. Proceso de pilotaje con lodo bentonítico.....	29
Figura 5. Proceso de pilotaje mediante rotación en seco.	30
Figura 6. Ademe de madera apuntalado en las esquinas.	31
Figura 7. Tipos de barrenas para perforación	33
Figura 8. Maquinaria perforadora de percusión montada en un camión.	35
Figura 9. Cuchara Bivalva.	36
Figura 10. excavación y armado de estructura de caisson sector la Victoria.	100
Figura 11. Vaciado de concreto en la estructura de caisson sector la Victoria.....	101
Figura 12. Vaciado de concreto en la estructura de caisson sector Fátima.	102
Figura 13. Extracción de agua en pozo de cimentación, sector Fátima.....	104
Figura 14. Armado del acero en cajón de cimentación.....	105

Capítulo 1. Generalidades

1.1 Elección del tema

Actualmente, la construcción de cimentaciones profundas, como pilotes, pilas, cajones de cimentación (Caisson) y micropilotes, ha experimentado un notable crecimiento (Villa Romero, 2021). Esto se debe a su capacidad para ofrecer soluciones prácticas en el ámbito de soporte y transferencia de cargas al suelo, ya sea debido a la inadecuación de los estratos superficiales del terreno o a los requisitos establecidos por las normativas sísmicas. Las cimentaciones profundas se caracterizan por presentar un diámetro menor en relación con su altura y desempeñan la función de transmitir las cargas de las estructuras a profundidades que suelen oscilar entre los 4 y 40 metros. (Geoexcavaciones, 2020).

En tal sentido en el Municipio de Cúcuta se ha estado utilizando repetidamente esta solución de cimentación para la construcción de obras de control y mitigación de terrenos inestables y para la construcción de puentes como soluciones de interconectividad vial, ejemplo de ello han sido las diferentes obras que se han ejecutado en el municipio de Cúcuta y su área metropolitana, como lo es la construcción del Puente la Saladera, ubicado sobre la quebrada del mismo nombre en la vía a San Faustino, que en el 2011 fue destruido por la ola invernal y fue construido sobre Caissons de 22 metros de longitud (Pabón, 2012). En la vía que comunica a Cúcuta con el municipio de Durania, en el sector denominado la Don Juana se realizó el mejoramiento de un talud mediante la construcción de cimentación tipo caisson como soporte de un muro de contención en el año 2013.

En la vía Cúcuta – Gramalote también se hizo uso de este tipo de cimentación profunda para la construcción de los puentes ubicados en los tramos Quebrada la Miraflores, Quebrada la

Colorada y Quebrada la Laja, que permitieron el acceso al nuevo municipio de Norte de Santander en 2015 (Fondo Nacional de Adaptación, 2015). En el último año se han realizado varias obras de mitigación en el área urbana del municipio de Cúcuta, como los son los muros de contención en los Barrios 28 de Febrero y San Miguel, en los cuales la Alcaldía de Cúcuta, a través de la Secretaría para la Gestión del Riesgo de Desastres, hizo la construcción de muros de contención reforzados con Caissons (Federación Colombiana de Municipios, 2022); en este último ubicado en la Escuela Virgen del Fátima del Barrio San Miguel, es donde se tiene la experiencia específica de la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson.

Un aspecto crítico en la construcción de cimentaciones profundas se relaciona con la seguridad y salud en el trabajo. La industria de la construcción se caracteriza por ser uno de los sectores de alto riesgo para los trabajadores, dado que involucra diversas actividades con un nivel significativo de peligro. La integridad de los trabajadores está constantemente en riesgo durante la ejecución de estas tareas. Uno de los desafíos radica en que la mayoría de los trabajadores carecen de la capacitación y conocimientos necesarios, lo que aumenta las posibilidades de accidentes. La falta de formación adecuada a nivel individual tiene un impacto directo en la seguridad en el lugar de trabajo y aumenta las probabilidades de incidentes durante las jornadas laborales.

Al realizar esta revisión bibliográfica y narrativa de la experiencia en la construcción de cajones de cimentación permitirá desarrollar la exigencia en los procesos constructivos de Caisson, juega un papel fundamental para los ingenieros que se van a desempeñar como interventores, puesto que permite a velar por la integridad de las obras, los materiales y del personal que labora y demás actividades, esto a su vez establecerá las pautas necesarias para validar los procedimientos correctos a la hora de realizar estas actividades.

1.2 Delimitación del tema

Delimitación temporal. Este proyecto se desarrollará en el período de 3 meses que comprende a partir de la aceptación de la propuesta.

Delimitación Geográfica. Se incluirá en el análisis del seguimiento y control técnico los criterios necesarios para realizar controles en la construcción de CAISSON en obras de alta complejidad en la ciudad de Cúcuta en el departamento de Norte de Santander. (en que los autores han participado)

Delimitación operativa. Este proyecto se enfoca en la supervisión técnica, que incluye la interpretación de planos, el cumplimiento de requisitos legales, el control de calidad de los materiales y las pruebas necesarias para la construcción de cajones de cimentación tipo Caisson. Prioriza el logro de objetivos específicos, lo que implica recopilar material bibliográfico y analizar experiencias en el campo.

Delimitación conceptual. El propósito de este trabajo de grado es investigar los procedimientos de control y supervisión necesarios en el proceso de construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson en muros de contención y losas de concreto. Se destacarán las Normas Técnicas Colombianas (NTC) y secciones relevantes de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 aplicables a este tipo de construcción. Además, se recopilarán los estándares y regulaciones relacionados con la seguridad y la salud en el trabajo que deben ser cumplidos en entornos confinados

1.3 Desarrollo Del Argumento

En Colombia, el Estado ha asumido la responsabilidad de garantizar la adecuada gestión y utilización de los recursos públicos, así como prevenir su malversación. Para ello, se han creado mecanismos de supervisión y control, como las interventorías, según lo estipulado en la Ley 80 de 1993. La interventoría desempeña un papel fundamental en la ejecución de proyectos, brindando un marco normativo que permite a las entidades contratantes, como las administraciones municipales y departamentales, contar con las herramientas necesarias para llevar a cabo un seguimiento efectivo de los contratos, abarcando aspectos técnicos, administrativos, ambientales y legales.

Dado el crucial papel desempeñado por la interventoría en el control y supervisión de proyectos, es esencial reunir y analizar las experiencias acumuladas en la construcción de estructuras de cimentación profunda, como los cajones de cimentación o Caisson. Esto proporciona una oportunidad valiosa para desarrollar un documento que aborde de manera integral

todos los aspectos relacionados con los controles necesarios en la construcción de este tipo de estructuras, incluyendo sus aspectos técnicos, administrativos, ambientales y legales. (Real, 2021).

En particular, en el sector vial de Colombia, la demanda de estructuras de cimentación profunda, como puentes, es significativa. Dado que el progreso del país está estrechamente vinculado a la calidad de sus vías y rutas de transporte, la modernización de la economía se relaciona directamente con el desarrollo de la infraestructura de transporte. A pesar de limitaciones financieras, se han adoptado estrategias provenientes de otras naciones, como Europa y Estados Unidos, que han implementado exitosamente sistemas de concesiones viales. Esto ha permitido la ejecución de proyectos que incluyen la construcción de un gran número de pilas y puentes para mejorar la conectividad terrestre en el país. (Albanete & Fageda, 2008)

1.4 Metodología

El proyecto de monografía se enmarca en una investigación de naturaleza descriptiva, donde se lleva a cabo la recopilación de información con el propósito de identificar y analizar las distintas funciones técnicas, administrativas, ambientales y legales que conciernen a la labor de interventoría en los contratos relacionados con la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson. Además, se busca comprender en detalle las responsabilidades y compromisos estipulados contractualmente en los contratos de interventoría que abarcan este tipo de estructuras.

Técnicas de recolección: Dado que el tipo de investigación se basa en el análisis de experiencias y recopilación de estudios de caso, se requiere la recopilación documental de las normas y controles técnicos requeridos para la construcción de cimentaciones tipo Caisson que serán contrastadas con las situaciones presentadas en proyectos de este tipo en el municipio de Cúcuta Norte de Santander, así mismo, se realizará la investigación documental de los trabajos en situación de confinamiento, mediante el análisis de las normas de seguridad y salud en el trabajo relacionado a estas actividades.

Procedimiento metodológico: Para el desarrollo del proyecto de recopilación bibliográfica, se abordan los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Generalidades de las cimentaciones profundas

Capítulo 2. Marco normativo y técnico asociado a la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson

Capítulo 3. Procedimientos seguros en espacios confinados para excavaciones en la construcción de cimentaciones tipo caissons

Capítulo 4. Controles técnicos requeridos en la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson.

Conclusiones

Recomendaciones.

.

Capítulo 2. Marco normativo y técnico asociado a la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson

La construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson representa un componente crítico en la infraestructura civil de Colombia, dadas las características geotécnicas diversas y retadoras que se encuentran a lo largo de este país de topografía variada y compleja. La implementación de cajones de cimentación demanda una combinación precisa de conocimientos técnicos y el riguroso cumplimiento de normativas y estándares, con el fin de garantizar la seguridad estructural y funcional de las obras civiles.

En este contexto, el presente capítulo aborda el entramado normativo y técnico que rige la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson en Colombia, poniendo especial énfasis en la aplicación de las Normas Técnicas Colombianas (NTC) establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). Además, se examinan los manuales técnicos desarrollados por diversas empresas líderes en el sector de la construcción, así como las especificaciones técnicas específicas para la ejecución de proyectos de cajones de cimentación.

Uno de los pilares fundamentales en la seguridad y calidad de las cimentaciones profundas en Colombia es la Norma Sismo Resistente (NSR), que establece los criterios y requisitos esenciales para el diseño y construcción de estructuras resistentes a sismos. Dada la vulnerabilidad sísmica del territorio colombiano, la correcta interpretación y aplicación de la NSR en el contexto de las cimentaciones profundas resulta imperativa para mitigar los riesgos asociados a eventos sísmicos.

Este capítulo constituye un compendio integral de las regulaciones y normas técnicas que rigen la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson en Colombia, proporcionando un marco sólido para la supervisión de obras civiles en el país. La comprensión y aplicación adecuada de este marco normativo y técnico resultan cruciales para asegurar la estabilidad y durabilidad de las estructuras, así como para salvaguardar la integridad de las vidas humanas y el entorno en un entorno geotécnico que demanda una atención minuciosa y especializada.

En este sentido, a continuación, se enlistan y se detallan cada una de los documentos y normas técnicas que reglamentan y respaldan la construcción de pilas de cimentación o Caisson en Colombia y especialmente, en el Área Metropolitana de Cúcuta, Norte de Santander.

- Ley 400 del 19 de agosto de 1997 - Normas sobre Construcciones Sismo Resistentes:

La Ley 400 de 1997 representa un hito en la regulación de la construcción sismo resistente en Colombia. Esta ley establece los lineamientos generales para la implementación de estructuras resistentes a sismos en todo el país. En particular, es relevante para las cimentaciones profundas tipo Caisson, ya que establece las obligaciones y responsabilidades de los profesionales y empresas de ingeniería en el diseño y construcción de cimientos seguros. La Ley 400 también establece las bases para la creación del Reglamento Colombiano Sismo Resistente (NSR-10), que se considera el principal marco técnico para la ingeniería sísmica en Colombia.

- Reglamento Colombiano Sismo Resistente (NSR-10):

El NSR-10, desarrollado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica con el respaldo del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, es la norma técnica más esencial en la construcción de cimentaciones profundas sismo resistentes en Colombia. Este reglamento establece los requisitos específicos para el diseño y construcción de cajones de cimentación y pilas profundas, considerando los aspectos sísmicos. El NSR-10 proporciona pautas detalladas para la evaluación de la capacidad portante del suelo, el dimensionamiento de los elementos estructurales y la implementación de sistemas de cimentación seguros en zonas de alto riesgo sísmico. Además, se enfoca en la prevención de colapsos y la protección de la vida humana y el entorno en caso de terremotos. Este reglamento se convierte en un referente indispensable para ingenieros y supervisores de obras civiles que deben garantizar la seguridad y estabilidad de las cimentaciones profundas en el contexto geotécnico colombiano.

- Plan de ordenamiento territorial del municipio de San José de Cúcuta - Acuerdo 022 de 19 de diciembre de 2019:

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de un municipio es un instrumento fundamental para la planificación y regulación del uso del suelo y la infraestructura. En el caso específico del Acuerdo 022 de 19 de diciembre de 2019 del Municipio de San José de Cúcuta, se establecen las pautas y directrices para el desarrollo urbano y rural de la localidad. En relación con las cimentaciones profundas, el POT define las zonas donde se permitirá su uso, las restricciones de altura y densidad, y los criterios de construcción sostenible y segura. La normativa POT también puede incluir disposiciones específicas relacionadas con la estabilidad

geotécnica del suelo en la región, lo que es crucial para la planificación y ejecución de proyectos de cimentación profunda. El cumplimiento de las disposiciones del POT es esencial para garantizar que las cimentaciones profundas se desarrollen de manera coherente con los objetivos de desarrollo del municipio y en armonía con el entorno urbano y natural circundante.

- NTC 121 – Cemento Portland – Especificaciones físicas y mecánicas (ASTM C150):

La NTC 121 establece las especificaciones físicas y mecánicas del cemento Portland, uno de los componentes fundamentales del concreto utilizado en cimentaciones profundas. Esta norma colombiana se basa en las normas ASTM C150 y ASTM C595 y define los requisitos de calidad que el cemento debe cumplir para garantizar su idoneidad en aplicaciones de construcción civil, incluyendo cimentaciones. La norma aborda aspectos como la resistencia a la compresión, la finura, el contenido de sulfatos y otros parámetros que son esenciales para la durabilidad y la resistencia del concreto utilizado en las cimentaciones profundas. El cumplimiento de la NTC 121 y, por ende, de las normas ASTM C150 y C595, es crucial para garantizar que el cemento utilizado en la construcción de pilas de cimentación o cajones cumpla con los estándares de calidad y seguridad requeridos en proyectos de ingeniería civil en Colombia.

- NTC 174 - Especificaciones de los Agregados para Concreto (ASTM C33):

La norma NTC 174 establece las especificaciones técnicas para los agregados utilizados en la preparación del concreto, un componente esencial en la construcción de cimentaciones

profundas tipo Caisson. Esta norma se basa en la norma internacional ASTM C33 y establece criterios detallados para la selección y clasificación de los agregados, incluyendo la granulometría, la limpieza y la resistencia a la abrasión. La calidad de los agregados es crítica para garantizar la resistencia y durabilidad del concreto empleado en las pilas de cimentación, ya que los agregados defectuosos pueden comprometer la integridad de la estructura.

- NTC 396 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto (ASTM C143/C143M):

La NTC 396, basada en la norma ASTM C143/C143M, se enfoca en la determinación del asentamiento del concreto fresco, un parámetro crucial en la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson. Este método de ensayo proporciona las directrices para medir la consistencia y trabajabilidad del concreto, lo que es esencial para garantizar que el material fluya adecuadamente durante el proceso de colado en la estructura de la pila de cimentación. La precisión en la medición del asentamiento del concreto contribuye a la correcta colocación y compactación del mismo, asegurando que las pilas de cimentación alcancen la resistencia y estabilidad requeridas.

- Norma Técnica Colombiana NTC 454 (ASTM C172): Ingeniería Civil y Arquitectura. Concreto Fresco. Toma de Muestras

La NTC 454, en concordancia con la norma ASTM C172, reviste una importancia crucial en la construcción de cimentaciones profundas mediante pilas de cimentación o Caisson en

Colombia. Esta norma establece los procedimientos y requisitos para la toma de muestras de concreto fresco, un componente esencial en la ejecución de cajones de cimentación. La correcta toma de muestras de concreto fresco garantiza la conformidad con las especificaciones de diseño y calidad, lo que se traduce en una adecuada resistencia estructural y durabilidad de las pilas de cimentación.

Esta norma especifica la forma en que se deben recolectar y manipular las muestras de concreto fresco, asegurando que representen de manera precisa la calidad del material. En el contexto de las cimentaciones profundas, donde la resistencia y la consistencia del concreto son fundamentales, la NTC 454 desempeña un papel esencial en el control de calidad y la supervisión de la construcción. Los profesionales y supervisores deben cumplir estrictamente con los procedimientos detallados en esta norma para garantizar que el concreto utilizado en las pilas de cimentación cumpla con los estándares requeridos, asegurando así la integridad de la estructura.

- Norma Técnica Colombiana NTC 504 (ASTM C 617-87): Ingeniería Civil y Arquitectura. Refrentado de Especímenes Cilíndricos de Concreto

La NTC 504, basada en la norma ASTM C 617-87, desempeña un papel fundamental en la construcción de cimentaciones profundas mediante pilas de cimentación o Caisson en Colombia al establecer los procedimientos para el refrentado de especímenes cilíndricos de concreto. Los especímenes cilíndricos son esenciales para evaluar la resistencia del concreto utilizado en las pilas de cimentación y garantizar que cumple con las especificaciones de diseño.

Esta norma detalla el proceso de preparación, almacenamiento y manejo de especímenes cilíndricos de concreto, que posteriormente se someten a ensayos de resistencia. En el contexto de las cimentaciones profundas, donde la integridad estructural es crítica, la NTC 504 asegura que las pruebas de resistencia del concreto sean representativas y confiables. Los resultados de estos ensayos determinan si el concreto utilizado cumple con los requisitos de resistencia y durabilidad, contribuyendo así a la seguridad y estabilidad de las pilas de cimentación. La estricta adhesión a esta norma es esencial para garantizar la calidad y confiabilidad del concreto utilizado en proyectos de cimentación en Colombia.

- NTC 550 – Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en Obra (ASTM C31)

La NTC 550, basada en la norma internacional ASTM C31, reviste una importancia fundamental en la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson en Colombia, ya que establece los procedimientos adecuados para la elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. En el contexto de los cajones de cimentación, esta norma cobra relevancia al exigir que los especímenes de concreto obtenidos en el sitio de construcción se preparen y curen siguiendo rigurosamente las pautas definidas. Esto garantiza que el concreto empleado en la fabricación de los cajones cumpla con los estándares de calidad necesarios para soportar las cargas y condiciones geotécnicas a las que estará expuesto. Además, la NTC 550 enfatiza la importancia de mantener registros detallados de los procedimientos de elaboración y curado, permitiendo así la trazabilidad y el control de calidad de manera efectiva durante todo el proceso de construcción de cajones de cimentación.

- NTC 673 – Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto (ASTM C39)

La NTC 673, que se basa en la norma internacional ASTM C39, se erige como una pieza clave en la normativa colombiana para la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson. Esta norma establece los procedimientos precisos para llevar a cabo ensayos de resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto, que se obtienen tanto en el laboratorio como en el sitio de construcción. En el contexto de los cajones de cimentación, estos ensayos son fundamentales para verificar la resistencia del concreto utilizado, asegurando que cumpla con los requisitos de diseño y las especificaciones de carga. La NTC 673 establece las condiciones de preparación, carga y evaluación de los especímenes cilíndricos, garantizando la obtención de resultados precisos y confiables que respalden la seguridad y el desempeño de los cajones de cimentación en las obras civiles colombianas. La norma también establece criterios para la aceptación o rechazo de lotes de concreto en función de los resultados de los ensayos, lo que contribuye a mantener la calidad del concreto utilizado en la construcción de cajones de cimentación.

- Resolución 1409 del 23 de julio 2012 - Reglamento de Seguridad para Protección contra Caídas en Trabajo en Alturas (Ministerio del Trabajo, 2012)

En el contexto de la construcción de cimentaciones profundas, específicamente en la implementación de pilas de cimentación o cajones (Caisson), la Resolución 1409 del 23 de julio

de 2012 se erige como un pilar fundamental en el marco normativo colombiano. Esta normativa, emitida por el Ministerio del Trabajo de Colombia, establece el "Reglamento de Seguridad para Protección contra Caídas en Trabajo en Alturas." Aunque su enfoque principal es la seguridad en trabajos en alturas, su aplicabilidad en el ámbito de la construcción de cimentaciones profundas se destaca por su incuestionable relevancia en la prevención de accidentes y garantía de la salud ocupacional en el sector.

La Resolución 1409 exige el cumplimiento de rigurosas normas de seguridad en el trabajo en alturas, lo cual es particularmente aplicable en la construcción de cimentaciones profundas, donde las actividades pueden involucrar operaciones en alturas considerables. Los trabajadores que participan en la excavación, instalación y mantenimiento de pilas de cimentación o cajones están expuestos a riesgos asociados con caídas desde elevaciones significativas. Esta regulación, por tanto, establece los requisitos para la selección y uso de equipos de protección personal, sistemas de anclaje, y procedimientos seguros, todo lo cual es esencial para garantizar la integridad y seguridad de los trabajadores en la ejecución de cimentaciones profundas. Además, la Resolución promueve una cultura de prevención de accidentes y establece responsabilidades claras para empleadores y trabajadores, contribuyendo así a la reducción de accidentes en el sector de la construcción de cimentaciones profundas en Colombia

2.1 Cimentaciones profundas preexcavadas

El proceso de selección del tipo de cimentación en proyectos de ingeniería civil en Colombia está intrínsecamente ligado a diversos factores que influyen en la estabilidad y seguridad de la estructura. Entre estos factores, los más críticos comprenden las características del terreno, la resistencia específica del suelo y la presencia de agua. No obstante, es importante destacar que la clase y disposición de las cargas y sobrecargas ejercidas por la superestructura también desempeñan un papel determinante en este análisis (Echave, 1975).

En la literatura técnica, las cimentaciones se agrupan en dos categorías principales: superficiales y profundas. Las cimentaciones superficiales son apropiadas cuando el suelo natural de fundación exhibe una resistencia adecuada y no requiere excavaciones considerables para alcanzar el estrato de cimentación recomendado por el estudio geotécnico del proyecto. Entre las cimentaciones superficiales más comunes se incluyen las zapatas y las losas de cimentación. Por otro lado, las cimentaciones profundas se utilizan cuando el estrato de cimentación se encuentra a profundidades significativas, lo que implica la implementación de obras de consolidación para mejorar estratos de baja resistencia o la adopción de otros métodos que distribuyan las cargas de la superestructura en el terreno natural de manera efectiva. (Echavez Mercado , 1975)

Dentro de las cimentaciones profundas, se destacan las fundaciones hincadas o pilotes hincados, que pueden ser de diferentes materiales, como madera, acero, concreto o compuestos. Además, se encuentran las fundaciones preexcavadas, que comprenden pilotes preexcavados y pilas. Para la construcción de pilas, existen dos métodos constructivos fundamentales: el hincado

de camisas metálicas y la utilización de lechada o suspensión mineral. Cabe mencionar que las pilas también pueden ser implementadas mediante la utilización de cajones o caissons, lo que amplía las opciones disponibles para adaptarse a las condiciones geotécnicas específicas de cada proyecto (Echavez Mercado , 1975). En consecuencia, la elección adecuada del tipo de cimentación profunda, ya sea mediante pilas, pilotes, o cajones, requiere un análisis geotécnico riguroso y un enfoque personalizado que garantice la seguridad y la estabilidad de las estructuras en el entorno de la construcción civil en Colombia.

2.1.1 Clasificación de pilas preexcavadas

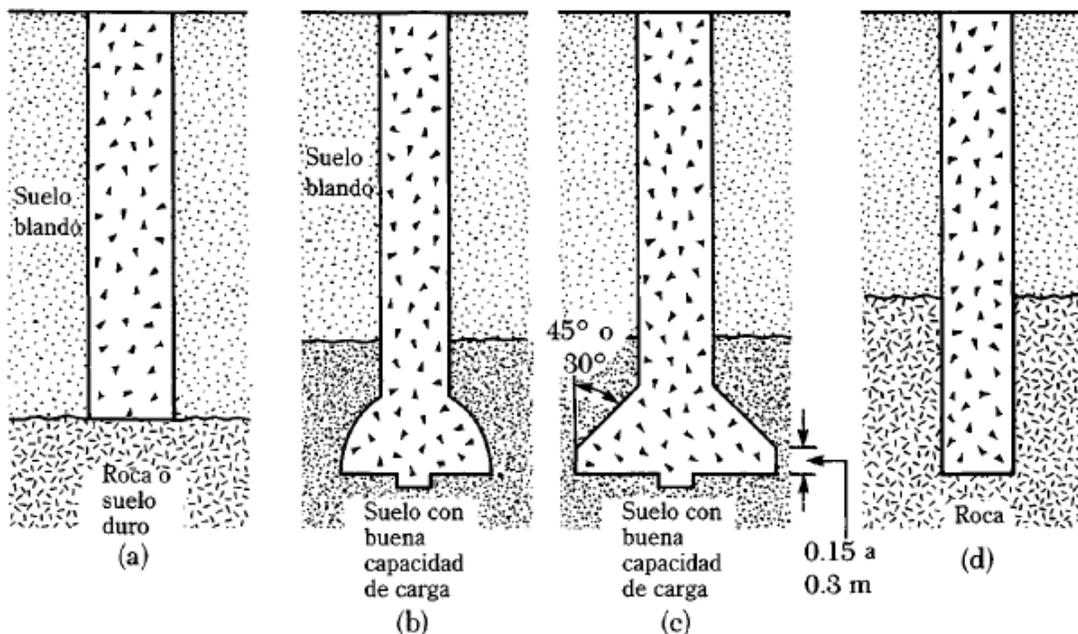
Las cimentaciones profundas, específicamente las pilas de cimentación, se dividen en dos categorías principales según (Cuá Chavez, 2015): pilas preexcavadas y cajones o caissons. Ambos tipos de pilas pueden alcanzar profundidades considerables, siendo los caissons los más comúnmente utilizados en suelos saturados con profundidades que oscilan entre los 15 metros y los 40 metros, y diámetros superiores a 1.20 metros, especialmente cuando se requiere el acceso del personal al interior de la pila.

Pilas Preexcavadas: Dentro de esta categoría, las pilas se pueden clasificar en tres tipos: rectas, acampanadas y en roca (Figura 1). El proceso constructivo generalmente comienza con la perforación inicial, que puede ser realizada de forma manual (aunque con limitaciones en cuanto a la profundidad alcanzada) o mediante maquinaria pesada y equipos de perforación especializados que permiten alcanzar profundidades de hasta 30 metros. El método constructivo más comúnmente utilizado es el colado in situ. Es importante destacar que, en las pilas con base

acampanada, se requiere la instalación de tablestacados para prevenir el colapso de las paredes durante la excavación de las campanas, según lo señalado por (Cuá Chavez, 2015).

Figura 1.

Detalles transversales de los tipos de pilas preexcavadas.



Nota: Pila preexcavada recta (a), acampanada (b y c), en roca (c), tomado de (Das, 2001)

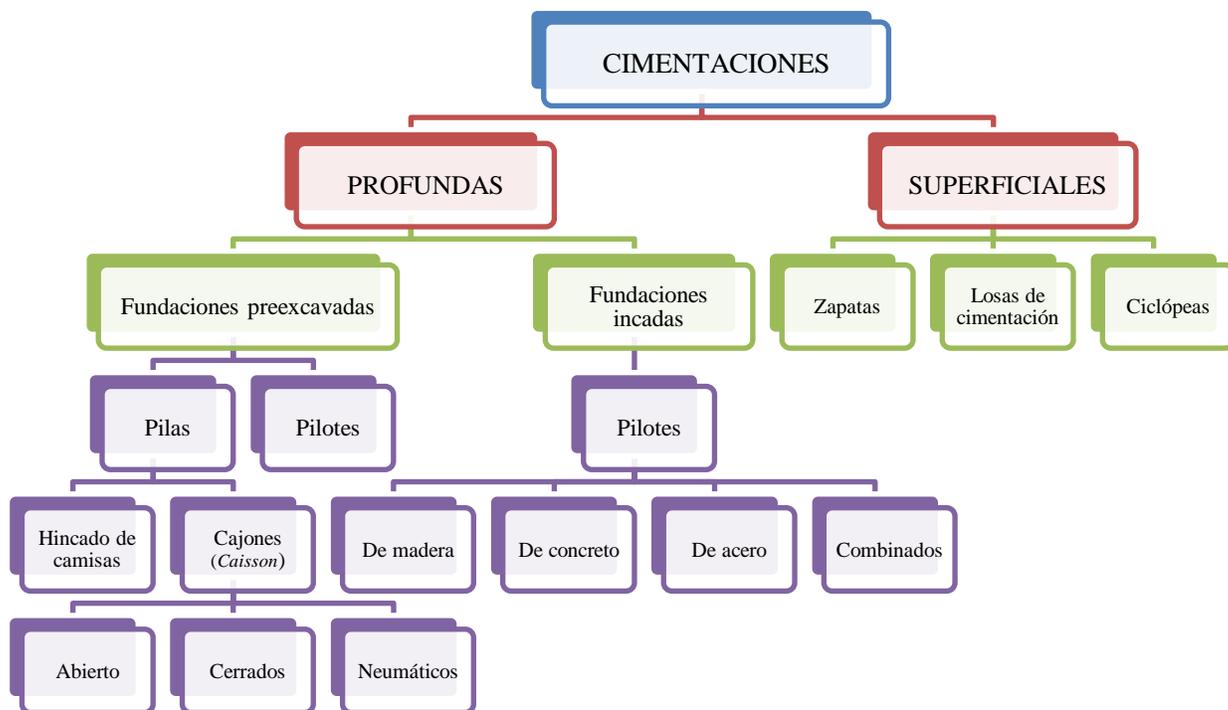
Pilas Tipo Cajón (Caisson): Este tipo de pilas se caracteriza por su forma, tamaño y métodos de construcción específicos, que exigen la utilización de equipos especializados y mano de obra altamente calificada para su ejecución. Las pilas tipo cajón se dividen en tres categorías: abierto, cerrado y neumático. Su construcción implica procesos más complejos y cuidadosos, y se utilizan técnicas de control de presión para mantener el agua y los sedimentos fuera del área de trabajo, garantizando así la seguridad y estabilidad de la pila durante el proceso de construcción (Celis España, 2023).

Este enfoque en la clasificación detallada de las pilas de cimentación, así como en las diferencias clave en los métodos constructivos y las precauciones necesarias para su ejecución, es fundamental para el diseño y la construcción exitosa de cimentaciones profundas, particularmente en el contexto geotécnico y las condiciones específicas de Colombia. La elección entre pilas preexcavadas y pilas tipo cajón depende de factores como la geología del sitio, las cargas estructurales, y la accesibilidad, y requiere una cuidadosa consideración técnica y de seguridad en cada caso.

En tal sentido, los tipos de cimentaciones pueden resumirse en el siguiente cuadro **(Figura 2)**.

Figura 2.

Clasificación de las cimentaciones



Nota. Tomado de (Roper, 2017)

2.1.2 Métodos constructivos

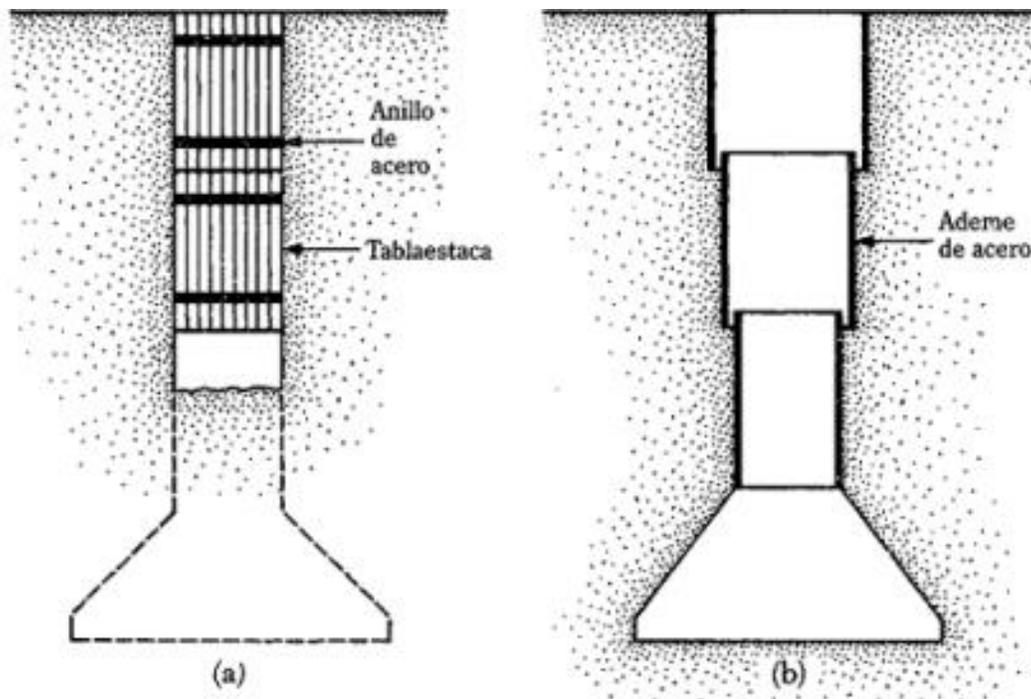
2.1.2.1 Método de Chicago y Método Gow.

Dos métodos tradicionales para la construcción de pilas preexcavadas se destacan: el Método de Chicago y el Método Gow. El Método de Chicago, ampliamente utilizado en el pasado, implica la excavación de pozos con diámetros y profundidades predefinidas. Luego, se instalan encamisados de acero que contienen un tablestacado alrededor de las excavaciones para sostener

el suelo circundante y prevenir derrumbes durante el proceso de excavación. El Método Gow, aunque menos común en la actualidad, implica la perforación manual de pozos con diámetros mínimos de 1.22 metros y profundidades seccionadas de acuerdo con la longitud requerida de la pila. Se utilizan forros metálicos telescópicos que se retraen gradualmente a medida que avanza la excavación. A medida que la longitud requerida de la pila se alcanza, el diámetro disminuye. Con el avance de las tecnologías de perforación y construcción de pilas, estos métodos tradicionales han perdido relevancia, y en la actualidad, las excavaciones manuales se realizan esporádicamente, mientras que se prefieren las perforadoras y martillos de hincas (Cuá Chavez, 2015). (ver **Figura 3**)

Figura 3.

Esquema del método de perforación de Chicago para pilas preexcavadas



Nota. Tomado de (Das, 2001).

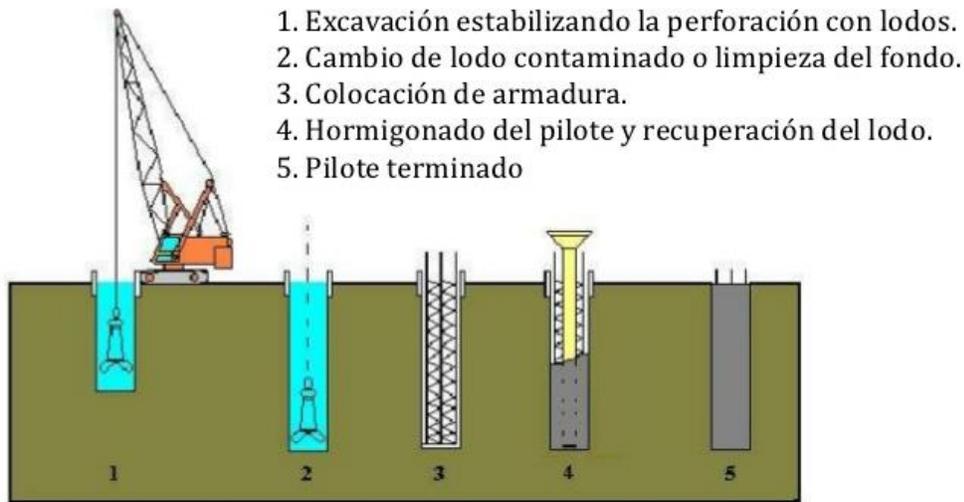
2.1.2.2 Método por Lodos de Perforación

El Método por Lodos de Perforación es una técnica que combina agua y arcillas (comunes o tipo bentonita) para formar un lodo que se agrega a la perforación durante el proceso de excavación. Este lodo tiene como objetivo principal actuar como contención para las paredes del suelo excavado. Es esencial mantener un control riguroso de la densidad, consistencia, viscosidad y tixotropía de los lodos, ya que se comportan como un líquido en movimiento, pero su cohesión aumenta en reposo.

Una vez completada la perforación con lodo, se introduce la armadura de la pila y se bombea el lodo hasta que se desplace por completo, dejando la pila lista para el colado. Este método es particularmente útil en suelos sueltos y propensos al colapso, y es aplicable tanto para pilas coladas in situ como para pilas prefabricadas. La maquinaria utilizada en la excavación es similar a la de la perforación en seco, pero se requiere una bomba succionadora para gestionar los lodos (Cuá Chavez, 2015). (ver Figura 4).

Figura 4.

Proceso de pilotaje con lodo bentonítico



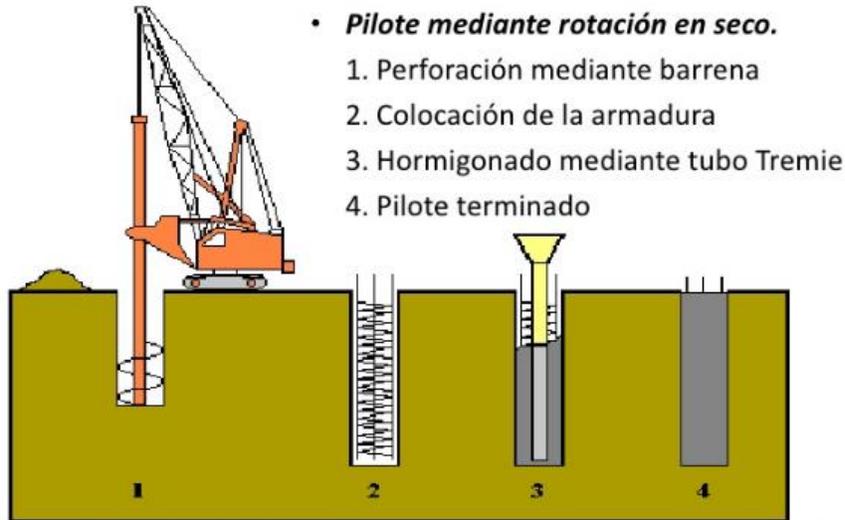
Nota. Tomado de (Mendez Anillo, 2012).

2.1.2.3 Método Constructivo Seco

El Método Constructivo Seco es ampliamente empleado para la instalación de pilas preexcavadas y pilotes colados in situ. Se aplica en regiones áridas o en suelos no saturados, donde el riesgo de derrumbamiento es mínimo. La excavación se lleva a cabo utilizando una barrena helicoidal o una retroexcavadora, según el diámetro y la profundidad requeridos. En algunos casos, la excavación manual también se emplea, aunque su uso ha disminuido con la introducción de maquinaria moderna. Una ventaja significativa de este método es que elimina la necesidad de formularios previos, ya que la propia tierra proporciona la estabilidad necesaria para las paredes de la excavación (Cuá Chavez, 2015). (ver **Figura 5**)

Figura 5.

Proceso de pilotaje mediante rotación en seco.



Nota. Tomado de (Mendez Anillo, 2012).

2.1.2.4 Método Constructivo con Ademe

El Método Constructivo con Ademe implica el uso de sistemas de soporte para las paredes de una excavación, utilizando materiales como madera, tablestacado o elementos metálicos, según la fuerza de empuje ejercida por el suelo y el nivel freático. En general, se utilizan ademes metálicos, aunque en casos donde es necesario crear suficiente espacio para la maquinaria de excavación, se prefiere la madera debido a su menor peso. La elección del material depende de la situación específica del sitio y las condiciones del suelo (Cuá Chavez, 2015). (ver Figura 6)

Figura 6.

Ademe de madera apuntalado en las esquinas.



Nota: Tomado de (Cuá Chavez, 2015).

2.1.2.5 Métodos de Construcción de Caissons

Los Caissons son estructuras de concreto reforzado de gran tamaño que se instalan verticalmente en el suelo de apoyo mediante técnicas apropiadas de hincado. La elección del método de hincado depende de la forma del caisson y es una técnica fundamental para la construcción de cimentaciones profundas de gran envergadura (Cuá, 2015). Estos métodos son vitales para la construcción segura y eficiente de cimentaciones profundas en Colombia, y su selección depende de factores geotécnicos y operativos específicos de cada proyecto.

2.1.3 Maquinaria y Equipo para Excavación en Cimentaciones Profundas

La selección de la maquinaria y el equipo adecuados para la ejecución de cimentaciones profundas, ya sean pilas o caissons, desempeña un papel crucial en el proceso constructivo. En este contexto, se destacan tres máquinas esenciales que se emplean de manera común:

2.1.3.1 Perforadora Rotatoria:

La perforadora rotatoria se posiciona como la maquinaria preeminente para la creación de cimentaciones profundas. Su funcionamiento se basa en la generación de una torsión transmitida a través de una barra, en cuyo extremo se instala una herramienta de avance, generalmente una barrena helicoidal o continua. Esta herramienta rompe el suelo y posteriormente lo extrae del agujero en formación. A lo largo del proceso, las barrenas son retiradas y reinsertadas en la perforación de manera constante hasta alcanzar la profundidad requerida (Cuá, 2015). (ver Figura 7).

Figura 7.

Tipos de barrenas para perforación



Nota. Barrenas helicoidales (a), botes para perforación (b), tubos metálicos para pilas encamisadas (c y d).

Sin embargo, en el caso de los caissons, es importante subrayar que la barrena no se emplea para la inyección de materiales de construcción, sino que su función principal radica en la excavación alrededor de áreas de difícil acceso, en las que no resulta viable la intervención de una excavadora convencional debido a la profundidad involucrada (Cuá, 2015).

2.1.3.2 Perforadora de Percusión:

La perforadora de percusión se caracteriza por llevar a cabo la perforación mediante un movimiento alternante de ascenso y descenso de una masa pesada con un extremo rematado en un trépano. Este último impacta la roca con el propósito de fragmentarla, mientras una herramienta de limpieza se encarga de retirar el material fragmentado. La perforación de percusión encuentra su aplicación principal en suelos con una alta concentración de roca. En algunos casos, se combina con máquinas rotatorias, generando sistemas híbridos que aprovechan las ventajas de ambas tecnologías (Cuá, 2015). (Ver Figura 8)

Figura 8.

Maquinaria perforadora de percusión montada en un camión.



Nota. Tomado de (Cuá Chavez, 2015).

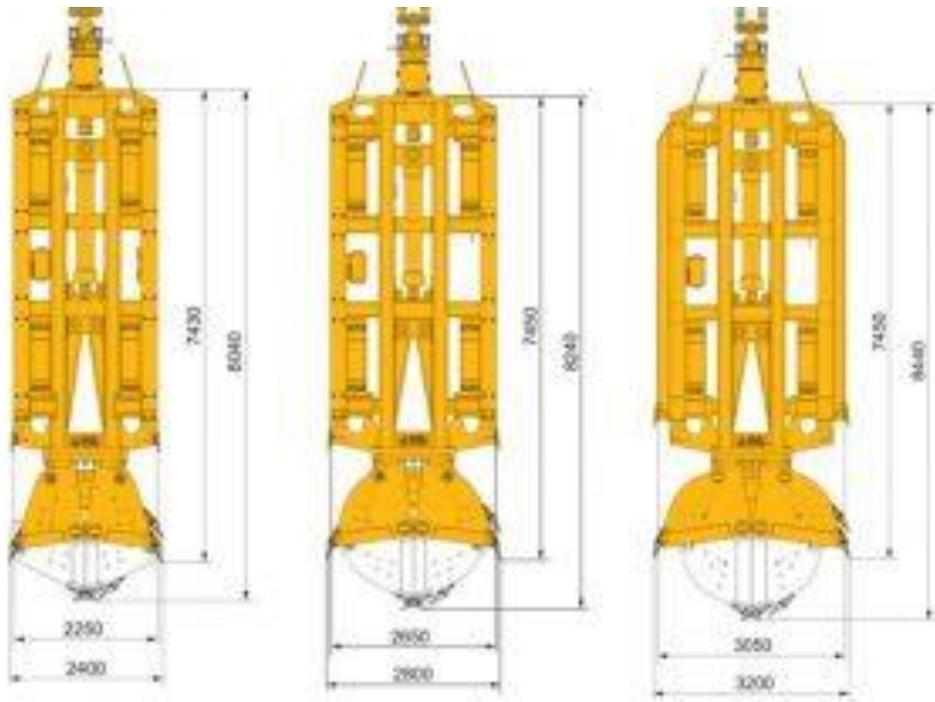
El procedimiento de perforación de percusión, a pesar de su economía y la posibilidad de obtener una verticalidad casi perfecta, implica un avance considerablemente más lento en comparación con otros métodos de perforación. Requiere, además, la intervención de personal altamente calificado para su correcta operación (Cuá, 2015).

2.1.3.3 Cuchara Bivalva:

La cuchara bivalva es una herramienta montada sobre grúas, tanto móviles como estacionarias. Su propósito principal es penetrar el suelo en caída libre y, una vez dentro, cerrarse herméticamente para extraer el suelo atrapado entre sus valvas. Este equipo se emplea principalmente en la excavación y remoción eficiente de grandes volúmenes de material suelto, lo que resulta invaluable en la construcción de pilas de gran diámetro, el vaciado de material restante en el centro de caissons abiertos o en excavaciones subacuáticas (Cuá, 2015). (ver Figura 9).

Figura 9.

Cuchara Bivalva.



Nota. Tomado de (Marote, 2018).

2.1.3.4 Maquinaria de Montaje

En el proceso de excavación de pilas, la maquinaria de montaje desempeña un papel crucial, siendo las grúas las máquinas de elección más frecuente. Estas estructuras de gran envergadura se utilizan para el izado de cargas pesadas y su traslado a ubicaciones específicas, como la disposición de armaduras para pilas o elementos prefabricados. Las grúas se pueden adaptar para incorporar otras herramientas, como cucharas bivalvas o perforadoras de impacto, según sea necesario para el proyecto en cuestión. Estas máquinas de montaje se clasifican según su capacidad de traslación en estacionarias y móviles, o bien en función del tipo de pluma, dividiéndose en pluma fija o pluma retráctil (Cuá, 2015).

El adecuado despliegue y utilización de esta maquinaria de montaje resulta esencial en la ejecución de obras de cimentaciones profundas en Colombia, garantizando la precisión y eficiencia en el proceso constructivo.

2.1.4 Método constructivo Caisson

El método constructivo conocido como "caisson" desempeña un papel esencial en la construcción de cimentaciones profundas en Colombia. En su esencia, los caissons cumplen una función similar a la de los pilotes: transmiten las cargas permanentes y transitorias de las estructuras a través de suelos compresivos débiles, estratos de relleno o suelos rígidos, e incluso roca a profundidades considerables. Esta acción se traduce en la prevención de asentamientos excesivos, desplazamientos horizontales o rotaciones no deseadas en las estructuras soportadas por los caissons. Sin embargo, es importante mencionar que los caissons pueden resultar inadecuados en terrenos con una alta presencia de cantos rodados, lo cual complica su proceso de hundimiento. A pesar de esta consideración, se han documentado casos en los que cajones de celda única se han hundido con éxito a través de densas capas de roca, alcanzando profundidades de hasta 10 metros (The South African National Roads Agency Limited [SANRAL], 2017).

Existen diversas variantes en la construcción de caissons, cada una con sus propias características y aplicaciones específicas. Los caissons abiertos, por ejemplo, pueden tener forma circular, rectangular u ovalada y constar de uno o varios pozos conectados entre sí. Su característica distintiva es que permanecen abiertos en la parte superior e inferior durante su construcción. Estos caissons son apropiados para cimentaciones en áreas donde el suelo

predominante está compuesto por arcillas blandas, limos, arena o gravas, ya que estos materiales permiten una excavación relativamente sencilla a través de pozos abiertos. Durante la construcción de caissons abiertos, es común la adición de un borde cortante en la parte inferior para facilitar el proceso de moldeado y posterior colocado del caisson.

Estos caissons se entierran en su posición final hasta alcanzar el estrato de apoyo, momento en el que el material excavado se extrae, y se vierte concreto hasta el fondo para formar un sello que impide el paso de más material. En la secuencia de construcción, se elimina el agua concentrada dentro del caisson, y finalmente se llena con concreto. La elección del peso de los caissons es crítica, ya que debe ser suficiente para contrarrestar la fricción lateral contra la estructura. En algunos casos, se requiere añadir cargas o contrapesos adicionales (Cuá, 2015).

Por otro lado, los caissons cerrados difieren de los abiertos en que tienen el fondo sellado. Estos caissons se fabrican en instalaciones externas y luego se trasladan al lugar de colocación. La forma en que se sitúan en su ubicación final es relleno del interior con arena, balasto o concreto, permitiendo que sean bajados en posición nivelada hasta el estrato portante. Cuando se construyen caissons de dimensiones considerables, superiores a los 30 metros de longitud, se utilizan celdas para reducir las presiones hidrostáticas, lo cual facilita las operaciones de hundimiento y contribuye a mantener la alineación vertical. Los caissons cerrados se recomiendan en áreas como puertos, muelles o bajo construcciones con suelos de baja capacidad portante, donde la alternativa de pilotes hincados puede no ser adecuada debido a las vibraciones generadas durante el hundimiento o a la profundidad excesiva del estrato firme (Veneros & Alva, 2011).

Finalmente, los caissons neumáticos se emplean cuando es imposible realizar excavaciones tradicionales a profundidades que oscilan entre 15 y 40 metros, ya que el material aflora en el interior del caisson y su retiro resultaría sumamente costoso. La construcción de caissons neumáticos exige la presencia de un obturador de aire, una cámara de trabajo ubicada a una altura mínima de 3 metros, una cámara de descompresión, un medio para que los trabajadores alcancen la cámara de trabajo, ductos independientes para remover el material excavado y dos fuentes de energía disponibles para mantener una presión de aire constante. La presión interna del caisson debe ser suficientemente alta para evitar la entrada de agua en la cámara, y la profundidad máxima de trabajo suele limitarse a 40 metros, dado que trabajar a presiones superiores a 3.5 kN/m^2 no es recomendable.

La construcción de caissons neumáticos sigue un proceso similar al de los caissons abiertos, con la aplicación de un sello de concreto en el estrato de soporte una vez alcanzado. A pesar de las recomendaciones, en algunos lugares del mundo se han construido caissons abiertos a profundidades de 50 metros o más, dependiendo de las condiciones del suelo, mientras que en otros lugares se han construido caissons neumáticos a profundidades superiores a los 100 metros (SANRAL, 2017).

En resumen, el uso de caissons en la construcción de cimentaciones profundas en Colombia representa una estrategia fundamental para garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras. Los diferentes tipos de caissons ofrecen soluciones adaptables a diversas

condiciones geotécnicas y de construcción, pero es vital tener en cuenta factores como la calidad del concreto, el alineamiento vertical y la presión de aire.

2.2 Norma Colombiana de diseño de puente CCP14

La Norma Colombiana CCP14 desempeña un papel fundamental en la construcción y supervisión de cajones de cimentación o caisson en el contexto de puentes viales. Aunque la norma se centra principalmente en el diseño, evaluación y rehabilitación de puentes, su alcance puede extenderse a elementos relacionados, como las cimentaciones profundas utilizadas en estos proyectos. A continuación, se explora la influencia de la norma CCP14 en la construcción y supervisión de cajones de cimentación:

Requisitos Mínimos de Seguridad: La norma CCP14 establece los requisitos mínimos necesarios para garantizar la seguridad pública en puentes viales. Esto se traduce en la necesidad de que las cimentaciones profundas, como los caissons, cumplan con estándares rigurosos de diseño y construcción que garanticen la estabilidad de la estructura. Los supervisores y constructores deben estar al tanto de estos requisitos y asegurarse de que se cumplan en todo momento (Instituto Nacional de Vías, 2012) .

Enfoque en la Redundancia y Ductilidad: La norma enfatiza conceptos de seguridad como la redundancia y ductilidad. Esto tiene un impacto directo en la construcción de cajones de cimentación, ya que se deben considerar estrategias de diseño que permitan la resistencia estructural en caso de fallas potenciales. Los supervisores deben estar familiarizados con estos

conceptos y asegurarse de que se integren en la construcción de los caissons (Instituto Nacional de Vías, 2012).

Diseño con Factores de Carga y Resistencia (LRFD): La norma CCP14 adopta el Método de Diseño con Factores de Carga y Resistencia (LRFD), lo que significa que se basa en factores de mayoración de cargas y reducción de resistencia. Este enfoque proporciona un marco sólido para el diseño de cajones de cimentación, ya que se basa en la teoría de la confiabilidad estructural y el conocimiento estadístico de cargas y desempeño estructural. Los supervisores deben seguir estas directrices al construir caissons para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura (Instituto Nacional de Vías, 2012).

Diseño Sísmico: La norma CCP14 también aborda el diseño sísmico, y los caissons utilizados en puentes deben cumplir con estas disposiciones. Esto implica considerar las cargas sísmicas y garantizar que los caissons sean capaces de resistir las fuerzas generadas por eventos sísmicos. Los supervisores deben estar capacitados en las disposiciones de diseño sísmico de la norma y aplicarlas en la construcción de cajones de cimentación.

Según la Norma Colombiana CCP14, un caisson se define como una unidad de cimentación profunda que puede estar total o parcialmente empotrada en el suelo. La construcción de un caisson implica la colocación de concreto fresco en un agujero perforado, y este proceso puede o no incluir el uso de acero de refuerzo. La capacidad de un caisson se deriva de las propiedades del suelo circundante y, en algunos casos, de los estratos de roca que se encuentran bajo su punta. Estos elementos estructurales también son conocidos comúnmente por

otros nombres, como cajones de cimentación, cajones de cimentación perforados, pilotes enterrados o pilas perforadas.

En esencia, un caisson es una estructura fundamental en proyectos de cimentación profunda que se utiliza para proporcionar soporte y estabilidad a las estructuras, como puentes viales, donde es esencial garantizar la resistencia y la capacidad de carga. La construcción de un caisson implica la excavación de un agujero en el suelo y la posterior inyección de concreto fresco en este espacio, lo que fortalece la estructura y la ancla en su lugar. La presencia o no de acero de refuerzo depende de las condiciones y requerimientos específicos del proyecto.

El término "caisson" es ampliamente aceptado en la ingeniería civil y se utiliza para describir este tipo de unidad de cimentación profunda, que desempeña un papel crucial en la estabilidad y seguridad de las estructuras de ingeniería. La Norma Colombiana CCP14 proporciona una definición precisa de los caissons y establece los criterios necesarios para su diseño y construcción, lo que contribuye a la seguridad y eficacia en proyectos de ingeniería civil en Colombia.

El numeral 10.8.3.7.2 de la Norma Colombiana CCP14 del INVIAS aborda la resistencia de un pilote perforado individual, específicamente en el contexto de la resistencia a la elevación de un caisson de lados rectos. Este numeral establece las pautas para calcular la resistencia a la elevación de un caisson que ha sido hincado o perforado en el suelo y se encuentra en posición vertical. En este caso, la resistencia a la elevación se refiere a la capacidad del caisson para

mantenerse en su lugar y resistir las fuerzas que intentan levantarlo de la tierra, lo que es especialmente importante en la cimentación de estructuras (Instituto Nacional de Vías, 2012).

El numeral menciona que la forma de calcular esta resistencia se asemeja al proceso utilizado para determinar la resistencia lateral de los caissons en compresión, como se especifica en el artículo 10.8.3.3 de la norma. Esto significa que se deben aplicar métodos de diseño y cálculo estructural para evaluar la capacidad del caisson para resistir fuerzas verticales ascendentes.

En particular, el numeral hace referencia a situaciones en las que un caisson puede tener una parte superior más ancha, conocida como "campana". En tales casos, se menciona que, de manera conservadora, se debe despreciar la resistencia lateral por encima de la campana al calcular la resistencia a la elevación del caisson. En otras palabras, al evaluar si el caisson puede soportar fuerzas que intentan levantarlo, se supone que la campana se comporta como un ancla, lo que proporciona una evaluación más segura de la capacidad de resistencia del caisson.

2.3 Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

El Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) es una herramienta esencial para el diseño geotécnico de cimentaciones que se aplican a la infraestructura vial en Colombia. Su influencia en la construcción y supervisión de cajones de cimentaciones o caissons es significativa, ya que

proporciona pautas y criterios técnicos para garantizar la seguridad, economía y eficacia en estos proyectos. (Instituto Nacional de Vías, 2012).

Este manual es especialmente valioso para profesionales de firmas consultoras, constructoras y funcionarios del INVIAS que se dedican al diseño geotécnico de proyectos viales, como carreteras y puentes. Su objetivo principal es brindar uniformidad en las prácticas de diseño geotécnico, lo que es esencial para asegurar que las cimentaciones sean seguras y eficientes. A través de este manual, se establecen una serie de elementos requeridos en el diseño geotécnico de proyectos de carreteras, y se promueve la seguridad en todas las fases del proyecto (Instituto Nacional de Vías, 2012).

El uso de cajones de cimentación o caissons en el contexto de puentes es un aspecto importante que aborda el manual en su numeral 2.4.1. Este numeral establece que para el diseño de fundaciones que soportan pilas o estribos de puentes, se deben aplicar todas las condiciones de carga de los estados límite. Esto significa que se consideran factores clave como la resistencia última, cargas sísmicas, impactos de embarcaciones y vehículos, y deformaciones excesivas.

El manual proporciona directrices sobre cómo abordar la resistencia y seguridad de las cimentaciones de puentes, incluyendo la evaluación de cajones de cimentación como opción. Estas pautas son fundamentales para garantizar que las fundaciones de puentes sean lo suficientemente resistentes y seguras para soportar las diversas condiciones a las que se enfrentan, como cargas sísmicas y de impacto (Instituto Nacional de Vías, 2012).

En resumen, el Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras del INVIAS ejerce una influencia esencial en la construcción y supervisión de cajones de cimentaciones o caissons, ya que proporciona directrices específicas para garantizar la seguridad y eficiencia en proyectos viales, incluyendo puentes. Esto contribuye a que las cimentaciones sean adecuadas para resistir las condiciones más exigentes y cumplan con los estándares de diseño geotécnico en Colombia. (Instituto Nacional de Vías, 2012).

Capítulo 3. Procedimientos Seguros en Espacios Confinados para Excavaciones en la ejecución de obras de cimentaciones tipo Caissons

La construcción en Colombia se considera de las actividades más significativas para que el país crezca en términos de desarrollo, empleando un gran número de trabajadores. No obstante, esta labor conlleva una serie de riesgos significativos para la salud y seguridad de los empleadores. Cuando se enfoca el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), se requiere hablar sobre el avance hacia la meta de cero accidentes mortales y lesiones graves. Para lograr este objetivo, es crucial la implementación de procedimientos seguros para el trabajo en excavaciones, incluyendo la construcción de caissons. Estos procedimientos deben incorporar un sistema de listas de chequeo y permisos que regulen todas las actividades que implican riesgos asociados con las excavaciones.

La correcta difusión y el estricto cumplimiento de estos procedimientos resultan fundamentales para la reducción tanto de la gravedad de las lesiones como de la frecuencia de los accidentes en el entorno laboral. Además, el impacto del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) se manifiesta en la apropiada utilización de requerimientos de trabajo seguro y los listados de verificación, las cuales se convierten en herramientas altamente efectivas para mejorar la comunicación en los aspectos relacionados con la seguridad, la calidad y la ejecución de las tareas.

Las actividades esenciales en la construcción de caissons se centran en las tareas de excavación. Estas operaciones abarcan desde la preparación del terreno hasta la instalación de cimentaciones y redes, y conllevan riesgos potenciales de accidentes graves y lesiones severas. Estos riesgos comprenden situaciones como atrapamientos, impactos materiales o personas, caídas en excavaciones, deslizamientos de taludes y otros incidentes asociados a trabajos en áreas de poca accesibilidad. Por lo tanto, resulta crítico desarrollar procedimientos seguros que permitan un control efectivo de estas actividades.

La ineludible presencia de estas tareas impone la obligación y la necesidad de una preparación adecuada para abordar exitosamente los posibles casos de emergencia que surjan en las obras. El objetivo principal es proporcionar directrices y criterios que permitan a las empresas diseñar y gestionar de manera proactiva procedimientos de trabajo seguros en excavaciones. Estos procedimientos se convierten en herramientas efectivas para prevenir accidentes y garantizar la seguridad de los empleados en el entorno del área de la construcción, contribuyendo así a la consecución de los objetivos de cero accidentes mortales y lesiones graves en el área de la construcción de cajones de cimentación y otras actividades relacionadas.

3.1 Marco Normativo

El procedimiento de trabajo seguro en espacios de poca accesibilidad o confinados para excavaciones relacionadas con la construcción de Caissons ha ganado una importancia significativa en Colombia, particularmente desde la promulgación de la Resolución 0491 de 2020, que estableció directrices específicas para estas tareas. Antes de la existencia de esta

regulación, no había un marco normativo específico para estos trabajos, lo que requería que los trabajadores y empleadores siguieran precauciones. A pesar de que los riesgos asociados a los espacios confinados son constantes debido a las condiciones desafiantes en las que se desarrollan, las estadísticas de accidentes son relativamente bajas, pero su gravedad puede ser extrema. En los Norteamérica, se calcula que aproximadamente de 2.1 millones de empleados ingresan anualmente a espacios confinados. No obstante, es fundamental resaltar que aproximadamente el 60% de los decesos relacionados en estos tipos de labores que afectan a los trabajadores de primeros auxilios, lo que subraya la importancia de establecer procedimientos de trabajo seguros para minimizar los riesgos. (Occupational Health & Safety-OH&S, 2018).

El Instituto Nacional de Estados Unidos enfocado a la Salud Ocupacional (NIOSH) ha destacado que la mayoría de las víctimas en incidentes relacionados con espacios confinados son precisamente rescatistas. En un estudio de NIOSH, se identificó que las causales más comunes de muerte en estos espacios se encuentran los accidentes atmosféricos y los relacionados con materiales sueltos. A pesar de que los incidentes en espacios confinados no son de alta frecuencia, como en cualquier labor, es fundamental implementar medidas preventivas y seguir pautas específicas. En este sentido, recae principalmente en los empleadores la responsabilidad y crear procedimientos adecuados para sus condiciones y lugares de trabajo, con la finalidad de mantener la seguridad y protección de la salud de los trabajadores.

La Resolución 0491 de 2020 establece los criterios y la organización necesarios para administrar áreas confinadas. Esta normativa requiere la instauración de un sistema de administración en los entornos laborales con el fin de evitar accidentes y afecciones

ocupacionales, además de aplicar medidas de salvaguardia y prevención. El plan debe incluir componentes cruciales como una meta general, la extensión del plan, un marco teórico y legal, la definición de roles y deberes, la evaluación de peligros, la apreciación de riesgos, la identificación de la ubicación de las áreas confinadas y la especificación de medidas concretas de salvaguardia y prevención. (Ministerio del trabajo, 2020).

La comparación entre la Norma Internacional OSHA 29 (CFR 1910.146) y la Resolución 0491 de 2020 revela similitudes notables en la definición de espacios confinados y en la importancia de instruir a los trabajadores sobre los riesgos y precauciones asociadas, incluyendo la utilización de equipo de protección personal y de emergencia. Mientras que la OSHA clasifica estos espacios en diversas categorías, como calderas, tuberías, tanques, registros de acceso, trincheras y excavaciones, la Resolución 0491 de 2020 de Colombia clasifica los espacios de poca accesibilidad o confinados en dos tipos principales: tipo 1 y tipo 2, basándose en sus características específicas (Ministerio del Trabajo, 2020). En conjunto, estas regulaciones y estándares proporcionan un marco sólido y esencial para garantizar la seguridad en zonas de trabajo confinado.

A continuación, se proporciona un análisis exhaustivo de las leyes y reglamentos asociados al procedimiento de trabajo Seguro, junto con el equipamiento para las labores en zonas de la construcción de Caissons en Colombia:

- Resolución 2400 de 22 de mayo de 1979:

Descripción: Esta resolución, fue establecida en Colombia por el ministerio de trabajo del país, establece disposiciones relacionadas con higiene, seguridad y vivienda en los establecimientos de trabajo. Aunque no se centra específicamente en espacios confinados, proporciona una base normativa para la seguridad laboral en general, lo que es esencial en el contexto de la construcción de Caissons.

- Resolución 1409 de 23 de julio de 2012:

Descripción: La Resolución 1409, emitida por el Ministerio de Trabajo de Colombia, define la norma de Seguridad enfocada en la prevención de caídas en trabajos en alturas. Aunque su enfoque primordial está en la seguridad de trabajos en alturas, esta regulación posee relevancia en actividades que implican espacios confinados en la construcción de Caissons, dado que establece requisitos específicos para proteger a los trabajadores en situaciones de elevación y en lugares de difícil acceso.

- Resolución 3368 de 12 de agosto de 2014:

Descripción: Esta norma cambia de manera parcial la Resolución 1409 de 2012 y establece recomendaciones adicionales relacionadas con la seguridad laboral. Su importancia radica en la actualización y mejora de las regulaciones existentes, lo que garantiza que las prácticas de seguridad en la construcción de Caissons estén alineadas con los estándares más recientes.

- Resolución 0491 de 24 de febrero de 2020:

Descripción: La Resolución 0491 define los requisitos de seguridad esenciales para la ejecución de labores en áreas confinadas. Esta regulación adquiere un rol crítico en el ámbito de la construcción de Caissons, ya que supervisa las operaciones en espacios cerrados, asegurando la protección de los trabajadores que puedan participar en actividades de inspección, mantenimiento o construcción en dichos entornos.

- Resolución 2605 de 30 de noviembre de 2020:

Descripción: La presente resolución tiene como finalidad la corrección de errores tipográficos y la modificación de ciertos artículos previamente establecidos en la Resolución 0491 de 2020, la cual define los requisitos mínimos de seguridad aplicables a labores en espacios confinados. Estas modificaciones buscan proporcionar una mayor claridad y precisión en las regulaciones existentes, lo que, a su vez, contribuirá a una aplicación más efectiva de las normas de seguridad en el contexto de la construcción de Caissons.

- Resolución 1409 de 2012 (Reiterada):

Descripción: La presente resolución se centra en establecer los requisitos de seguridad mínimos que deben cumplirse en la ejecución de actividades en alturas. Aunque su enfoque

principal gira en torno a la seguridad en trabajos en alturas, su aplicabilidad es de gran relevancia en el contexto de la construcción de Caissons, dado que la seguridad en alturas desempeña un papel crucial en la realización exitosa de estas estructuras.

- OSHA 29 CFR 1910.146: Permit-Required Confined Spaces:

Descripción: La normativa 29 CFR 1910.146 de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) de los Estados Unidos se enfoca en establecer los procedimientos y condiciones fundamentales para llevar a cabo trabajos en espacios confinados que requieran autorización. A pesar de no ser una regulación específica de Colombia, se hace referencia a esta normativa debido a su importancia en el ámbito de la seguridad en espacios confinados. Esta normativa establece requisitos detallados para la entrada y ejecución de labores en espacios confinados, lo cual resulta de vital importancia para garantizar la seguridad de los trabajadores en la construcción de cajones de cimentación en Colombia.

- Regulaciones OSHA – 1926.650 Definición:

Descripción: Esta normativa de la OSHA (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional) de los Estados Unidos proporciona definiciones esenciales relacionadas con la seguridad en excavaciones y espacios confinados. Estas definiciones abarcan términos y conceptos fundamentales que son críticos para garantizar el cumplimiento de las regulaciones de seguridad en el entorno laboral.

- Regulaciones OSHA - 1926.651 Seguridad en Excavación:

Descripción: La regulación 1926.651 de la OSHA se centra en la seguridad en excavaciones, incluyendo aquellas relacionadas con cimentaciones profundas tipo Caisson. Proporciona pautas detalladas para prevenir accidentes y lesiones en áreas de excavación.

- Regulaciones OSHA – 1926.652 Protección a los Trabajadores:

Descripción: Esta regulación complementa la 1926.651 y se centra específicamente en la protección de los empleados en excavaciones y espacios confinados, como los que se encuentran en la construcción de Caissons. Establece directrices para la implementación de sistemas de apoyo, protección contra derrumbes y otras medidas de seguridad.

- Norma OSHA – CPL 2.87:

Descripción: La Compliance Policy Letter 2.87 de la OSHA es una guía que proporciona a los inspectores y empleadores información sobre cómo se aplicarán y cumplirán las regulaciones de seguridad en el lugar de trabajo, incluyendo las relacionadas con excavaciones y espacios confinados.

- Norma OSHA – CPL 2.45B:

Descripción: La Compliance Policy Letter 2.45B es otra guía de la OSHA que se centra en la aplicación de las regulaciones de seguridad en el lugar de trabajo, incluyendo aquellas relacionadas con cimentaciones profundas y espacios confinados. Ofrece directrices para que se cumplan las normas de seguridad.

- Norma OSHA -. STD 3-14.1:

Descripción: Esta norma de la OSHA, conocida como "Standard 3-14.1," se refiere a las operaciones de zanjas y excavaciones. Proporciona orientación específica sobre la construcción segura de espacios confinados, incluyendo aspectos de estabilidad del suelo y sistemas de apoyo.

- OSHA 192.650:

Descripción: Esta regulación de la OSHA se centra en la seguridad en el trabajo en zanjas y excavaciones, aplicable a la construcción de Caissons. Define requisitos para la protección contra derrumbes, incluyendo la distancia de desprendimiento de tierra y las prácticas de diseño seguro de excavaciones.

- OSHA 32:

Descripción: En general, "OSHA 32" se refiere a las regulaciones de la OSHA relacionadas con la industria en Estados Unidos de la construcción, incluyendo la seguridad en excavaciones y espacios confinados.

- NTP 278 Zanjas: prevención del desprendimiento de tierras:

Descripción: La NTP 278 es una Norma Técnica Peruana que se enfoca en la prevención del desprendimiento de tierras en zanjas. Aunque no es una norma de la OSHA, puede ser relevante en Colombia para la seguridad en excavaciones, especialmente en el contexto de la ejecución de Caissons.

3.2 Definiciones

3.2.1 Aire Respirable

El aire respirable, también conocido como aire que cumple con estrictos estándares de calidad, es esencial para garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores que participan en diversas actividades. Para que el aire se considere respirable, es necesario que su composición se encuentre dentro de ciertos rangos específicos. En concreto, esto implica que el aire debe contener entre un 19.5% y un 23.5% de oxígeno en volumen. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.2 Aislamiento del Espacio Confinado

Dentro del ámbito de la construcción de cimentaciones profundas a través de Caissons, el concepto de "aislamiento de espacios confinados" se refiere a la estrategia utilizada para garantizar la total protección de los trabajadores contra cualquier liberación de energía o

materiales que pudieran exponerlos a riesgos físicos. Este proceso implica la implementación de barreras físicas que previenen el acceso a fuentes de energía reales o potenciales que puedan representar un peligro en el espacio confinado. El aislamiento se considera una medida fundamental para prevenir accidentes y lesiones durante las labores en espacios confinados, asegurando la seguridad de los trabajadores mientras desempeñan sus funciones (García & Realpe, 2014).

3.2.3 Ajuste de Sensores:

Ajustar los sensores constituye una fase de vital importancia en la operación de instrumentos de medición de gases empleados en espacios confinados durante la construcción de Caissons en Colombia. Esta etapa implica la calibración y la configuración de los sensores con el fin de asegurar que conserven la capacidad de brindar mediciones fiables y con exactitud y de presentar de manera precisa los datos relativos a la concentración de gases presentes en el ambiente. El enfoque principal se centra en garantizar mediciones confiables y precisas, lo cual desempeña un papel crítico en la evaluación y la reducción de los riesgos vinculados a la exposición a sustancias peligrosas en espacios confinados. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.4 Análisis de Peligros por Actividad (APA):

El Procedimiento de Evaluación de Riesgos en Actividades constituye un componente crítico en la seguridad de la construcción de Caissons en Colombia. Este procedimiento detallado requiere la identificación exhaustiva de peligros asociados con actividades específicas, el análisis de las potenciales consecuencias negativas y la implementación de medidas preventivas para

mitigar riesgos. Se realiza antes de comenzar cualquier tarea, fortaleciendo la gestión de riesgos y la evaluación de peligros en cumplimiento con las disposiciones del Artículo 2.2.4.6.15 del Decreto 1072 de 2015. Esta práctica asegura tanto la protección de los empleados como la integridad estructural en áreas de trabajo restringidas. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.5 Apertura de Línea:

La apertura de línea es un proceso deliberado que involucra la desconexión de una tubería o conducto utilizado para transportar sustancias peligrosas, como productos tóxicos, inflamables o corrosivos, así como gases o líquidos a altas presiones o temperaturas que podrían representar un riesgo para la seguridad. Este procedimiento se lleva a cabo con el propósito de desenergizar posibles fuentes de peligro, preparando así el espacio confinado de manera segura para las actividades relacionadas con la construcción de Caissons en Colombia. La apertura de línea desempeña un papel fundamental al asegurar que los espacios confinados estén libres de riesgos y cumplan con los requisitos de seguridad necesarios. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.6 Área Clasificada:

Las zonas clasificadas se identifican como emplazamientos concretos dentro de entornos industriales donde se presenta un peligro potencial de ignición o detonación, atribuido a la acumulación de materiales combustibles tales como gases, partículas en suspensión o fibras. Es crucial destacar que el término "áreas" se refiere a zonas tridimensionales que abarcan los límites en los cuales un material inflamable podría mantener su explosividad tras su interacción con el

entorno. Estas áreas demandan una atención especial y medidas de seguridad adicionales para prevenir incidentes relacionados con fuego o explosiones durante la construcción de cajones de cimentación en Colombia. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.7 Atmósfera Aceptable:

Definición: Una atmósfera aceptable se refiere a un entorno en el cual no se encuentran sustancias que superen los niveles permitidos de exposición. En este tipo de atmósfera, los niveles de oxígeno se mantienen dentro de un rango seguro, que varía entre el 19.5% y el 23.5%, y no caen por debajo del 10% del Límite Inferior de Explosividad (LIE). Este ambiente es de vital importancia para asegurar la seguridad de los trabajadores que desempeñan labores en espacios confinados durante la construcción de Caissons en Colombia. (Adaptado de Universidad Industrial de Santander, 2012).

3.2.8 Atmósfera deficiente o enriquecida de oxígeno

Esta definición se refiere a la composición del aire presente en un espacio confinado. Una atmósfera deficiente de oxígeno es aquella en la que la cantidad de oxígeno presente en el aire es menor al 19.5% en volumen, lo que puede ser peligroso para la salud de los trabajadores. Por otro lado, una atmósfera enriquecida de oxígeno se caracteriza por tener una concentración de oxígeno por encima del 23.5% en volumen. Ambas situaciones requieren precauciones y equipos de monitoreo para garantizar la seguridad de los trabajadores. (Contreras & Nuñez, 2022)

3.2.9 Atmósferas explosivas

Esta definición se aplica en situaciones que involucran la presencia de una combinación potencialmente explosiva de sustancias inflamables y el aire dentro de un espacio confinado. Estas sustancias pueden manifestarse en forma de gases, vapores, nieblas o polvos. Un entorno se considera peligroso por atmósfera explosiva cuando la concentración de la sustancia inflamable supera el 10% del límite inferior de inflamabilidad (LEL). Cuando se introduce una fuente de ignición, esta mezcla tiene el potencial de provocar una explosión. Para prevenir situaciones explosivas, es fundamental la utilización de equipos de detección y la implementación de medidas preventivas adecuadas (Arias Chica, 2019).

3.2.10 Atmósfera inerte

Una atmósfera inerte se caracteriza por la ausencia de oxígeno o la incapacidad de mantener la vida, lo que puede plantear un riesgo para la salud de los trabajadores que se encuentren en espacios confinados. Estas atmósferas suelen estar compuestas por gases como el nitrógeno o el dióxido de carbono. Debido a la carencia de oxígeno, es esencial contar con sistemas de supervisión y equipos de protección respiratoria para asegurar la seguridad de los trabajadores (Arias Chica, 2019).

3.2.11 *Atmósfera IPVS*

Las condiciones ambientales en espacios reducidos que representan un peligro directo e inmediato para la vida o la integridad física de los empleados. Tal situación está categorizada por el término en inglés "IDLH", que significa "Immediately Dangerous to Life or Health" (Inmediatamente Peligroso para la Vida o la Salud). Bajo estas circunstancias, se evidencia un riesgo apremiante que exige la rápida ejecución de protocolos de seguridad para la evacuación y salvaguarda de los trabajadores implicados. (Arias Chica, 2019).

3.2.12 *Atmósfera tóxica*

Una atmósfera se clasifica como perjudicial cuando sus niveles de compuestos químicos potencialmente peligrosos superan los estándares establecidos por entidades reguladoras, como los especificados por la (ACGIH) o los los valores máximos establecidos indicados por el Ministerio de Salud y Protección Social. Es fundamental llevar a cabo la detección y vigilancia de compuestos químicos dañinos con el propósito de preservar la salud de los trabajadores que operan en espacios confinados. (Arias Chica , 2019)

3.2.13 *Auto reporte de condiciones de salud y trabajo*

Este procedimiento habilita a los trabajadores o colaboradores subcontratados a expresar por escrito a sus empleadores o contratantes las situaciones desfavorables que identifican en su

lugar de trabajo, especialmente en áreas de restricción. Estos informes son una parte esencial de la documentación que respalda el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) y juegan un rol crucial en la detección y corrección de riesgos en las zonas de confinamiento utilizadas en la construcción de Caissons en Colombia. Igualmente, constituyen un componente vital para asegurar la protección de los empleados y prevenir incidentes en estos entornos críticos.

3.2.14 Certificación de Equipos

La certificación de equipos implica la emisión de un documento por parte del fabricante que asegura que un equipo en particular satisface los estándares de calidad de un estándar nacional o, en su lugar, de un estándar internacional ampliamente reconocido. En el ámbito de la construcción de Caissons, la certificación se vuelve de suma importancia para asegurar que los equipos empleados en operaciones en espacios confinados cumplen con los requisitos de seguridad esenciales. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.15 Certificado de Apoyo para Entrada y Trabajo en Espacio Confinado

El certificado de respaldo para acceso y trabajo en espacios confinados constituye un documento formal que detalla las acciones preventivas y de control requeridas para garantizar la entrada segura de los trabajadores a tales entornos. Este certificado comprende protocolos de seguridad, procedimientos de rescate en situaciones de emergencia específicamente diseñados para espacios confinados y se emplea en conjunto con el formato de permiso de trabajo. Su

importancia radica en la creación de un entorno laboral seguro y adecuado para la ejecución de tareas en la construcción de cajones de cimentación o Caissons. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.16 *Condiciones de Ingreso Aceptables*

Las condiciones de acceso aceptables hacen referencia a los requisitos mínimos que deben cumplirse en un espacio confinado antes de permitir la entrada de un trabajador autorizado. Estas condiciones son fundamentales para asegurar la seguridad en el desarrollo de las tareas en el espacio confinado y desempeñan un papel crucial en la prevención de riesgos y accidentes. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.17 *Contaminantes*

Los contaminantes hacen referencia a compuestos en forma de gases, humos y partículas suspendidas que tienen la posibilidad de estar presentes en la atmósfera de un recinto cerrado. La presencia de estos elementos en el aire puede representar un riesgo para la salud de los empleados, por lo tanto, es de suma importancia identificarlos y administrarlos de manera eficaz para garantizar un entorno de trabajo seguro durante la ejecución de proyectos de Caissons. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.18 *Control de Protección Respiratoria*

El control de protección respiratoria comprende un conjunto de medidas administrativas fundamentales destinadas a salvaguardar la salud de los trabajadores mediante la elección y aplicación adecuada de dispositivos de protección respiratoria. Esta dimensión de control se integra de manera inherente en el Programa de Trabajo Seguro en Espacios Confinados, y desempeña un papel crucial en asegurar la protección de los trabajadores contra la exposición a contaminantes presentes en el ambiente de trabajo. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.19 Deficiencia de Oxígeno

La insuficiencia de oxígeno se origina cuando la atmósfera en un espacio confinado contiene un porcentaje de oxígeno menor al 19.5% en volumen a la presión atmosférica estándar. Esta situación conlleva un peligro potencial para la salud de los trabajadores, ya que podría desencadenar situaciones de asfixia. Por lo tanto, resulta fundamental implementar medidas de control con el fin de rectificar esta carencia. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.20 Enriquecimiento de Oxígeno

El enriquecimiento de oxígeno se caracteriza por una atmósfera que contiene una concentración de oxígeno igual o superior al 23.5% en condiciones de presión atmosférica estándar. Aunque en apariencia podría considerarse beneficioso, es importante destacar que un exceso de oxígeno puede incrementar el riesgo de incendios y explosiones. Por lo tanto, se requiere la implementación de medidas de control específicas para garantizar la seguridad en

espacios confinados cuando se presenta una situación de enriquecimiento de oxígeno. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.21 *Equipo de Aire Autocontenido SCBA*

El sistema de respiración de presión positiva con equipo de aire autocontenido, conocido como SCBA, proporciona aire respirable desde un cilindro de alta presión al usuario. Este sistema es de vital importancia en entornos donde la calidad del aire es insatisfactoria y asegura que los trabajadores tengan acceso a aire respirable durante un tiempo específico. Su utilización desempeña un papel fundamental en la protección y seguridad de los trabajadores involucrados en tareas relacionadas con espacios confinados y en la construcción de Caissons. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.22 *Espacio Confinado*

Un espacio confinado se caracteriza por su naturaleza restrictiva en términos de ingreso y salida, así como por una ventilación natural inadecuada. Estos lugares tienen el potencial de acumular sustancias peligrosas, ya sea tóxicas o inflamables, o bien, pueden presentar una deficiencia de oxígeno, y suelen no estar diseñados para la ocupación continua de los trabajadores. Los espacios confinados se distinguen por tres aspectos clave:

a. No están destinados para la permanencia prolongada de los trabajadores: A diferencia de los entornos laborales convencionales, los espacios confinados no están concebidos para que los trabajadores permanezcan en ellos durante largos periodos de tiempo.

b. Tienen limitaciones en sus medios de ingreso y salida, ya sea en términos de tamaño, forma o cantidad: Las aberturas de acceso y salida en estos espacios suelen ser restringidas en tamaño, forma o número, lo que puede dificultar que los trabajadores entren o salgan de manera segura.

c. Son lo suficientemente amplios y conformados de manera que permitan el acceso del cuerpo de un trabajador: A pesar de las restricciones, los espacios confinados deben tener el espacio y la configuración necesarios para que el cuerpo de un trabajador pueda entrar. Esta característica es fundamental para distinguirlos de otras áreas más estrechas o inaccesibles.

(Ramirez , 2020)

Tabla 1.

Clasificación de zonas o espacios confinados

Tipo espacio confinado	Tipo 1	Tipo 2
Característica	Espacios confinados son regiones caracterizadas por aberturas restringidas en la parte superior y una notable profundidad que dificulta la circulación de aire de forma natural. Esto comprende excavaciones que superan los 1,2 metros de profundidad y que no cuentan con una ventilación apropiada, pozos, y áreas de almacenamiento al aire libre, entre otros ejemplos.	Espacios confinados son áreas cerradas que se distinguen por contar con aberturas limitadas, tanto de entrada como de salida, tales como tanques, túneles, alcantarillas, bodegas, silos, entre otros.

Concentración de oxígeno	19,5% - 23,5%	Menor a 19,5% y mayor de 23,5%
Inflamabilidad	Menor a 10%	Mayor a 10%

Grado peligro	Grado A	Grado B	Grado C
	<p>Atmosfera Inmediatamente Peligrosa para la Vida o la Salud: Situaciones en las que la atmósfera dentro del espacio es potencialmente mortal debido a la falta de oxígeno, la presencia de gases tóxicos o condiciones similares.</p> <p>Atmósfera Combustible o Explosiva: Cuando existe una acumulación de gases o vapores inflamables que podrían desencadenar una explosión.</p> <p>Concentración de Sustancias Tóxicas: Cuando la concentración de sustancias tóxicas supera los límites permitidos y requiere el uso de sistemas de respiración especial para los trabajadores.</p> <p>Otros Peligros Asociados a Energías Peligrosas: Esto abarca peligros eléctricos, neumáticos, mecánicos, hidráulicos y relacionados con gases comprimidos, que pueden ser peligrosos en espacios confinados.</p> <p>Configuración Interna de Riesgo: Esto se refiere a situaciones en las que la disposición interna del espacio puede generar atrapamiento o asfixia, como</p>	<p>Se define por la presencia de riesgos que pueden dar lugar a lesiones o enfermedades, pero que no ponen en peligro la vida ni la salud del trabajador. Estos riesgos se gestionan mediante el uso de Equipo de Protección Personal (EPP), junto con la implementación de medidas de prevención y protección.</p>	<p>En este tipo de espacio, los riesgos para los trabajadores son mínimos, por lo que no se requiere modificar los procedimientos de trabajo ni el uso de elementos de protección personal.</p>

paredes convergentes o un piso inclinado hacia abajo.

Otros Peligros Identificados:
Además de los riesgos mencionados, pueden existir otros riesgos específicos identificados en el proceso de evaluación de riesgos, especialmente aquellos considerados de alto riesgo.

Nota. Tomado de (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.23 Procedimiento de Rescate:

El procedimiento de rescate implica una serie de medidas llevadas a cabo por individuos debidamente entrenados y con conocimientos técnicos especializados. Su objetivo principal es rescatar a los trabajadores que se encuentren en una situación de emergencia en un espacio cerrado y proporcionarles atención médica inicial. Es importante destacar que la ejecución de este proceso puede darse tanto sin la necesidad de entrar en el espacio confinado como en situaciones que demanden el acceso al mismo. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.24 Pilote:

Un pilote es una parte de la cimentación profunda construido generalmente de concreto, madero o acero. Los pilotes transmiten cargas estructurales al suelo de dos maneras principales: a través de la punta del pilote, donde el extremo se adhiere al suelo; y mediante la fricción del cuerpo del pilote con el suelo circundante. En algunos casos, la carga se transmite tanto por la punta como por la fricción. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.25 Torton

El torton es un componente de fabricación artesanal que desempeña un papel fundamental en la construcción de cajones de cimentación o Caissons. Su función principal radica en garantizar la unión y conexión adecuada de la tubería utilizada en el vertido de concreto durante el proceso de construcción. La presencia y correcto funcionamiento del torton resulta esencial para asegurar la integridad y estabilidad de la estructura de concreto en su conjunto. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.2.26 Zona de Respiración

La región de respiración, conocida también como la zona respiratoria, se describe como un espacio de forma hemisférica con un radio de aproximadamente 0.3 metros, que se extiende hacia afuera desde la cara de un individuo cuando este se halla en un área confinada.. La importancia de la zona de respiración radica en su función crítica de garantizar una ventilación y oxigenación adecuadas para los trabajadores que se encuentran en entornos confinados. Este aspecto, a su vez, contribuye significativamente a mantener la seguridad y el bienestar de los trabajadores en su ambiente laboral. (Contreras & Nuñez, 2022).

3.3 Responsabilidad de los actores involucrados en el proceso

En los procesos de construcción de cajones (caissons) en Colombia, se establecen responsabilidades específicas para diferentes actores involucrados en actividades realizadas en espacios confinados. A continuación, se resumen las responsabilidades de cada uno de estos actores:

El Director de Proyecto desempeña un papel fundamental al asegurar que se dispongan de los recursos necesarios para llevar a cabo estas actividades, y también se encarga de garantizar que el personal cuente con la competencia y aptitud médica requerida.

Los Residentes de Obra y Maestros de Obra tienen la responsabilidad primordial de supervisar a su personal, especialmente aquellos involucrados en excavaciones con profundidades superiores a 1.20 metros. Deben asegurarse de que estos trabajadores cuenten con la competencia necesaria en actividades relacionadas con espacios confinados y trabajo seguro en alturas, y que estén debidamente certificados para llevar a cabo el proceso de fundición y vaciado de concreto. Asimismo, son los encargados de completar y firmar los permisos de trabajo, anotando observaciones relevantes. También deben velar por el cumplimiento de los procedimientos generales y específicos aplicables a tareas en espacios confinados, incluyendo la presencia de un vigía en la entrada al espacio restringido.

Cabe destacar que los Oficiales, Ayudantes de Obra y Trabajadores Entrantes desempeñan funciones cruciales en el ámbito laboral. Es imprescindible que cuenten con la formación y las certificaciones adecuadas en áreas como el trabajo en espacios confinados y la seguridad en alturas. Estos profesionales están debidamente autorizados para llevar a cabo las

tareas asignadas por el empleador o contratista dentro de espacios confinados, siempre asegurando que se cumplan rigurosamente las medidas de prevención y protección requeridas. Asimismo, tienen la responsabilidad de identificar cualquier condición o comportamiento que represente un riesgo para la seguridad y de informar sobre cualquier daño o deterioro que afecte a los equipos de seguridad. Además, deben mantener una estricta adhesión a los procedimientos establecidos en materia de salud y seguridad, además de llevar a cabo una supervisión continua del entorno laboral para detectar posibles riesgos potenciales.

3.4 Procedimiento de trabajo en espacios confinados

3.4.1 Vaciado de concreto para obras de excavación de 1.2 m de profundidad en la construcción de cajones de cimentación

El procedimiento de trabajo seguro para verter concreto en excavación de 1.2 m en la elaboración de caissons en Colombia se detalla a continuación:

1. **Instalación de Tubería de Concreto:** Antes de iniciar el proceso de vertido de concreto, el equipo encargado deberá instalar la tubería de concreto (NOVAFORT Ø 6") destinada para la colocación del concreto en el caisson.
2. **Medidas de Seguridad Personal:** Todo el personal que acceda al interior del caisson debe estar debidamente equipado con las medidas de seguridad necesarias para realizar

con seguridad las actividades relacionadas con el encofrado y formaleteado de la estructura.

3. **Armado de Medias Lunas:** se debe realizar el armado de las medias lunas dentro del caisson para recibir el concreto.
4. **Desalojo del Personal:** Una vez que se complete la fase anterior, se procederá al retiro de todo el personal del interior del caisson.
5. **Anclaje a una Línea de Vida:** El personal que estará a cargo de la instalación de las tuberías en la que se debe tener debidamente anclado a una línea de vida antes de comenzar la colocación de las tuberías.
6. **Instalación de Tubería de PVC Corrugada:** En este procedimiento, se emplearán tuberías de PVC corrugadas de 8 pulgadas para la instalación. El primer tramo de tubería se posiciona mediante el uso de ganchos y se enlaza en ambos extremos hasta alcanzar su ubicación final.
7. **Acoplamiento de Tramos de Tuberías:** En el caso de que se requiera instalar tramos adicionales de tuberías, estos se conectarán utilizando uniones en tortón, prestando especial atención para evitar deslizamientos de las tuberías.

8. **Colocación de Elemento Tipo Embudo:** Se dispondrá un elemento tipo embudo para capturar el concreto y guiarlo hacia su ubicación final.
9. **Inspección Previa al Vaciado:** Antes de proceder al vertido de concreto, se llevará a cabo una inspección para verificar que tanto la instalación de la tubería como los materiales utilizados cumplan con los estándares de seguridad y se encuentren en buen estado.
10. **Ingreso del Personal para el Vaciado:** Una vez realizado el proceso de verificación, se permitirá el acceso al personal que se necesita para llevar a cabo el vertido del concreto en el caisson.
11. **Colocación del Concreto:** Se dará inicio a la colocación del concreto a través de la tubería instalada. Durante todo este proceso, se mantendrá una supervisión constante para evitar situaciones que puedan poner en riesgo la seguridad del personal involucrado.
12. **Retiro del Personal:** Finalizado el proceso del vertido del concreto, hay que proceder al retiro del personal que se encontraba dentro la obra de construcción del caisson.
13. **Retiro de Medias Lunas y Tuberías:** Con el personal debidamente anclado a una línea de vida, se llevará a cabo el desmontaje de las medias lunas, tuberías y accesorios que previamente se habían dispuesto.

14. **Reiniciar las Actividades de Excavación:** Por último, se reiniciarán las actividades de excavación en el caisson."

3.4.2 Recomendaciones adicionales proceso de vaciado para excavaciones.

1. Utilización de Escaleras:

- Está estrictamente prohibido emplear escaleras de mano improvisadas dentro de espacios confinados. Las escaleras utilizadas deben ser de construcción robusta y disponer de dispositivos de soporte diseñados para prevenir cualquier movimiento indeseado durante su utilización.
- Las escaleras deben ser posicionadas a un ángulo aproximado de 75 grados en relación con la horizontal, y su longitud deberá sobrepasar en al menos 1 metro el borde del caisson, garantizando un acceso seguro.
- La separación entre los peldaños de la escalera debe situarse en el rango de 25 a 30 centímetros, y se requiere un ancho mínimo de 60 centímetros para las escaleras utilizadas en estas condiciones.
- Antes de su empleo, es fundamental realizar una inspección exhaustiva de las escaleras, verificando que no presenten defectos y que estén libres de cualquier sustancia que pueda ocasionar resbalones, como lodo o aceite.

2. **Rescate y Protección Contra Caídas:**

- Se debe contar con un Procedimiento de Rescate en caso de emergencia en espacios confinados, realizado por personal especializado.
- El punto de anclaje del trabajador debe cumplir o superar las resistencias exigidas por la normativa, como las normas OSHA, EN, NFPA 1983 y 350.
- Se recomienda el uso de arneses especializados que permitan subir y bajar verticalmente de manera segura.
- Se debe mantener comunicación constante entre el trabajador dentro del espacio confinado y el personal en la superficie.

3. **Manejo de Materiales y Herramientas:**

- El transporte de herramientas o materiales mediante el uso de las escaleras está prohibido, debiendo en su lugar emplear métodos de elevación manuales o dispositivos de transporte de herramientas adecuados.
- Al utilizar las escaleras, es necesario hacerlo de frente, manteniendo ambas manos firmemente agarradas a los peldaños o largueros.
- El ascenso y descenso por las escaleras debe llevarse a cabo de manera pausada, evitando correr o deslizarse bruscamente.
- No se permite saltar desde los escalones de la escalera.

4. **Seguridad en el Espacio Confinado:**

- Se deben realizar verificaciones periódicas del espacio confinado, incluyendo mediciones de la atmósfera. Estas mediciones deben cumplir con los rangos de oxígeno, gases inflamables y gases tóxicos especificados en la normativa.

- Si se identifica la presencia de una atmósfera potencialmente peligrosa, se deben implementar medidas de control inmediatas y llevar a cabo mediciones periódicas para asegurar condiciones seguras.
- Se recomienda que los trabajadores que se encuentren dentro del espacio confinado realicen pausas activas y salgan de manera regular, con especial atención a intervalos no superiores a 45 minutos, con el fin de garantizar su bienestar y seguridad.

3.4.3 Señalización

Señalización y Demarcación: Es esencial que el área de trabajo esté debidamente señalada y demarcada para prevenir el acceso de personas no autorizadas. Para ello, se requiere el empleo de elementos como vallas, cintas y conos, los cuales deben cumplir con normativas específicas de colores. La señalización permanente debe utilizar la combinación de colores amarillo y negro, mientras que la temporal debe emplear naranja y blanco. Es fundamental que esta señalización sea visible tanto de día como de noche y que contemple información en idioma español, así como en el idioma de los trabajadores extranjeros.

Distancia de Seguridad: Es necesario que la señalización de seguridad y las barreras se ubiquen a una distancia de 1.80 metros desde la parte superior del Caisson. Como medida adicional, se deben instalar barandas que cumplan con los estándares de resistencia establecidos en la Resolución 1409/12.

Cubiertas de Protección: Los cajones de Caisson que no estén en uso en un momento dado deben mantenerse protegidos mediante dispositivos como rejillas, tablas o tapas. Estas cubiertas deben ser capaces de soportar al menos el doble de la carga máxima estimada que puedan recibir y deben estar claramente definidas y señalizadas, siguiendo las pautas descritas en la Resolución 1409/12.

Análisis de Riesgos: Es esencial llevar a cabo un análisis de riesgos antes de iniciar cualquier actividad. Este proceso tiene como objetivo identificar y evaluar los peligros relacionados con la tarea y determinar las medidas de seguridad necesarias para mitigar estos riesgos.

Inducción y Permiso de Trabajo: Los trabajadores que realizarán la actividad deben recibir una inducción específica. Además, se debe completar un permiso de trabajo en el sitio, que autorice la ejecución de la tarea. Estos procedimientos son cruciales para asegurarse de que los trabajadores comprendan los riesgos y las medidas de seguridad antes de comenzar la actividad.

Monitoreo de Atmósfera: Antes de iniciar la actividad, es necesario realizar un monitoreo de la atmósfera en el espacio confinado. Esto garantiza que las condiciones sean seguras y que no existan riesgos relacionados con la calidad del aire en el lugar de trabajo.

3.4.4 Control en el ingreso de personal a zonas confinados.

Las recomendaciones que se relacionan con los controles para el ingreso de personal a La principal prioridad al trabajar en espacios reducidos durante la ejecución de cimentaciones profundas, como los caissons utilizados en Colombia, es garantizar la seguridad y la salud de los obreros. Para ello, se han implementado estrategias efectivas, entre las que se incluye la rotación de personal. Este enfoque estratégico consiste en programar salidas intermitentes de los empleados de los sitios confinados, con el fin de acortar la duración de su estancia en dichos espacios y, consecuentemente, disminuir su exposición a posibles peligros. Además, es imperativo que cada espacio confinado disponga de señalización adecuada, que debe contener datos cruciales como el nombre de la zona, el tipo y la categoría del espacio y los requerimientos específicos de equipo de protección personal para acceder a él. La adopción de estas prácticas es esencial para promover un entorno de trabajo seguro.

Es imperativo contar con procedimientos específicos destinados a las operaciones en espacios confinados, así como procedimientos de rescate disponibles en el lugar de trabajo. La gestión del acceso se efectúa mediante el registro de los trabajadores antes de ingresar al espacio, y se les exige firmar el registro correspondiente, lo cual se documenta rigurosamente. Antes de ingresar, el equipo de trabajo lleva a cabo una reunión para discutir el procedimiento específico, realizar un análisis de trabajo seguro, asignar roles y planificar las tareas bajo la supervisión del Ingeniero residente, en colaboración con el personal de HSEQ y los rescatistas. La seguridad se ve fortalecida a través de la medición de atmósferas peligrosas y la calibración de los equipos utilizados. Cada entrada y salida de trabajadores se registra sin excepción. Todos los trabajadores

que ingresan deben llevar un arnés diseñado para trabajo en espacios confinados, y se realiza una verificación de la salud de los trabajadores antes de permitirles el ingreso. Cuando es factible, se requiere que al menos dos personas ingresen juntas, y se garantiza una comunicación efectiva para situaciones de emergencia. Adicionalmente, se garantiza la iluminación adecuada en los espacios confinados de tipo 1 y se bloquean las líneas de alimentación para evitar el acceso no autorizado.

En resumen, estas recomendaciones representan un componente fundamental del marco de seguridad destinado a las actividades en espacios confinados en el contexto de la construcción de cimentaciones profundas en Colombia. Su implementación contribuye de manera significativa a la creación de un entorno laboral más seguro y protegido para los trabajadores involucrados en estas actividades críticas.

Capítulo 4. Controles técnicos requeridos en la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson.

4.1 Proceso constructivo y supervisión técnica de cimentaciones profundas tipo Caisson.

A continuación, se describe el proceso constructivo de la construcción de cimentaciones utilizando Cajones o Caisson

4.1.1 Paso 1: Preliminares

Definición del Plan de Trabajo: Antes de dar inicio a cualquier actividad de construcción, es imperativo que el contratista elabore un Plan de Trabajo detallado que contemple una serie de elementos esenciales. Esto incluye la enumeración del equipo que será empleado, la secuencia de las actividades de construcción, las estrategias a implementar en la excavación de pozos, el manejo de la lechada, los métodos de limpieza, así como los procedimientos precisos para el armado del refuerzo, el proceso de curado y la protección del concreto. Además, este plan debe incorporar los requisitos relativos a las pruebas de carga necesarias. Es fundamental subrayar que el Plan de Trabajo debe ser sometido a la revisión y aprobación del supervisor antes de que se dé inicio a las labores de excavación.

Protección de Estructuras Existentes: En el transcurso de la ejecución de las tareas de construcción, se deben adoptar medidas de precaución con el fin de prevenir daños a las

estructuras e instalaciones que se encuentren en proximidad al área de trabajo. La elección de métodos y procedimientos constructivos debe ser tal que garantice la no ocurrencia de socavaciones y vibraciones excesivas durante las fases de excavación y colocación de camisas. Es importante destacar que cualquier daño o inconveniente causado durante el proceso de construcción recae en la responsabilidad del contratista.

Lectura de Planos y Catastro de Redes: El Constructor debe contar con copias de todos los planos del proyecto para su constante consulta y verificación de la consistencia con lo construido. Es esencial revisar la ubicación precisa de redes de servicios públicos, como aguas subterráneas, acueducto, gas natural y electricidad, especialmente si las excavaciones se realizan cerca de ellas.

Descapote: Esta etapa implica el retiro de la capa vegetal y la nivelación parcial del terreno en todo el lote. Se lleva a cabo de manera mecánica bajo la supervisión del ingeniero Constructor y debe ser verificada y aprobada por el supervisor.

4.1.2 Paso 2. Localización y replanteo

El proceso constructivo de cimentaciones profundas tipo caisson involucra varias etapas y recomendaciones para asegurar la precisión y seguridad en la ejecución. El Paso 2, que se centra en la Localización y replanteo, comienza con la ubicación exacta del sitio de construcción del caisson. Para ello, se hacen referencia a los ejes previamente marcados en el terreno con hilos y estacas, que sirven como guía para la localización geométrica y altimétrica del proyecto.

Además, se procede al trazado del diámetro del caisson, donde se toma la intersección de los ejes como el centro de referencia y se traza una circunferencia que sigue el diámetro especificado en los planos. En caso de caissons con secciones cuadradas o rectangulares, se asegura que se mantengan las medidas y la forma geométrica requerida.

Recomendaciones clave en esta etapa incluyen que la circunferencia del pozo trazado sea lo más precisa posible, garantizando que la excavación conserve la sección hasta la longitud final del anillo. Además, se requiere señalización del área de intervención, con barreras al menos a 2 metros del borde del pozo, para evitar el acceso no autorizado. Dependiendo del tamaño del pozo, se instalan barandas como medida de protección contra caídas y se cubren los pozos con rejillas cuando no se realizan actividades de excavación. También, se sugiere llevar a cabo un Análisis de Riesgo por Oficio (ARO) antes de comenzar, garantizar la calidad del descapote y limpieza del área, y considerar la delimitación del área de excavación con mallas o telas. Además, se establecen recomendaciones específicas para la instalación de postes y restricciones de acceso al lugar.

4.1.3 Paso 3. Excavación de los anillos de revestimiento

Excavación de los Anillos de Revestimiento

En esta etapa, se excavan los anillos de revestimiento o ademes que servirán para contener las paredes del pozo excavado y proteger al personal. La excavación puede realizarse mecánicamente con retroexcavadoras, pero no es aplicable para caissons con diámetros o secciones rectangulares mayores a 3.5 m. En estos casos, se utiliza equipo especializado, como

grandes mordazas agarradas por grúas sobre orugas. Para diámetros menores, la excavación se realiza de forma manual, con un equipo mínimo. Se debe contar con medios seguros de acceso y salida para el personal y garantizar distancias seguras entre trabajadores. (The South African National Roads Agency Limited., 2001)

Excavación en Terreno con Alto Nivel Freático

Cuando se trabaja en suelos saturados por alto nivel freático, se deben tomar precauciones adicionales. Se debe contar con un sistema de bombeo para evacuar el agua freática y permitir la continuación de la excavación. Se recomienda el bombeo cuando el agua alcance una altura igual o superior a 3 cm. El personal dentro del pozo debe usar guantes y botas impermeables. Se debe planificar la ruta para el desagüe del agua bombeada y garantizar que no afecte propiedades o estructuras cercanas.

Excavación con Lodos

En casos de excavación con lodos, se requiere una suspensión mineral adecuada con propiedades gelatinosas para transportar el material excavado. Deben tomarse muestras de la suspensión y evitar su fraguado en el pozo. Se recomienda que los pozos excavados de suspensión solo se realicen si el supervisor lo autoriza.

4.1.4 Paso 4. Encofrado de la excavación

El proceso constructivo de cimentaciones profundas tipo caisson se divide en varias etapas. En el Paso 4: Encofrado de la Excavación, se inicia con la preparación de la excavación,

donde el encofrado juega un papel crucial. Este encofrado, ya sea de madera o metálico, se adapta a las dimensiones del caisson y se ensambla en cuatro módulos que forman una estructura cónica. Antes de su ubicación, se debe aplicar un desmoldante para facilitar su posterior retirada. Los módulos del encofrado se colocan con precisión, verificando su verticalidad y las dimensiones de profundidad y espesor del anillo en múltiples puntos de la sección transversal de la excavación. Luego, se aseguran con parales para garantizar la rigidez y contención. La fundición de los anillos de revestimiento se lleva a cabo una vez que el sistema de encofrado es verificado y aprobado por el supervisor. En este punto, el concreto se puede fabricar in situ o ser premezclado, de acuerdo con las especificaciones del proyecto. El espesor del anillo varía entre 0.50 m y 1 m y cumple una doble función, actuando como lastre y ademe para facilitar la excavación del material residual en el interior del caisson.

El Desencofrado sigue al endurecimiento del concreto, en el cual se retira el encofrado, ya sea de manera mecánica o manual. El proceso se repite para los demás anillos, asegurando que a medida que aumenta la profundidad de excavación, se mantenga una escalera para el acceso y salida. Este paso puede presentar desafíos, como grandes rocas o la presencia de un nivel freático, lo que puede requerir ajustes en la formaleta.

Camisas de Acero, si se utilizan camisas (temporales o definitivas), se deben cumplir estrictas especificaciones para el acero estructural. La extracción de camisas temporales se realiza una vez que el concreto está al nivel o por encima de la superficie del terreno, y se utiliza un movimiento de rotación o equipos vibratorios para facilitar su extracción.

Recomendaciones para mejorar el proceso incluyen la implementación de múltiples sistemas de encofrado para proceder simultáneamente, la ubicación estratégica de la mezcladora para el concreto fabricado en obra, y la consideración de casetones no recuperables en pilotes huecos. Estos pasos y recomendaciones son fundamentales en la construcción de cimentaciones profundas tipo caisson, asegurando un proceso eficiente y seguro.

4.1.5 Paso 5. Concreto de limpieza

El paso 5 del proceso constructivo de cimentaciones profundas tipo caisson se refiere a la "Fundición de Concreto de Limpieza". En esta etapa, se lleva a cabo la colada de una capa de concreto especial cuyas características de resistencia y espesor son determinadas por las especificaciones del proyecto. Generalmente, se utiliza concreto simple con una resistencia de 3000 psi y un espesor de aproximadamente 75 cm. La función principal de esta capa de limpieza en la base del caisson es preservar el refuerzo. El supervisor desempeña un papel crucial al requerir el diseño de mezclas, la metodología de fabricación y colado, y la realización de ensayos de resistencia y asentamiento, todo ello de acuerdo con las normas técnicas aplicables.

Recomendaciones para esta fase incluyen:

El colado del concreto de limpieza debe realizarse antes de ubicar la canastilla de refuerzo. En caso de que la canastilla ya esté ubicada, se debe garantizar un espesor adecuado, que en ningún caso debe ser inferior a 75 cm, para asegurar el recubrimiento del acero. Se desaconseja realizar esta actividad si ya se ha colocado la canastilla, ya que no es práctico.

En situaciones donde el nivel freático subterráneo sube rápidamente, no se debe verter una "mezcla seca" de cemento y agregados en la excavación con la expectativa de que el agua freática reemplace el agua de mezclado. Este método no garantiza la proporción adecuada de la mezcla.

Dado que los sellos de fondo están en contacto directo con el suelo, el concreto puede perder humedad durante el proceso de colado. Por lo tanto, se recomienda el uso de aditivos plastificantes que no afecten la trabajabilidad del concreto. En caso de presencia de agua freática, se sugiere la utilización de aditivos reductores de agua para mantener el adecuado comportamiento del concreto.

4.1.6 Paso 6. Armado y colocación de la canasta de refuerzo

El paso 6 del proceso constructivo de cimentaciones profundas tipo caisson se enfoca en el armado y colocación de la canasta de refuerzo, que desempeña un papel esencial en la estabilidad de la estructura. El acero necesario para la canastilla se debe figurar y armar en un lugar distinto al de la excavación, aunque lo más común es que este lugar se ubique cerca de la excavación para facilitar su transporte. El supervisor desempeña un papel crucial al verificar que la canastilla se construya de acuerdo a los planos especificados. Esto implica revisar el número de varillas, el espaciamiento de los estribos, las longitudes de traslapes y de ganchos, asegurando que estos últimos no se desplacen de su posición original en cada estribo. Una vez que el supervisor aprueba la canastilla, se ordena su traslado al pozo de excavación, ya sea de forma manual o mecánica. El acero transversal se fija al acero longitudinal mediante amarres o

soldadura. En pilotes de hasta 10 metros de longitud, se pueden admitir amarres. (HNA Ingeniería LTDA, 2023)

Recomendaciones:

Es importante contar con una cuadrilla suficiente y experimentada para llevar a cabo el armado de la canastilla.

El supervisor debe ser riguroso en cuanto al almacenamiento adecuado de las canastillas terminadas en un lugar seco y aislado del suelo para evitar la corrosión y el deterioro del acero.

En el proceso de ubicación y fijación de la canastilla, es fundamental verificar los ejes replanteados antes de colocar la estructura. Esto garantiza un centro de referencia que permitirá centrar adecuadamente la canastilla en el pozo de excavación.

4.1.7 Paso 7. Concreto para fuste

Concreto para Fuste del Caisson:

En esta fase, se abordan las operaciones relacionadas con el colado del concreto en el fuste del caisson. Para garantizar la calidad del trabajo, se deben seguir recomendaciones específicas. El colado del concreto debe realizarse desde una altura mínima, ya sea a través de bombeo. No se permite verter concreto desde alturas superiores a 1.5 metros sin los mecanismos adecuados. El Supervisor técnico debe verificar la cota final de la excavación, la ubicación de la canastilla y la capa de limpieza antes de autorizar el colado del concreto. El Constructor debe

presentar un programa que describa en detalle la metodología de colado, incluyendo si se realizará en una o varias etapas.

Si es necesario colocar concreto bajo el agua o en condiciones de suspensión, es imperativo emplear un conducto de vaciado o un sistema de bombeo. Es fundamental destacar la necesidad de que el concreto se coloque de manera continua y en el menor tiempo posible después de su fabricación. Para el proceso de vertido, se establecen límites temporales que varían en función del diámetro del pozo. El concreto empleado debe poseer una resistencia mínima de 21 Mpa y debe presentar la suficiente maniobrabilidad para garantizar la continuidad durante su vertido. Se debe proceder a vibrar o manipular el concreto hasta alcanzar una profundidad de 5.0 metros por debajo de la superficie del terreno, a menos que se encuentre material blando o suspensión en la excavación. El refuerzo de acero en el interior del pozo debe ser adecuadamente asegurado.

Curado y Protección del Concreto:

Después de completar el proceso de vertido, es imperativo llevar a cabo una serie de procedimientos destinados al curado y la preservación del concreto. Las áreas de la estructura que estén momentáneamente expuestas deben ser sometidas a un proceso de curado adecuado. Para evitar cualquier tipo de desplazamiento del terreno adyacente al pilote, se establece una restricción que prohíbe cualquier actividad de construcción en la estructura recién vertida durante un período mínimo de 48 horas. Únicamente se permite llevar a cabo una vibración de intensidad

moderada en situaciones que involucren la instalación de estribos destinados a soportar columnas o vigas de cimentación ancladas al caisson.

En zonas cercanas a cuerpos de agua, es de vital importancia salvaguardar el caisson de los efectos perjudiciales del agua. Con este propósito, se requiere mantener las encofraduras en su lugar durante un período mínimo de 7 días tras la finalización del vertido del concreto.

4.2 Controles técnicos

Según el numeral I.2.4 del título I de la NSR-10 (2010), el supervisor técnico desempeñará, en el marco de sus responsabilidades, los siguientes controles técnicos:

4.2.1 Control de Planos

Este control implica la verificación de varios aspectos fundamentales, que incluyen:

- a) Validar la precisión y uniformidad de las dimensiones, límites y alturas.
- b) Asegurar la cohesión entre diversas representaciones visuales, tales como blueprints, elevaciones, cortes, detalles y diagramas, mientras se verifica la alineación del plano arquitectónico con otros planos técnicos.
- c) Examinar la precisa especificación de las propiedades de los materiales y las cargas de diseño.

f) En situaciones excepcionales, supervisar las directrices vinculadas a la estructura temporal, los procedimientos de control durante el vertido de hormigón y aditivos, las pautas de desencofrado, las tolerancias de tamaño y los niveles de tensión.

En líneas generales, corroborar la inclusión de todas las indicaciones necesarias para garantizar la correcta ejecución de la edificación.

4.2.2 Control de Especificaciones

En esta fase, se procede a verificar que se satisfagan, al menos, las especificaciones técnicas establecidas en la NSR-10, además de aquellas específicas que se encuentren detalladas en los planos y diseños, siempre y cuando estas últimas no entren en conflicto con las primeras. El supervisor recopilará estas especificaciones en un documento formal y proporcionará una copia al contratista. Estas especificaciones deben contar con la aprobación del constructor y deben ser validadas antes de que comiencen los trabajos. Para las estructuras de concreto reforzado y el control de calidad de los materiales, la NSR-10 recomienda la utilización del documento "Especificaciones de construcción y control de calidad de materiales para edificaciones construidas de acuerdo con el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes"

4.2.3 Control de Materiales

Este control se enfoca en garantizar que la ejecución del proyecto se realice empleando materiales que se ajusten a los estándares de calidad generales y las normativas técnicas especificadas en la NSR-10.

Estos controles técnicos son esenciales para garantizar que la construcción de cimentaciones profundas tipo caisson cumpla con los estándares y regulaciones establecidos, asegurando la seguridad y la calidad de las estructuras.

En la Tabla 2 se muestran los principales controles exigidos en la NSR 10.

Tabla 2.

Requisitos del control de materiales

Material o elemento estructural	Tema	Referencia
Concreto estructural	Normas técnicas (obligatoriedad y enumeración)	C.1.5 y C.3.8
	Ensayos de materiales	C.3.1
	Materiales cementantes	C.3.2
	Agregados	C.3.3
	Agua	C.3.4
	Acero de refuerzo	C.3.5, C.21.1.5 y Apéndice C-E
	Aditivos	C.3.6
	Evaluación y aceptación del concreto	C.5.6
Estructuras metálicas	Especificaciones	F.2.1.4
	Acero estructural	F.2.1.5, F.3.5, F.4.1.1, F.4.7.2 y F.4.8.2
	Fundición y piezas forjadas de acero	F.2.1.5.2, F.4.8.3
	Pernos, arandelas y tuercas	F.2.1.5.3
	Pernos de anclaje y barras roscadas	F.2.1.5.4, F.2.10.3
	Metal de aporte y fundente para soldadura	F.2.1.5.5, F.2.10.2
	Conectores de cortante tipo espigo	F.2.1.5.6

	Concreto-secciones compuestas	F.2.9.1.1, F.3.1.4.5 y F.4.7.5.3
	Incendio-resistencia de los materiales a altas temperaturas	F.2.18.2.3
	Estructuras existentes – propiedades del material	F.2.19.2
	Acero del sistema de resistencia sísmica	F.3.1.4
	Consumibles de soldadura	F.2.10.2 y F.3.1.4.4
Estructuras de madera	Materiales	G.1.3, Tabla G 1.3-1
	Refuerzos metálicos (protección anticorrosiva)	Tabla G 6.4.2 y G.7.4
	Guadua requisitos de calidad	G.12.3
	Materiales complementarios y en referencia	G.12.5
Protección contra el fuego	Materiales	J.2.5.2, J.3.4 y J.3.5

Nota. Tomado de (Roper, 2017).

4.2.4 Control de calidad

El control de calidad en la construcción de cimentaciones tipo caisson es una tarea crucial para garantizar la integridad y seguridad de las estructuras. En este sentido, el Supervisor desempeña un papel fundamental al llevar a cabo un control técnico riguroso sobre el trabajo realizado por el Constructor. Esto implica la identificación de cualquier defecto o anomalía en el proceso constructivo y la inmediata exigencia de corrección, sin aceptar costos adicionales por trabajos que deban ser reejecutados. Una vez que los defectos se subsanan, el Supervisor otorga su aprobación si se cumplen con las condiciones técnicas y constructivas definidas en las especificaciones técnicas y los lineamientos establecidos en la normativa de la NSR-10. En caso de persistir la insatisfacción con la calidad del trabajo, el Supervisor debe comunicar esta disconformidad al Contratante y, en situaciones necesarias, tomará medidas para paralizar las

actividades que se ejecuten de manera deficiente o en contradicción con las normas vigentes (MOPSV, 2016).

El Supervisor técnico tiene la responsabilidad de verificar que el Constructor cuente con todos los recursos adecuados en el sitio de trabajo, lo que incluye la gestión de la dirección, la disponibilidad de mano de obra, equipos, suministros de materiales. Dicho programa tiene la finalidad de establecer los estándares de calidad que deben ser cumplidos, supervisar su adhesión y demostrar el logro de dichos estándares. Asimismo, el Supervisor técnico realiza un seguimiento periódico a través de pruebas y ensayos, que pueden llevarse a cabo en el lugar de trabajo o en laboratorios, siguiendo las pautas y frecuencias establecidas en el programa de control de calidad del proyecto. La correcta interpretación de los resultados de estas pruebas es fundamental para garantizar el cumplimiento de los estándares de conformidad con las normativas técnicas estipuladas en la NSR-10.

Estos procesos de control de calidad son fundamentales para asegurar la conformidad con las normativas técnicas y constructivas, así como para garantizar la durabilidad y seguridad de las cimentaciones tipo caisson en proyectos de construcción.

En la tabla 3 se muestran los principales controles exigidos en la NSR 10.

Tabla 3.

Controles de calidad exigidos por la NSR 10 para la construcción de cajones de cimentación

Material o elemento estructural	Tema	Referencia
Concreto estructural	Normas técnicas (obligatoriedad y enumeración)	C.1.5 y C.3.8
	Definiciones	C.2.2
	Ensayos de materiales	C.3.1
	Acero de refuerzo	C.3.5, C.21.1.5 y Apéndice C-E
	Requisitos de durabilidad	Capítulo C.4
	Dosificación de las mezclas de concreto	C.5.2
	Evaluación y aceptación del concreto	C.5.6 y C.21.1.4
	Evaluación y aceptación del refuerzo	C.3.5.10 y Apéndice C-E
	Diámetros mínimos de doblado	C.7.2
	Doblado	C.7.3
	Elementos prefabricados	Capítulo C.16
	Elementos preesforzados	Capítulo C.18
Tanques y compartimientos estancos	Capítulo C.23	
Concreto estructural simple	Capítulo C.22	
Estructuras metálicas	Acero estructural	F.2.1.5
	Planos y especificaciones del diseño estructural	F.2.1.6
	Soldaduras y pernos	F.2.10.2, F.3.1.6 y F.4.5.3
	Planos de taller y montaje	F.2.13.1
	Control de calidad y aseguramiento de calidad	F.2.14
	Planos y especificaciones de diseño estructural, planos del taller y planos de construcción	F.3.4
	Ensayos especiales	F.4.6
Estructuras de madera	Calidad	G.1.3.2 y G.1.3.3
	Secciones de las maderas	G.10
	Diámetro y longitud de pernos y clavos	G.6
	Guadua	G.12.3.1
Protección contra el fuego	Materiales	J.2.5.2, J.3.4 y J.3.5

Nota. Tomado de (Roper, 2017).

En la tabla 4 se muestra un modelo de lista de inspección de seguridad para el personal adaptado de (Roper, 2017).

Tabla 4.

Modelo de lista de inspección de seguridad para el personal

Condiciones de seguridad	Cumple		
	Sí ✓	No ✗	N.A.
"Los trabajadores deben disponer de los elementos de protección personal esenciales, tales como casco, botas con puntera reforzada y suela de acero, guantes, gafas de protección ocular y mascarillas contra partículas de polvo.			
Los trabajadores deben ser provistos con equipos de protección personal adicionales de acuerdo con riesgos específicos identificados, tales como protección respiratoria y prevención de caídas, entre otros aspectos.			
El área de trabajo debe estar adecuadamente señalizada, delimitada o demarcada para garantizar la seguridad en la zona de construcción.			
Es esencial contar con un plano de interferencia que identifique posibles obstáculos y elementos en el terreno que puedan interferir con el proceso de excavación.			
Se deben identificar y evaluar las posibles interferencias, lo que incluye revisar el área, las cajas de conexiones, las marcas del terreno y las instalaciones, marcándolas en el terreno para evitar daños durante la excavación.			
Se debe realizar una revisión exhaustiva del área con la ayuda de un detector de metales o detector de cables para evitar daños a elementos enterrados.			
Se deben identificar y evaluar el impacto que la excavación puede tener sobre las vías y rutas de evacuación, implementando las medidas correctivas necesarias.			
En caso de que la excavación sea considerada un "espacio confinado", se requiere al menos una Persona Competente actuando como Vigía para garantizar la seguridad de los trabajadores.			
Es fundamental identificar la necesidad de medidas de protección y seleccionar la medida apropiada en función de los riesgos específicos presentes.			
El material sobrante y las herramientas deben mantenerse a una distancia segura de la excavación.			
Debe haber escaleras o sistemas de ingreso/salida ubicados a una distancia no superior a 7 metros dentro de la excavación.			
Se debe conservar la distancia adecuada entre los trabajadores que se encuentran en la excavación.			

LISTA DE INSPECCIÓN DE SEGURIDAD PARA EL PERSONAL			
Condiciones de seguridad	Cumple		
	Sí ✓	No ✗	N.A.
Se debe contar con evidencia de inspecciones previas y periódicas de la excavación, asegurando la corrección de cualquier deficiencia identificada.			
Es necesario contar con motobombas disponibles en caso de inundación, lo que garantiza una respuesta rápida en situaciones de emergencia.			
Elementos que presenten peligro deben ser reubicados o retirados de la zona de construcción.			
La excavación debe contar con taludes o apuntalamiento de acuerdo al diseño, lo que garantiza la estabilidad de la zona de trabajo.			
El material sobrante debe ser retirado en el tiempo indicado para mantener un área de trabajo ordenada y segura.			
El área de construcción debe estar despejada cuando equipos pesados estén en funcionamiento, minimizando riesgos.			
Las volquetas y vehículos en general deben circular a una distancia segura para evitar accidentes en la zona de construcción.			
Los trabajadores deben contar con los elementos de protección personal básicos, como casco, botas con puntera y plantilla de acero, guantes, gafas de seguridad y mascarilla para polvo.			
Se deben proporcionar elementos de protección personal adicionales a los trabajadores de acuerdo con riesgos específicos identificados, lo cual incluye protección respiratoria y protección contra caídas, entre otros.			
El área de trabajo debe estar adecuadamente señalizada, delimitada o demarcada para garantizar la seguridad en la zona de construcción.			

En la tabla 5 se muestra un de modelo de lista de chequeo para construcción del caisson.

adaptado de (Roper, 2017)

Tabla 5.

Modelo de lista de chequeo para construcción del caisson

LISTA DE CHEQUEO DE CONSTRUCCIÓN								
Nombre del proyecto:		_____						
Nombre del supervisor técnico:		_____						
Estructura:		Pilas preexcavadas tipo <i>caissons</i>						
Actividad	Estado						Firma	Fecha
	A	B	C	D	E	F		
1. DETALLES DEL CAISSON								
1.1 Altura de elevación								
1.2 Materiales mezcla de concreto								
2. FIJACIÓN (antes del hundimiento)								
3. ESTABLECIMIENTO								
3.1 Preparación del terreno								
3.2 Instalaciones y equipos								
4. CONSTRUCCIÓN								
4.1 Borde de corte								
4.2 Trabajos de hormigón (por ascensor)								
4.2.1 Encofrado								
4.2.2 Reforzamiento incluyendo, tapa								
4.2.3 Concretar y curar								
5. HUNDIMIENTO								
5.1 Controles de posición								
5.2 Registro de hundimiento incluido								
5.2.1 Tasa de penetración								
5.2.2 Nivel del agua subterránea								
5.2.3 Nivele y espesor de estratos del suelo								
6. FUNDACIÓN								
6.1 Inspección y adecuación								
6.2 Nivel de fundación								
7. SELLAR Y LLENAR								
7.1 Sellado del concreto y método de colocación								
7.2 Colocación del relleno de arena								
7.3 Colocación de la regla de hormigón								
8. MEDICIÓN Y PAGO								

Nota. Adaptado de (Roper, 2017).

En la tabla 6 se muestra un de modelo de lista de chequeo para la mezcla de concreto, adaptado de (Roper, 2017)

Tabla 6.

Modelo de lista de chequeo para la mezcla de concreto

LISTA DE CHEQUEO DE CONSTRUCCIÓN					
Nombre del proyecto:		_____			
Nombre del supervisor técnico:		_____			
Estructura:		Pilas preexcavadas tipo <i>caissons</i>			
Actividad	Estado			Firma	Fecha
	Sí	No	Comentario		
1. GENERAL					
1.1 Almacenamiento de armaduras					
1.2 Condición del refuerzo					
1.3 Dimensiones de doblado					
2.1 TIPO DE ACERO					
2.2 Diámetro de las barras					
2.3 Marcas de barras					
2.4 Espaciado / número de barras					
2.5 Agrupación de barras (separaciones)					
2.6 Fijación adecuada de amarres					
2.7 Espaciadores					
2.8 Proyección de barras de anclaje					
2.9 Limpieza del refuerzo					
3. RECUBRIMIENTO Y APOYO					
3.1 Recubrimiento mínima según plano					
3.2 Tipo de bloque espaciador					
3.3 Posiciones del bloque espaciador					
3.4 Espaciado entre espaciadores					
4. REQUISITOS ESPECIALES					
4.1 Procedimiento de soldadura aprobado					
4.2 Calidad de la soldadura					
4.3 Acopladores mecánicos					
4.4 Tipo de acoplador homologado					
4.5 Instalado correctamente					
4.6 Otros requisitos especiales					

Nota. Adaptado de (Roper, 2017).

En la tabla 7 se muestra un de modelo de lista de chequeo para el pre colado de estructura, adaptado de (Roper, 2017)

Tabla 7.

Modelo de lista de chequeo para el pre colado de estructura

LISTA DE CHEQUEO DE CONSTRUCCIÓN					
Nombre del proyecto:		_____			
Nombre del supervisor técnico:		_____			
Estructura:		Pilas preexcavadas tipo <i>caissons</i>			
Actividad	Estado			Firma	Fecha
	Sí	No	Comentario		
1. Dimensiones, posiciones y niveles, ¿cumplen?					
2. Obras falsas y encofrado, ¿cumplen?					
3. Reforzamiento y cubierta de hormigón					
4. Componentes adicionales correctamente instalados (ranuras de goteo, tubos de drenaje, pateadores, grupos de voltios).					
5. Diseño de mezcla de hormigón, ¿aprobado?					
6. Método de curado, ¿aprobado?					
7. Posición y detalles de las juntas de construcción aprobadas					
8. Puntales de contención y aseguramiento (<i>kicker</i>) del encofrado, ¿cumple?					
9. Las juntas de construcción se han preparado correctamente.					

Nota. Adaptado de (Roper, 2017).

4.3 Análisis de experiencia de construcción de un puente vehicular en el municipio de San José de Cúcuta, Departamento de Norte de Santander.

Dado que esta monografía se encuadra en la categoría de análisis de experiencias, se procedió a recopilar información relevante de un proyecto de construcción de un puente vehicular en el municipio de San José de Cúcuta, así como de la conformación de un muro de contención. El propósito de estos proyectos era abordar y mitigar los riesgos en la municipalidad de Cúcuta, particularmente en áreas que habían sido afectadas por las intensas lluvias que azotaron la región en 2020. En este contexto, se llevaron a cabo múltiples actividades en el barrio La Victoria, que incluyeron la localización y el replanteo de la obra, el cercado del área de construcción, la instalación de un campamento, excavaciones y rellenos necesarios, así como actividades de contención en una zona conocida como el maleconcito. Estas actividades implicaron la construcción de cajones de cimentación en concreto, unidos mediante vigas cabezales, con el objetivo de brindar estabilidad al sector. Además, se restauraron las áreas pavimentadas en concreto y se instalaron pasamanos y barandas metálicas para garantizar la seguridad, junto con la construcción de un canal equipado con rejilla metálica para permitir la evacuación de las aguas de escorrentía sin interferir con la circulación peatonal en la zona.

En la figura 10 que se presenta a continuación, se ilustra el proceso de excavación y armado de estos cajones de cimentación en la zona denominada "Sector la Victoria".

Figura 10.

Excavación y armado de estructura de caisson sector la Victoria.

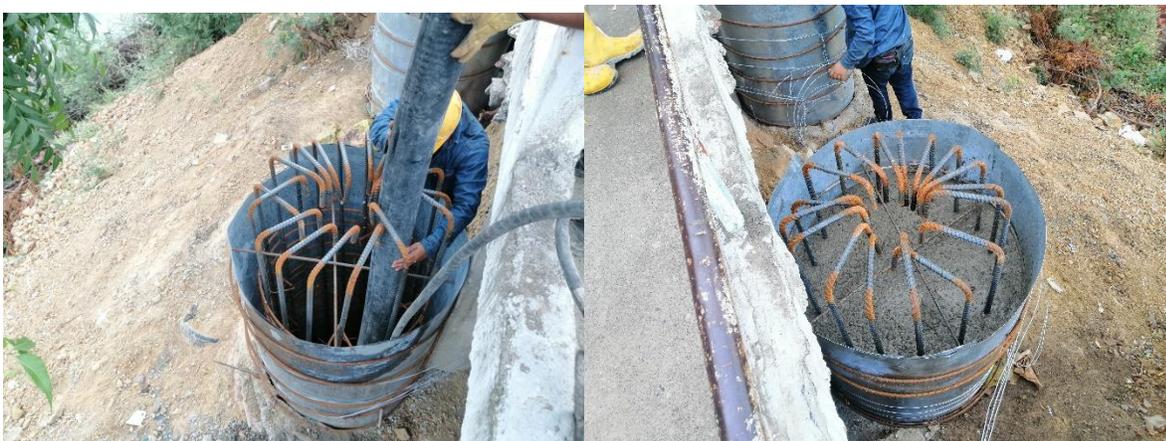


Nota. Fuente: Autores (2023).

En la figura 11 se muestra el vaciado de concreto en la estructura de caisson en el sector de la Victoria.

Figura 11.

Vaciado de concreto en la estructura de caisson sector la Victoria.



Nota. Fuente: Autores (2023).

Así mismo en el sector de Fátima se realizó la construcción de cajones de cimentación o Caisson en la que se pudo apreciar el proceso constructivo de este tipo de estructura, tal como se muestra en la figura 12.

Figura 12.

Vaciado de concreto en la estructura de caisson sector Fátima.



Nota. Fuente: Autores (2023).

En la ejecución de estos proyectos, se destacó la construcción de cajones de cimentación, ampliamente conocidos como Caissons. El proceso de construcción de Caissons requiere una minuciosa planificación, ya que involucra numerosas variables, imprevistos y riesgos, tanto técnicos como de seguridad y salud ocupacional (SST). La mano de obra asignada a estas tareas trabaja en espacios confinados y a profundidades considerables, lo que añade complejidad y riesgo a la labor. Desde una perspectiva técnica, se recomienda contar con equipos adecuados para aumentar la eficiencia de la construcción de los elementos estructurales, como taladros

neumáticos para agilizar la excavación, sistemas de extracción de material excavado (preferiblemente motorizados) y sistemas de extracción de agua, si es necesario. También es fundamental establecer áreas de protección con losas de concreto y anillos de seguridad en la parte superior de las excavaciones para prevenir la erosión del suelo, la entrada de agua y posibles caídas de trabajadores. Es necesario supervisar constantemente aspectos como el espesor, el acero y la calidad del concreto, siguiendo las recomendaciones de ingenieros estructurales y geotécnicos, ya que estos elementos son cruciales para garantizar la estabilidad a profundidades significativas. La supervisión también es esencial para verificar la correcta instalación del acero y sus separadores, cumpliendo con los recubrimientos recomendados, así como para garantizar el adecuado vaciado de concreto mediante el uso de tuberías hasta el fondo, recomendándose la utilización de autobombas para facilitar el proceso.

Adicional a esto, desde un punto de vista técnico, al llevar a cabo la construcción de cajones de cimentación, es imperativo contar con equipos adicionales para aumentar la eficiencia en la construcción de estos elementos estructurales. Dichos equipos pueden incluir taladros neumáticos, que aceleran el proceso de excavación. Esta práctica se aplicó en los barrios La Victoria, Fátima y San Miguel en la parte alta de la ciudad el 28 de febrero. Además, se debe considerar la implementación de un sistema de extracción de material excavado, que puede ser impulsado por motores de gasolina o eléctricos, aunque este sistema no se utilizó en esta ocasión. En casos en los que sea necesario, se debe prestar atención al sistema de extracción de agua, pero con precaución, ya que las bombas sumergibles eléctricas pueden representar un riesgo de descarga eléctrica para los trabajadores, y tampoco se utilizaron en esta ocasión, en la figura 13

se muestra la acumulación de agua en uno de los pozos de cimentación, ubicado en el sector de Fátima.

Figura 13.

Extracción de agua en cajones de cimentación, sector Fátima.



Nota. Autores, 2023.

Además, se recomienda la creación de un área de protección en la parte superior de las excavaciones, que debe incluir una losa de concreto y un anillo de seguridad que sobresalga. Esta

área de protección cumple la función de prevenir la erosión del suelo, la entrada de agua y las posibles caídas de trabajadores. Durante el proceso, es fundamental inspeccionar tanto el diámetro como la verticalidad de las excavaciones. Asimismo, se debe mantener una supervisión constante del espesor, acero y calidad del concreto, siguiendo las recomendaciones proporcionadas por el ingeniero estructural y el geotecnista, ya que estos aspectos son cruciales para garantizar la estabilidad del suelo a mayores profundidades (ver figura 14). La correcta instalación del acero y sus respectivos separadores, junto con el cumplimiento de los recubrimientos recomendados, debe ser supervisada de manera diligente. Para garantizar el adecuado vaciado del concreto, se recomienda utilizar tuberías que lleguen hasta el fondo de la excavación. En este sentido, se sugiere la utilización de autobombas, ya que facilitan un vaciado preciso; esta práctica se llevó a cabo en el barrio La Victoria.

Figura 14.

Armado del acero en cajón de cimentación.



Nota. Autores, 2023.

Cuando se trata de la seguridad y salud en el trabajo (SST) en espacios confinados, es crucial considerar varios aspectos. El uso de extractores de polvo es necesario, especialmente

cuando se emplea un compresor neumático, ya que estos dispositivos generan aire a presiones superiores a 120 PSI, lo que resulta en la emisión de grandes cantidades de polvo. No obstante, en esta ocasión, no se utilizó un extractor de polvo.

Para mantener una buena calidad del aire y controlar el polvo, se debe implementar un sistema de ventilación adecuado, además de un sistema de aspersion. Los trabajadores deben estar equipados con arneses y líneas de seguridad, las cuales deben estar conectadas a un sistema de extracción rápida que pueda ser activado en caso de que ocurra algún incidente. Para reducir el riesgo de enfermedades laborales ocasionadas por largos periodos de trabajo en posturas incómodas, se recomienda realizar relevos de personal de excavación periódicamente. La prevención de incidentes relacionados con el consumo de alcohol es esencial y se logra a través de controles de alcoholemia antes y durante la jornada laboral. La formación en seguridad en altura debe ser supervisada y garantizada. La vigilancia constante del personal de excavación es una medida estricta que se debe aplicar de manera rigurosa para evitar cualquier tipo de incidente. La utilización de implementos de seguridad y la provisión de dotación adecuada son fundamentales en todo momento para garantizar la seguridad de los trabajadores.

5 Conclusiones

La importancia de realizar un seguimiento y control precisos en las actividades constructivas de cimentaciones profundas mediante cajones de cimentación o Caisson se refleja en la garantía de la seguridad estructural y la prevención de posibles fallas o desviaciones en los proyectos. La labor de interventoría desempeña un papel esencial al asegurarse de que se cumplan estrictamente las especificaciones técnicas, lo que contribuye a la durabilidad y estabilidad de las estructuras. Este enfoque adquiere una relevancia significativa en el contexto colombiano, donde la modernización de la infraestructura vial es una piedra angular para el desarrollo económico del país. El control técnico adecuado garantiza la utilización eficaz de los recursos invertidos en estos proyectos y evita el desvío de recursos públicos. Esta labor de supervisión es especialmente evidente en los proyectos llevados a cabo en los sectores de San José de Cúcuta, como los trabajos realizados en los barrios La Victoria, Fátima, San Miguel, 28 de febrero.

La promoción de un entorno de trabajo seguro en espacios confinados es de suma importancia en la construcción de cimentaciones profundas. Dado que estas actividades conllevan riesgos significativos para la seguridad de los trabajadores, la correcta implementación de medidas de seguridad se vuelve fundamental. La presencia de una persona competente que actúe como vigía en estos entornos resulta esencial para prevenir accidentes y situaciones de riesgo. La identificación y aplicación de medidas de protección adecuadas, así como la formación y el seguimiento continuo del personal, contribuyen en gran medida a la reducción de

incidentes laborales y garantizan la salud y seguridad de los trabajadores en estos espacios críticos.

Por último, la existencia de un sólido marco normativo y de rigurosos controles técnicos en la construcción de cimentaciones profundas tipo Caisson es fundamental para garantizar la calidad y la integridad de las estructuras. Estas normas y pautas técnicas proporcionan una guía precisa que debe seguirse meticulosamente para llevar a cabo proyectos de construcción de manera segura y eficiente. El seguimiento y control adecuado de estos aspectos asegura la conformidad con la ley y las normas técnicas, lo que, a su vez, contribuye a la confiabilidad y durabilidad de las estructuras. Además, esta atención a los detalles evita costosos errores y asegura el éxito de los proyectos de construcción en Colombia, incluyendo las obras realizadas en los sectores antes mencionados del municipio de Cúcuta.

En este sentido, se desatacan algunas de las falencias encontradas en desarrollo de esta monografía, tanto en el aspecto documental, como en el análisis de experiencia realizado en los tres sectores de la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, donde se llevaron a cabo actividades en las que se hizo uso de fundaciones con cajones de cimentación o caisson como se muestra a continuación.

1. Uso de Equipos Específicos:

Uno de los principales aspectos en los que se ha identificado una falta de atención en la supervisión técnica es el uso de equipos específicos. En proyectos de esta naturaleza, se

requieren herramientas y maquinaria especializada para garantizar la eficiencia y calidad del trabajo. En el proceso constructivo y en las listas de chequeo incluidas en este documento se destaca la importancia de contar con equipos como taladros neumáticos para acelerar la excavación. Esta recomendación aborda la falta de utilización de herramientas adecuadas que, de lo contrario, pueden resultar en un trabajo más lento y menos preciso. Se sugiere que los supervisores insistan en la necesidad de contar con este tipo de equipos para optimizar el proceso de construcción.

2. Extracción de Material y Agua

Otra falencia que se ha observado es la falta de atención a la extracción de material excavado y de agua. En los proyectos analizados se observó la necesidad de sistemas de extracción de material, ya sea mediante motores a gasolina o eléctricos. Esto es crítico para mantener el área de trabajo limpia y garantizar la seguridad del personal, es por esto que de ser necesario se debe implementar un sistema de extracción de agua. Sin embargo, se debe tener precaución con respecto a las bombas sumergibles eléctricas, ya que pueden representar un riesgo de descarga para los trabajadores.

3. Áreas de Protección

La construcción de áreas de protección, que consisten en losas de concreto y anillos de seguridad en la parte superior de las excavaciones, es otro punto crítico que se ha pasado por alto en la supervisión técnica. Estas áreas son esenciales para prevenir la erosión del suelo, la entrada

de agua y posibles caídas de trabajadores. En este sentido se hace necesario que los supervisores no solo exijan la construcción de estas áreas, sino que también inspeccionen el diámetro y la verticalidad de las excavaciones para asegurarse de que se cumplan los estándares de seguridad.

4. Control de Calidad

Se destaca la importancia de la supervisión constante del espesor, el acero y la calidad del concreto recomendado por el ingeniero estructural y geotecnista en la construcción de los anillos de seguridad. La calidad de estos elementos es fundamental para garantizar la estabilidad a profundidades significativas. Es importante que los supervisores realicen una supervisión más rigurosa de estos aspectos, incluyendo la correcta instalación del acero y sus separadores, garantizando los recubrimientos recomendados.

5. Vaciado de Concreto

Otro aspecto crítico en la supervisión técnica es el correcto vaciado de concreto. Se sugiere la utilización de tuberías que lleguen hasta el fondo de la excavación y, cuando sea posible, el uso de autobombas para facilitar el proceso. Esta recomendación se hace para evitar problemas de vaciado que pueden comprometer la integridad de la cimentación.

6. Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)

La seguridad y salud en el trabajo en espacios confinados es un tema crucial que a menudo se pasa por alto en la supervisión técnica. Se enfatiza la necesidad de implementar medidas como extractores de polvo, sistemas de ventilación y sistemas de aspersión para controlar el polvo. Además, se sugiere la implementación de arneses y líneas de seguridad para el personal que trabaja en excavaciones. El relevante punto de realizar relevos de personal periódicamente para evitar enfermedades laborales ocasionadas por largas horas de trabajo en malas posturas también es destacado. En la experiencia en este tipo de obras y teniendo en cuenta el personal que allí labora, se plantea la necesidad de realizar controles de alcoholemia antes y durante la jornada laboral y supervisar la capacitación en seguridad en altura. La vigilancia constante del personal de excavación se considera una medida estricta para evitar cualquier tipo de incidente. El uso de implementos de seguridad y provisión de dotación adecuada es fundamental en todo momento para garantizar la seguridad de los trabajadores.

Dada las falencias encontradas en los proyectos revisados en el apartado documental del trabajo de grado, se ha realizado una revisión según la normativa vigente, como el manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas y la norma CCP14 del Invias y la NSR-10 de los controles técnicos que deben llevarse a cabo para la correcta ejecución de las tareas enfocándose en la calidad de las obras.

Control de Planos:

Para garantizar un control efectivo de planos, se debe seguir la normativa colombiana de construcción, que incluye la NSR-10, para la elaboración y revisión de los planos estructurales y

de cimentación. Esto implica asegurarse de que todos los planos cumplan con los requisitos y detalles necesarios para la construcción de cajones de cimentación. Además, es esencial que se realice una revisión minuciosa de los planos por parte de un ingeniero estructural para garantizar su integridad y cumplimiento de normativas.

Control de Especificaciones:

Se debe asegurar que la construcción cumpla con las especificaciones técnicas contenidas en la normativa colombiana, como la NSR-10 y las especificaciones particulares contenidas en los planos. Los supervisores deben ser rigurosos al comparar lo ejecutado en obra con lo que se especifica en los planos y la normativa.

Control de Materiales:

Para garantizar que los materiales utilizados cumplan con los requisitos de calidad, es necesario seguir la normativa colombiana que rige la calidad de los materiales de construcción, como las normas técnicas NTC. Además, se debe realizar un seguimiento constante a los resultados de los ensayos de materiales para asegurarse de que cumplen con las normas. En caso de detectar materiales defectuosos, deben ser reemplazados y documentados adecuadamente.

Control de Calidad

La normativa colombiana, como la NSR-10, las normas NTC y los ensayo para carreteras del Invias establecen los procedimientos y estándares para llevar a cabo ensayos de materiales y productos terminados. Los supervisores deben garantizar que estos ensayos se realicen conforme a lo estipulado en los planos. Los resultados de estos ensayos deben ser documentados y verificados. Si se identifican problemas de calidad, se deben tomar medidas correctivas antes de proceder con la construcción.

Control de la Ejecución:

Los supervisores deben asegurarse de que la obra se ejecute de acuerdo a estos requisitos. Esto implica la verificación constante de la obra en relación con los planos, especificaciones y requisitos de construcción.

Control a elementos no estructurales:

Los elementos no estructurales, como sistemas de drenaje y otros, también deben cumplir con los requisitos establecidos por los manuales mencionados en el documento. Los supervisores deben asegurarse de que estos elementos se ejecuten de acuerdo a los planos y las especificaciones técnicas.

6 Recomendaciones

Dado que el trabajo seguro en espacios confinados es de suma importancia en la construcción de cimentaciones profundas, se sugiere encarar investigaciones exhaustivas y documentar las mejores prácticas para la gestión de la seguridad en tales entornos. Estas investigaciones deberían abarcar la identificación de medidas preventivas para mitigar riesgos, la capacitación adecuada del personal, la instauración de protocolos de respuesta ante emergencias eficaces, y la evaluación de la eficacia de equipos de protección personal específicos. Realizar este tipo de investigaciones puede contribuir significativamente a reducir la incidencia de accidentes y, en última instancia, garantizar un entorno de trabajo más seguro para los trabajadores involucrados en la construcción de cajones de cimentación en Colombia.

El análisis de las experiencias en la construcción de cajones de cimentación, junto con una descripción paso a paso del proceso constructivo involucrado en estas actividades y las recomendaciones que se derivan de ellas, aporta de manera sustancial a la adecuada supervisión y control de las obras de cimentación, particularmente cuando se trata de la utilización de caissons. Estas valiosas lecciones aprendidas brindan directrices cruciales que pueden ser de gran utilidad en proyectos futuros en la región, lo que se traduce en mejoras tanto en la eficiencia como en la seguridad de las obras de cimentación profunda.

Referencias

- Academia. (2020). Concreto: Generalidades, propiedades y procesos.
- Altube , I. (2015). *Trabajos en recintos confinados*. Bilbao: Osalan, Eusko Jaurlaritza, Instituto de Formación. Obtenido de <https://prevencion.umh.es/files/2016/01/trabajosespaciosconfinados.pdf>
- Arias Chica , M. (2019). *Diseño de un manual teórico para el trabajo seguro en espacios confinados con atmósferas explosivas en estaciones de regulación y medición en la red de distribución de gas natural*. Cali: Institución Universitaria Antonio José Camacho. [Tesis de pregrado]. Obtenido de <https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/930>
- Ayala , M. (2015). Mejoramiento de la vía terciaria vereda San Rafael en el municipio de La Calera mediante la aplicación de PROBASE Road System . *Universidad Militar Nueva Granada* , 1-24.
- Barbosa , D., & Rincón , M. (2020). Analisis de la interventoria en el sector público y privado en Colombia. *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/412/1/33687.pdf>
- Cañon , N. (2021). *Propuesta para el diseño de un Programa de Gestión para trabajo en espacios confinados en la Universidad Militar Nueva Granada, según la resolución 0491 de 2020*. Bogotá: Universidad ECCI [Tesis de pregrado]. Obtenido de <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1233/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Celis España, M. (2023). *Supervisión Técnica Del Proceso Constructivo De Cimentación En Pilotes Tipo Caisson*. Bogotá D.C. : Universidad Cooperativa de Colombia.

Cesar, S. H. (2010). *Interventoria de Proyectos y Obra*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Congreso de la República . (05 de Febrero de 2002). *Ley 734 de 2002* . Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0734_2002.html

Congreso de la Republica . (12 de Julio de 2011). *Ley 1474 de 2011* . Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1474_2011.html

Congreso de la República. (1993). *Ley 105 de 1993*. Bogotá, D.C. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=296>

Constitución Política de Colombia. (1991).

Contreras , S., & Nuñez, I. (2022). *Elaboración del procedimiento de trabajo en espacios confinados bajo la resolución 0491 de 2020 para excavaciones en la construcción de caissons en la empresa Acosta y Acosta de Tauramena Casanare*. Bucaramanga: Universidad Santo Tomas [Tesis de Pregrado].

Cuá Chavez, C. (2015). *Análisis y Diseño de Pilas Perforadas de Cimentación para Suelos no Cohesivos (Tesis de grado)*. Universidad San Carlos de Guatemala: Guatemala.

Das, B. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones*. Mexico D.F. : International Thompson Editores.

Diario Oficial de Colombia . (19 de Junio de 1874). Ley 41 de 1874, del 19 de junio de 1874. *Diario Oficial*, pág. 1801.

Diario oficial de Colombia . (06 de Junio de 1888). Resolución de Obras Públicas, del 6 de junio de 1888. *Diario Oficial*, pág. 580.

Diario Oficial de Colombia . (11 de Mayo de 1935). Decreto 843 de 1935, del 11 de mayo de 1935. *Diario Oficial* , pág. 637.

- Echavez Mercado , R. (1975). *Cimentación por Pilotes*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Fondo Colombia en Paz. (2019). *Manual de supervisión e Interventoría* . Bogotá D. C. .
- Función Pública de Colombia . (5 de septiembre de 2008). *Concepto 2386 de 2018 Consejo de Estado - Sala de Consulta y Servicio Civil*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=88640>
- García , A., & Realpe, J. (2014). *Desarrollo del procedimiento de trabajo seguro (pts) para las actividades que se realizan en espacios confinados de la Universidad ICESI*. Medellín : Universidad ICESI [Tesis de pregrado].
- HNA Ingeniería LTDA. (2023). *Especificaciones técnicas particulares de construcción puente vehicular en concreto postensado de 45 m sobre el Río Amoya*. Bogotá D.C. Obtenido de http://www.fonade.gov.co/Contratos/Documentos/4679__20150810104821ESPECIFICACIONES%20TECNICAS%20OPC%20031-2015%20-%20ADENDA%20No.%2002.pdf.
- Ibamora Instalaciones. (13 de abril de 2018). *Obra Civil* . Obtenido de <http://ibamora.com/obra-civil/>
- Instituto Nacional de Vías. (2012). *Especificaciones Generales de Construcción de carreteras*.
- Instituto Nacional de Vías. (2016). *Manual de Interventoría Obra Pública*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Vías. (2017). *Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella*. Bogota D.C.
- Instituto Nacional de Vías. (2022). *Informe de gestión 2022*. Bogotá D. C.: Invías. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/hechos-de-transparencia/planeacion-gestion-y-control/informes-de-gestion/14663-informe-de-gestion-2022/file>

Instituto Nacional de Vías. (2012). Norma Colombiana de diseño de puente CCP14 . Bogotá D.C.

Instituto Nacional de Vías. (2012). Manual de Diseño de Cimentaciones Superficiales y Profundas para Carreteras. Bogotá D.C.

Jiménez Morieones, M. F. (2007). *Interventoria en Proyectos Públicos* . Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

Ley 1474. (12 de Julio de 2011). Diario Oficial No. 48.128 de 12 de julio de 2011.

Ley 41. (19 de Junio de 1874). Diario Oficial de Colombia, Poder Legislativo. Bogotá.

Ley 734. (13 de Febrero de 2002). Diario Oficial No. 44.708 de 13 de febrero de 2002.

Ley 80 . (28 de Octubre de 1993). Diario Oficial No. 41.094 de 28 de octubre de 1993.

Marote, G. (06 de Diciembre de 2018). *Cuchara Bivalva*. Obtenido de Escuela Geotécnica Ingeniería Geotécnica y Cimentaciones Especiales:

<https://escuelageotecnica.com/temas/cuchara-bivalva/>

Mendez Anillo, R. (2012). *Pilote con bentonita*. Slide Share.

NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción de Sismo Resistente.

Ramirez , R. (2020). *Análisis de la Gestión Preventiva de Trabajo en espacios confinados en Colombia*. Bogotá D.C.: Universidad Militar Nueva Granda. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37038/Ram%C3%ADrezAlb>

Real , D. F. (2021). *Importancia e los manuales de interventoria dentro de los sistemas de gestión en el ejercicio de la interventoría en Colombia* . Bogotá D.C. : Universidad Militar Nueva Granada .

Romero , C. (2015). LA interventoría como forma de supervisión de proyectos: la experiencia colombiana. *Sibragec Elagec*, 1-9. Obtenido de

https://www.researchgate.net/profile/Camilo-Romero-8/publication/312590647_LA_INTERVENTORIA_COMO_FORMA_DE_SUPERVISION_DE_PROYECTOS_LA_EXPERIENCIA_COLOMBIANA/links/58847dac4585150dde4598d3/LA-INTERVENTORIA-COMO-FORMA-DE-SUPERVISION-DE-PROYECTOS-LA-EXPERIEN

Romero , C., & Vargas, H. (2015). La interventoría como forma de supervisión de proyectos: La Experiencia Colombiana. *Sibragec Elagec*, 1-8. Obtenido de

https://www.researchgate.net/profile/Camilo-Romero-8/publication/312590647_LA_INTERVENTORIA_COMO_FORMA_DE_SUPERVISION_DE_PROYECTOS_LA_EXPERIENCIA_COLOMBIANA/links/58847dac4585150dde4598d3/LA-INTERVENTORIA-COMO-FORMA-DE-SUPERVISION-DE-PROYECTOS-LA-EXPERIEN

Ropero, C. (2017). *Apoyo como auxiliar de ingeniería en la supervisión del proyecto “Centro de Integración Ciudadana Sector Cuesta Blanca”*, en la *Secretaría de Vías, Infraestructura y Vivienda de la Alcaldía Municipal de Ocaña*. Ocaña : [Tesis de pregrado] Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña .

Sánchez Henao, J. C. (2007). *Gestión organizativa en el proceso edificatorio: regulación de la interventoría de proyectos en Colombia*. Medellín.

Superintendencia de Sociedades. (2020). *Superintendencia de Sociedades*. Obtenido de https://www.supersociedades.gov.co/delegatura_insolventia/auxiliares_justicia/Paginas/preguntas_frecuentes/que-es-un-interventor.aspx

The South African National Roads Agency Limited. (2001). *Construction: Monitoring Manual for Bridges and Structures*. Pretoria. Obtenido de

http://www.nra.co.za/content/C_M_Manual_Bridges_Structures2.pdf

Universidad Industrial de Santander. (2012). *Procedimiento de trabajo seguro en espacios*.

Bucaramanga: UIS. Obtenido de

<https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/talento%20humano/salud%20ocupac>