

PATOLOGÍA PREVENTIVA EN CIMENTACIONES DE EDIFICIOS DE GRAN ALTURA

1-2016



Estudiantes:

Diana Jazmín Benítez Pinzón
Luis Alejandro Moreno
William Javier Andrade

Docente:

Ing. Carlos Andrés García Páez

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
VICERRECTORÍA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA
ESPECIALIZACIÓN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
CIUDAD, BOGOTÁ
AGOSTO 2017

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO GENERAL	7
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. ALCANCE	10
5. METODOLOGÍA.....	10
6. PREPARACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	11
6.1 Inspección preliminar del paciente	11
6.2 Información necesaria para el estudio	11
6.3 Proceso de recopilación de información en el campo.....	11
6.4 Alcances de la exploración.....	11
6.5 Permisos y autorizaciones del paciente	12
6.6 Definición de los medios para realizar la exploración	12
6.7 Definición del equipo de trabajo que realiza la exploración	12
6.8 Medidas preventivas durante la exploración	12
7. MARCO LEGAL	13
8. HISTORIA CLÍNICA	14
8.1 Responsables del estudio	14
8.2 Fecha de realización del estudio:	14
8.3 Autorización del estudio:	14
9. ESTUDIO DE CASO TORRE NORTE PROYECTO ATRIO	15
9.1 DATOS GENERALES DEL PACIENTE (ATRIO- TORRE NORTE)	15
9.1.1 Ubicación específica.....	16
9.2 Localización	17
9.3 Uso del sector y normatividad:	18
9.4 Edificaciones u obras vecinas	18
9.5 Medio ambiente	19
9.6 La temperatura y humedad	20
9.7 Precipitaciones	20
9.8 La velocidad del viento	22
9.9 Movimientos en masa.....	22
9.10 Sismicidad	23
9.11 Topografía	23
9.12 El nivel freático y escorrentías.....	23
9.13 Sistemas de coberturas vegetales	23
9.14 Arquitectura.	24
9.1 Representación gráfica.....	24
9.2 La estructura.....	24

9.3	Calificación de la estructura:	25
9.4	Determinación de la zona sísmica, el valor de la Aa Y Av.	25
9.5	Determinación de las cargas sobre los elementos.....	27
9.6	Estudios y diseños realizados	28
9.7	Análisis de vulnerabilidad sísmica de la estructura.....	28
9.8	RELACIÓN ENTRE DEMANDA Y CAPACIDAD	28
9.8.1	Pisos y altura de la edificación	29
9.8.2	Área de la edificación	29
9.8.3	Licencias de construcción	29
9.8.4	Habitabilidad	29
9.8.5	Información existente	29
9.8.6	Fidelidad de los planos	30
9.8.7	Constatación de estado.....	30
9.9	DESCRIPCIÓN DE LA CIMENTACIÓN	30
9.9.1	Control de calidad realizado	33
9.9.2	Control técnico implementado en el proceso de pilotaje.....	35
9.9.2.1	Condiciones generales	35
9.9.2.2	Prueba Cross Hole	36
9.9.2.3	Prueba de carga dinámica Down Hole	41
9.10	PROCESO DE EXCAVACIÓN	43
9.10.1	Fabricación de anclajes tieback en sótano 4 costado occidental	46
9.10.2	Controles de presión de los muros de contención a través de celdas de carga.....	48
9.11	PRECALIFICACIÓN DEL CONCRETO ANTES DE INICIAR EN OBRA.....	49
9.11.1	Tipo de Estructura	49
9.11.2	Evaluación física y mecánica del concreto y/o material	49
9.11.3	Control de calidad de la mezcla de concreto	52
9.11.3.1	Aspectos generales para tener en cuenta.....	52
9.11.3.1.1	Muestreo (ASTM C 172).....	55
9.11.3.1.2	Transporte de muestras (NTC 550).....	56
9.11.3.2	Propiedades en estado fresco Concreto Convencional (CVC)	57
9.11.3.2.1	Manejabilidad de la mezcla de concreto ASTM C143.....	57
9.11.3.2.2	Pérdida de manejabilidad en el tiempo	58
9.11.3.2.3	Contenido de aire (ASTM C231) y Masa Unitaria (ASTM C138	59
9.11.3.2.4	Temperatura del concreto (ASTM C1064)	61
9.11.3.3	Propiedades mecánicas del concreto endurecido CVC	62
9.11.3.3.1	Compresión de cilindros ASTM C39	62
9.11.3.4	Control térmico	66
10.	CONCLUSIONES	72
11.	RECOMENDACIONES	73

12. BIBLIOGRAFIA.....	74
-----------------------	----

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 proyección de las torres Atrio	15
Ilustración 2 localización del proyecto.....	16
Ilustración 3 localidad	17
Ilustración 4 Planeación zonal de la upz	17
Ilustración 5 localización específica	18
Ilustración 6 localización específica	19
Ilustración 7 promedio de precipitaciones anuales en Bogotá.	20
Ilustración 8 Distribución de eventos potenciales por remoción en masa.	22
Ilustración 9 representación grafica.....	24
Ilustración 10 zona sísmica de Bogotá coeficiente Aa.	26
Ilustración 11 zona sísmica de Bogotá coeficiente Av	27
Ilustración 12 Resumen de pilotes y pantallas fundidos	31
Ilustración 13 convenciones	31
Ilustración 14 esquema de medición para el ensayo CSL	37
Ilustración 15 esquema de medición para el ensayo CSL	38
Ilustración 16 planta general – ubicación de instrumentación Geotécnica.	46
Ilustración 17 ubicación de anclajes y celdas.	48
Ilustración 18 Ubicación de las termocuplas.....	69
Ilustración 19 curva térmica concretera 1	70
Ilustración 20 curva térmica concretera 2	71

Lista de fotografías

Fotografía 1 excavación muros pantalla	32
Fotografía 2 Colocación de acero de refuerzo de pilotes.	32
Fotografía 3 Prueba para integridad de pilotes	36
Fotografía 4. Identificación de tuberías del ensayo CSL	40
Fotografía 5 Ensayo de carga dinámica.....	41
Fotografía 6 proceso de excavación.....	44
Fotografía 7 métodos de excavación.....	44
Fotografía 8 instrumentación utilizada.....	45
Fotografía 9 perforaciones para anclajes tieback.	47
Fotografía 10 celdas de control de presión.	47
Fotografía 11 Toma de muestras	56
Fotografía 12 transporte de muestras	57
Fotografía 13 SLUMP	58
Fotografía 14 pérdida de manejabilidad	59
Fotografía 15 contenido de aire.....	59
Fotografía 17 control térmico	69

Lista de tablas

Tabla 1 normativa aplicada al proyecto.	13
Tabla 2 valores Aa y Av	23
Tabla 3 Características Constructivas del pilote.	41
Tabla 4 Propiedades del concreto evaluadas.	51
Tabla 5 aspectos a tener en cuenta.....	54
Tabla 6 Análisis estadístico	62

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2007 el Grupo Neme adquirió el lote en la Avenida Caracas con Avenida Eldorado, que era propiedad de Luis Carlos Sarmiento Angulo, donde alguna vez se pensó construir la sede del Banco de la República. En el lugar se pretendía construir un complejo inmobiliario de poca altura, pero estando en la etapa de diseño apareció la posibilidad de adquirir el lote adjunto, ya que el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo resolvió vender el Centro de Convenciones Gonzalo Jiménez de Quesada y el parqueadero contiguo. La unión de todos los lotes permitió conformar dos que conforman entre ellos 17 000 m² y con los que se empezó a plasmar la idea de construir un solo proyecto mucho más grande que el que se tenía pensado, primeramente.

El proyecto se divide en dos fases: la primera, es la torre norte con 50 000 m² de oficinas, 4600 m² de servicios públicos y 1800 m² de venta al por menor que se encuentra en construcción actualmente y que el 19 de enero de 2015 empezó a operar la maquinaria encargada de construir la cimentación de esta torre. Se estima que se completará la primera torre en el año 2019.

El inicio de la construcción de la torre sur, que será la más alta, está programado para finales del año 2018.

El proyecto ATRIO (torre norte) se seleccionó como paciente ya que es uno de los proyectos ejemplares en el país, impulsando el control de calidad técnico en proyectos de estructuras de gran altura.

2. OBJETIVO GENERAL

Identificar los mejores métodos preventivos que se pueden aplicar durante la ejecución de las construcciones para así evitar futuras lesiones en las cimentaciones de concreto reforzado y garantizar la durabilidad de la estructura.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificación de los diseños contra la norma sismo resistente vigente.
- Verificación de la fidelidad de los planos con respecto a lo ejecutado.
- Realizar seguimientos a los métodos constructivos utilizados durante la ejecución de la obra.

3. JUSTIFICACIÓN

Aunque la patología de la construcción es considerada para muchos profesionales como la ciencia que estudia las lesiones que se presentan durante el funcionamiento de la edificación o la estructura, se decidió basar este TPI en la premisa del libro “Patología de Cerramientos y Acabados Arquitectónicos”, donde dice,

“la patología constructiva en Edificación es una “aproximación “de la arquitectura a la medicina, en la que el arquitecto es el “medico de las obras”, para aplicar sobre ellas, tanto lo que hemos llamado “Patología preventiva” como lo que podríamos denominar “Patología curativa”... (Juan Monjo Carrio, 1994, pág. 23)

..

En otro de los apartes de este libro se menciona diversos estudios realizados en diferentes países incluido España, donde los resultados arrojados para las causas indirectas generadoras de los procesos de degradación de las estructuras son los siguientes,

Proyecto.....40%

Ejecución.....35%

Material.....15%

Mantenimiento.....10%

(Juan Monjo Carrio, 1994, pág. 38)

Debido a que más de un 60% de las patologías inician o son consecuencias de malos procesos en las primeras dos etapas de los proyectos, “Diseño que en este caso se refieren como proyecto y “Ejecución”, se decidió enfocar este trabajo en la Patología preventiva.

Justificación Social

Las torres ATRIO es un proyecto arquitectónico urbano donde las dos terceras partes del mismo se dedicarán a espacios abiertos para el disfrute de los bogotanos y visitantes de la ciudad. Por esta zona, se calcula que circulan diariamente más de 72.000 personas, entre estudiantes, empresarios y público en general, que, a partir de la entrega del proyecto, podrán beneficiarse de estas zonas, además contara con más de 30.000 m² en zona comercial y hotelera y 172.000 m² de espacio para oficinas.

Justificación Económica

La construcción de este mega proyecto en el corazón de Bogotá tendrá un costo de más de 550 millones de dólares, es por esto que consideramos que siendo una obra tan representativa e importante para la ciudad de Bogotá y a pesar de que hasta el momento solo este construido la totalidad de sus cinco niveles de sótanos, pensar en demoler los elementos que durante su construcción puedan quedar mal ejecutados traería como consecuencia atrasos en obra, o aun peor que por mal control de calidad no se cumplan las especificación requeridas y que en un futuro esas omisiones puedan llegar a catástrofes como la caída del edificio, esto no solo dejaría perdidas económicas multimillonarias sino que muy posiblemente dejaría pérdidas humanas que serían invaluable, es por esta razón que se hace indispensable el control de los trabajos y las buenas prácticas tanto en diseño como en obra para no presentar patologías prematuras.

Justificación Ambiental

Sabiendo que este es un mega proyecto, debemos tener en cuenta que ya el emplazamiento de materiales es muy alto y la cantidad de recursos naturales que se emplean también, por ejemplo, el agua, por lo anterior si logramos cambiar y guiar a los profesionales que participan en este proyecto así las buenas prácticas constructivas, podremos hacer que el impacto ambiental sea menor porque no estaremos haciendo reprocesos los cuales conllevan a un incremento del impacto ambiental.

4. ALCANCE

Para desarrollar este trabajo se realizará el estudio, seguimiento y análisis de los métodos constructivos ejecutados en la cimentación de la torre norte, puesto que el paciente se encuentra actualmente en construcción.

5. METODOLOGÍA

La metodología de este estudio será de la siguiente manera:

1. Selección del paciente a evaluar.
2. Realización de la historia clínica del paciente.
3. Análisis del sistema de control de calidad.
4. Investigación y realización del marco legal del proyecto.
5. Identificación de las actividades.
6. Elaboración de las conclusiones.

6. PREPARACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

6.1 Inspección preliminar del paciente

Inicialmente se realizarán visitas a campo para conocer el paciente, su sistema constructivo y los métodos constructivos que se realizan. Se trata de una obra en construcción en el centro financiero de la ciudad que se proyecta como el punto de desarrollo del país.

6.2 Información necesaria para el estudio

Con base en el diseño del proyecto será necesario conocer más a fondo la norma de durabilidad, conocer el tipo de concreto utilizado para su construcción y métodos de vaciado. Los registros fotográficos que se puedan recopilar sobre la evolución de la obra serán base fundamental para el estudio.

6.3 Proceso de recopilación de información en el campo

Para esta actividad realizaremos el seguimiento de los cambios que pueda ir teniendo los elementos analizados. Mediante pruebas de campo sobre los mismos se podrán obtener datos que permitan el análisis.

6.4 Alcances de la exploración

El proyecto tiene dentro de sus alcances la identificación de los procesos y sistemas constructivos más adecuados que permitan el desarrollo de medidas técnicas que puedan de forma adecuada

generar métodos de mitigación ante los diferentes ambientes que puedan afectar el proceso constructivo y la vida útil de la estructura.

6.5 Permisos y autorizaciones del paciente

Inicialmente se realizó un acercamiento con las directrices de la obra, para formalizar el proceso a seguir para el ingreso durante un tiempo determinado, la primera visita se realizó el pasado 16 de junio del 2016. La respuesta de confirmación fue dada por el Gerente de Construcción de la obra.

6.6 Definición de los medios para realizar la exploración

Los recursos que se utilizarán para llevar a cabo este estudio patológico serán con recursos propios de cada uno de los profesionales que conforman el equipo.

6.7 Definición del equipo de trabajo que realiza la exploración

Se cuenta con un grupo interdisciplinario, con experiencia en varios ámbitos que se complementan entre sí para que los argumentos y propuestas siempre sean en beneficio del proyecto. Las diferentes experiencias profesionales de cada uno de los integrantes del equipo están viva desde la perspectiva de la construcción, materiales y control de calidad.

6.8 Medidas preventivas durante la exploración

Para poder hacer las visitas correspondientes al proyecto tuvimos que llevar lo siguiente:

- Parafiscales al día de cada uno de los integrantes, especificando riesgo # 5 en la ARL.
- Casco
- Botas
- Gafas
- Tapa oídos.

7. MARCO LEGAL

Se adoptó la terminología de la ley 400 de 1997 expedida por el congreso de la república y la terminología contenida en el reglamento colombiano de la construcción sismo-resistente NSR-10 para fijar las responsabilidades de cada uno de los profesionales que hacen parte del proyecto ATRIO.

En la siguiente tabla podemos encontrar las normas más relevantes con las que se ha trabajado en este proyecto y su cumplimiento en obra.

Tabla 1 normativa aplicada al proyecto.

DESCRIPCION	NORMA	CUMPLE	NO CUMPLE
Para la elaboración de elementos en concreto reforzado para los sótanos se siguieron las siguientes normas:	• ACI 301S-10 ESPECIFICACIONES PARA CONCRETO ESTRUCTURAL • ACI 301M-10 SPECIFICATIONS FOR STRUCTURAL CONCRETE • ACI 117M-10 SPECIFICATIONS FOR TOLERANCES FOR CONCRETE CONSTRUCTION	X	
Las dosificaciones propuestas de los concretos se realizaron de acuerdo a los requisitos y la documentación requerida	NSR-10 SECCIONES: C.5.1 a C.5.5 ACI 3012-10 SECCION 4	X	
Para las barras de refuerzo y tolerancias se tuvo en cuenta la siguiente normativa.	• ACI 301S-10 sección 3.2.1.1 • Reglamento NSR-10, sección C.3.5.3, C.12.14.3 y C.21.1.6 • Norma NTC 2289 (ASTM A706M) • ACI 117M-10	X	
Para la comprobación de calidad de los materiales	ACI 301S-10. SECCION: 1.6.6.1	X	
Para la utilización de soldadura	• Reglamento NSR-10, secciones C.12.14.3 y C.21.1.7 • Norma NTC 4040 (AWS D1.4)	X	
Para los materiales del concreto	• NTC 121 • NTC 312 • ASTM C150	X	
Para los recubrimientos del acero en el concreto	NSR-10 SECCION: C.7.7.1	X	
Para garantizar la durabilidad de las obras	NTC 5551Y NSR-10 C4	X	

Fuente: Diana Benitez

8. HISTORIA CLÍNICA

8.1 Responsables del estudio

Para el estudio del proyecto ATRIO (torre Norte) se conformó un equipo interdisciplinario conformado por un constructor y gestor en arquitectura, un ingeniero civil y un Ingeniero Industrial, los cuales aportan diferentes conocimientos y experiencias profesionales en el campo además que brindan diferentes puntos de vista desde la especialización “Patología de la Construcción”.

Quienes conforman el equipo:

- Constructor y gestor en arquitectura Diana Jazmín Benitez
- Ingeniero Civil William Javier Andrade
- Ingeniero Industrial Luis Alejandro Moreno

8.2 Fecha de realización del estudio:

El estudio del paciente seleccionado se inició desde junio 16 de 2016. Y su culminación fue el 30 de julio de 2017, acorde con el programa de actividades diseñado por el equipo de trabajo.

8.3 Autorización del estudio:

El Ingeniero Carlos Alejandro Riveros Villalobos docente encargado del módulo “Historia clínica y diagnóstico” de la especialización Patología de la construcción Universidad Santo Tomás Bogotá autorizó el paciente propuesto para el estudio de patología.

9. ESTUDIO DE CASO TORRE NORTE PROYECTO ATRIO

9.1 DATOS GENERALES DEL PACIENTE (ATRIO- TORRE NORTE)

- El paciente seleccionado corresponde al proyecto con las siguientes características: ATRIO torre Norte, La construcción de la primera fase de ATRIO comenzó en diciembre de 2014 con excavaciones preliminares y se estima terminar en diciembre del año 2018.

El constructor de este proyecto es el Consorcio Ellis don – Arpro, esta torre será destinada para un uso de oficinas con cinco niveles de sótanos para parqueaderos.

Ilustración 1 proyección de las torres Atrio



Fuente: proyecto Atrio

9.1.1 Ubicación específica

Ubicación geográfica y espacial del paciente

Ilustración 2 localización del proyecto



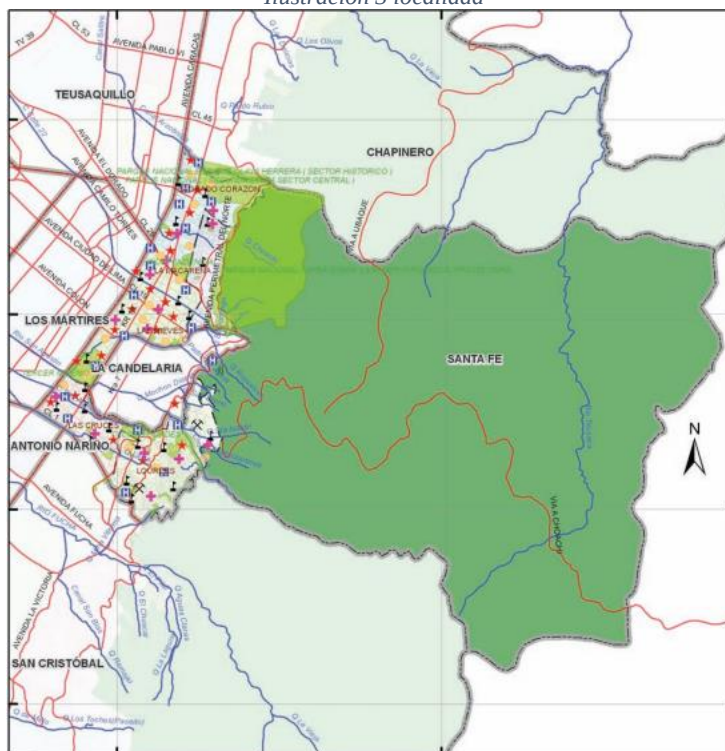
Fuente: <http://02040506.blogspot.com.co/>

El proyecto está situado en la ciudad de Bogotá en los predios ubicados en la CL 28 # 13A 75 / CL 28 # 13A 75

Urbanización Centro Internacional de Bogotá de la Localidad 3-Santa Fe, esta se encuentra ubicada entre los 2.630 metros en las partes más bajas y los 3.316 msnm en la cima de mayor altura, que es el cerro de Guadalupe. El cerro de Monserrate se halla separado del anterior por el río San Francisco y tiene una altura de 3.190 metros sobre el nivel del mar.

9.2 Localización

Ilustración 3 localidad



Fuente: <http://02040506.blogspot.com.co/>

El proyecto está localizado en la ciudad de Bogotá, en la localidad 3-SANTA FE., UPTZ 91-
 SAGRADO CORAZON
 Barrio catastral 008107-SAN DIEGO
 Manzana catastral 00810702

Ilustración 4 Planeación zonal de la upz

UPZ	POT	Área total	Área urbana protegida
UPZ 91 SAGRADO CORAZÓN	Comercial	126.7 ha	44,5 ha
	Barrios: La Merced, Parque Central Bavaria, Sagrado Corazón, San Diego, San Martín, Torres del Parque.		

Fuente: sinupot

El uso previsto para esta edificación será comercial por su naturaleza de oficinas y parte del primer nivel estará previsto para locales comerciales.

Ilustración 5 localización específica



Fuente: sinupot

9.3 Uso del sector y normatividad:

Consolidación Urbanística

Sub sector Edificabilidad E

No. DECRETO: 492-26/10/2007 Mod.=Res 249/2009

9.4 Edificaciones u obras vecinas

El lote donde se localiza el paciente tiene los siguientes colindantes directos:

Norte: Calle 28, enfrente Torre cusezar.

Sur: Av. calle 26

Oriente: edificio Davivienda

Occidente: Av. Caracas

Ilustración 6 localización específica



Fuente: Google earth

9.5 Medio ambiente

Calidad del aire

La localidad Santa Fe una estación ubicada en el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta estación ha reportado desde el 2002 niveles de Ozono (O₃) promedio anual superiores a la norma.

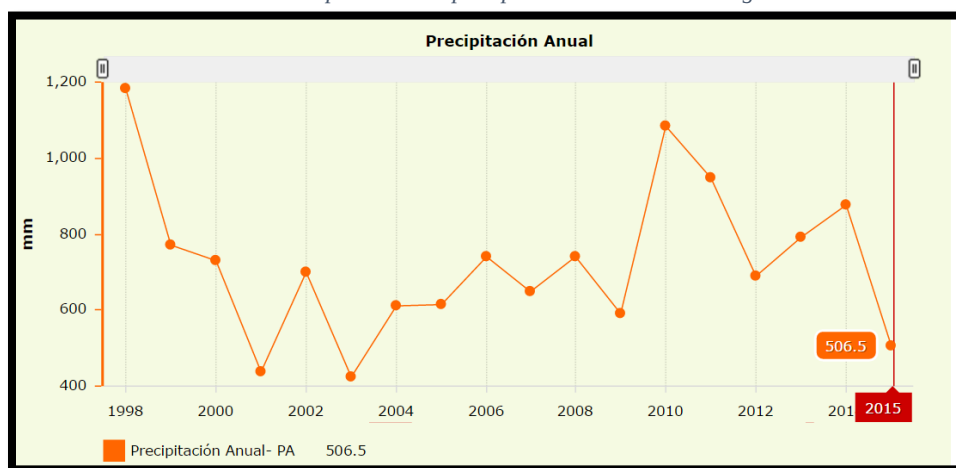
Las principales avenidas de la localidad se han ampliado y se ha construido el sistema Transmilenio, lo cual facilita el flujo vehicular, sin embargo la cantidad de vehículos es fuente de contaminación por partículas.

9.6 La temperatura y humedad

La Sabana tiene una temperatura promedio de 14°C, que puede oscilar entre los 9 y los 22°C. Las temperaturas en los meses de diciembre, enero y marzo son altas, presentándose variaciones y siendo normal que predominen días secos y soleados, aunque puedan experimentar bajas temperaturas en las noches y heladas en las madrugadas. Durante abril y octubre las temperaturas promedio son más bajas, pero sus variaciones son menores. Santa Fe tiene una temperatura promedio de 14.6°C y una humedad relativa del 75%, típicas de la zona media de la ciudad

9.7 Precipitaciones

Ilustración 7 promedio de precipitaciones anuales en Bogotá.



Fuente: <http://hg.ideam.gov.co/images/precipitaciones/dec2008/pdecadal.htm>

Bogotá está situada en el altiplano cundiboyacense y cuenta con lluvia menos de 200 días al año presentando grandes contrastes entre sitios relativamente cercanos. En la Sabana de Bogotá, por ejemplo, caen alrededor de 1.500 mm anuales en las estribaciones de los cerros orientales, mientras que en el sector suroccidental del altiplano caen cerca de 500 mm al año. Los meses de enero y febrero son los más secos y octubre y noviembre los más lluviosos, el promedio para el año 2015 fue de 506.5 milímetros

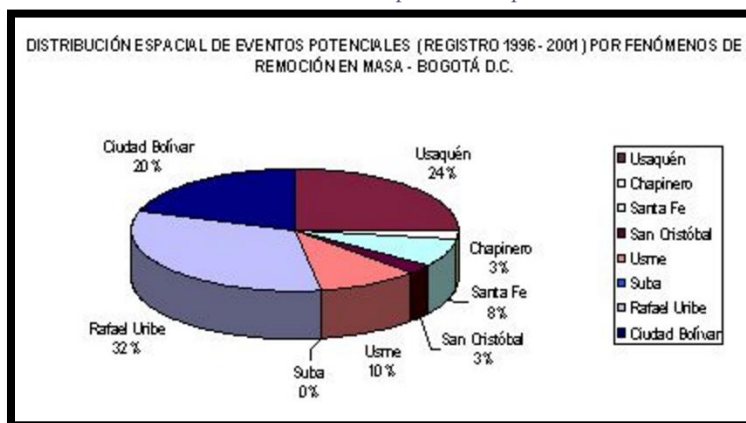
9.8 La velocidad del viento

En la ciudad de Bogotá el comportamiento normal de los vientos se caracteriza por ser de calmas en las mañanas y ligeros o moderados en las tardes. Durante el año 2015 se registró el máximo de velocidad del viento en el Distrito Capital en la estación Bosque (Usaquén) con una máxima horaria de 24.3 m/s el jueves 29 junio a las 14:00, el cual se considera como temporal muy fuerte, según la escala de Beaufort. En general, en los últimos años la dirección del viento predominante en las horas de la mañana es oriente - occidente, y sur – norte en las horas de la tarde.

9.9 Movimientos en masa

En Bogotá los fenómenos de remoción en masa se presentan a lo largo de los cerros orientales, del sur, de Suba y sus respectivas franjas de piedemonte (Localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Usme, Ciudad Bolívar y Suba).

Ilustración 8 Distribución de eventos potenciales por remoción en masa.



Fuente: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/article/view/4412/7018>

9.10 *Sismicidad*

Según los mapas de zonas de amenaza sísmica y valores del coeficiente de aceleración horizontal

pico efectiva del sismo de diseño Aa, del FOPAE, el proyecto se encuentra en:

Nivel de amenaza sísmica = Intermedia. ·

Coeficiente Aa = 0.15

Periodo de retorno = 475 años

Tabla 2 valores Aa y Av

Valor de A_a y de A_v para las ciudades capitales de departamento			
Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta

Fuente: <http://ing-davirbonilla.com/wp-content/uploads/2010/12/Tabla-A.2.3-2-Valor-de-Aa-y-Av.jpg>

9.11 *Topografía*

En el momento de realizar la exploración geotécnica el terreno se encontraba alto entre 0.2 y 1.3 m, con relación al nivel 0,0.

9.12 *El nivel freático y escorrentías*

Se detectó agua libre a profundidades comprendidas entre 4,2 y 10 m

9.13 *Sistemas de coberturas vegetales*

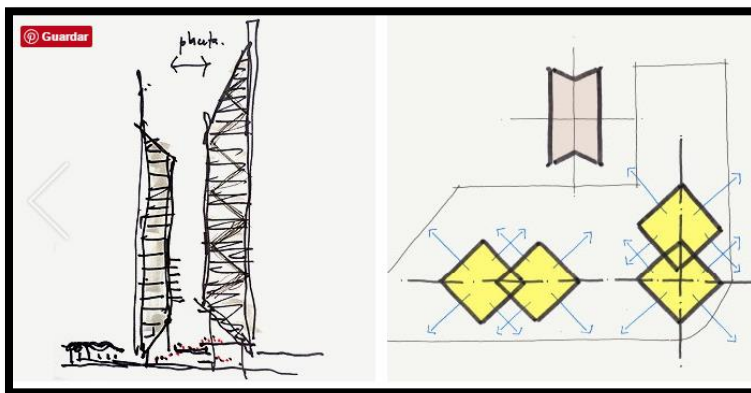
En este caso no podríamos hablar de un sistema de cobertura existente puesto que el proyecto se encuentra en etapa de cimentación y no hay nada de vegetación.

9.14 *Arquitectura.*

En este proyecto los materiales que predominaran en la construcción del edificio serán el vidrio, el concreto y el acero, así como el centro del proyecto será una gran alameda peatonal y comercial de 10.000 m², que transformará la plazoleta que hoy existe sobre el centro de convenciones Gonzalo Jiménez de Quesada, se incorporará a un corredor ambiental integrado por los parques Nacional, el de la Independencia, el del renacimiento y llegará hasta el Parque Metropolitano Simón Bolívar. El proyecto busca obtener la certificación LEED en el nivel oro, bajo la categoría de Core y Shell. El diseño incluye aspectos como luminosidad en la zona a cualquier hora del día y del año, así como la ventilación, para incorporarlos en la planeación de los edificios, con el fin de generar el menor impacto al medio ambiente y reducir costos.

9.1 Representación gráfica

Ilustración 9 representación grafica



Fuente: <http://www.rsh-p.com/projects/atrio-bogota/>

9.2 La estructura

Estructura mixta en concreto reforzado y metálica con columnas y cortinas separadas por luces no mayores a 10 m de longitud.

9.3 Calificación de la estructura:

- ***Por diseño y construcción (a.10.2.2.1-nsr10)***

Buena

- ***por estado de la estructura (a.10.2.2.1-nsr10)***

Buena.

- ***evaluación de la estructura en general***

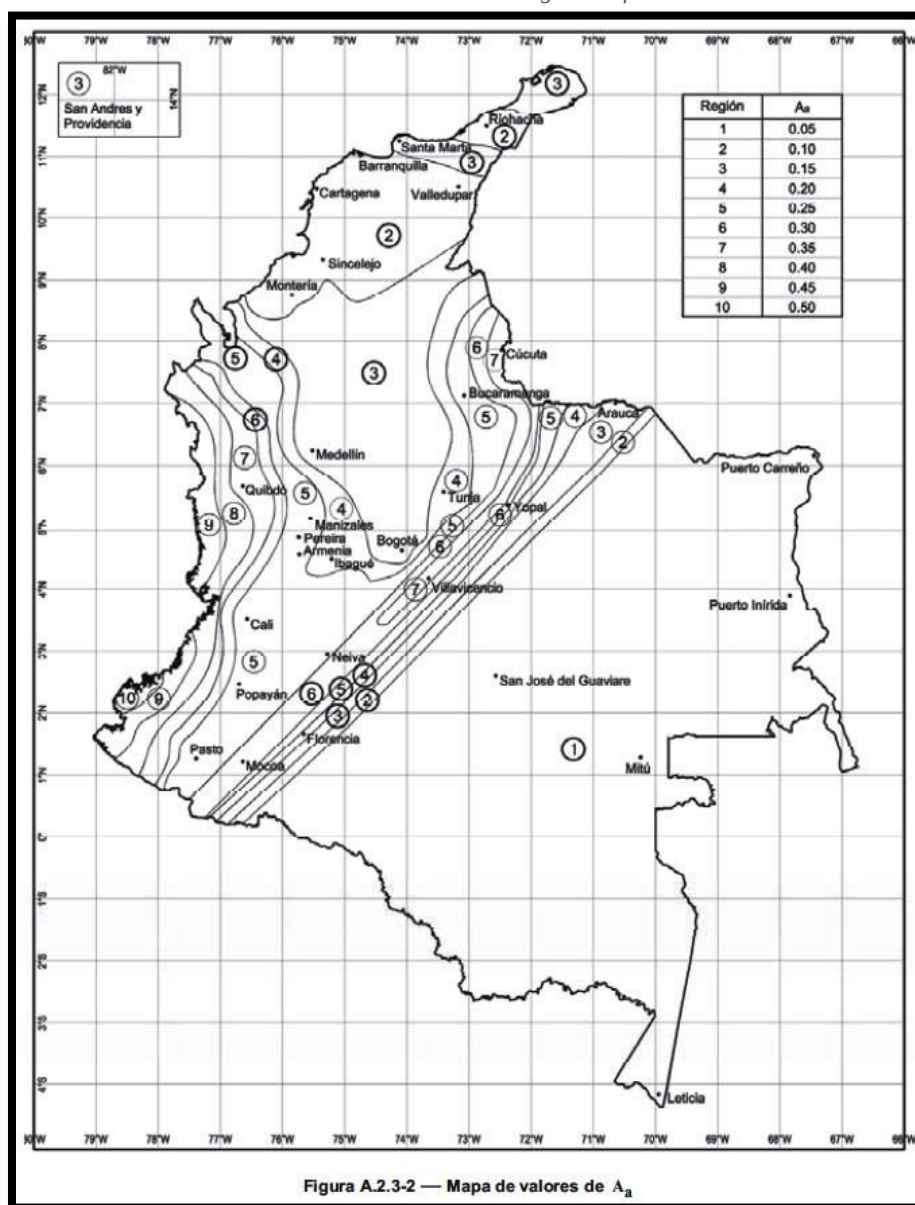
Bueno.

9.4 Determinación de la zona sísmica, el valor de la Aa Y Av.

Los movimientos sísmicos de diseño se definen en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro Aa y de la velocidad pico efectiva representada por Av., para una probabilidad del 10% de ser excedidos en un lapso de cincuenta años.

Para obtener éstos coeficientes, primero se determina el número de la región en donde está localizada la edificación en este caso para Aa Bogotá se encuentra en la región 3 quiere decir que tiene un **Coeficiente Aa = 0.15** como se muestra en la figura a continuación.

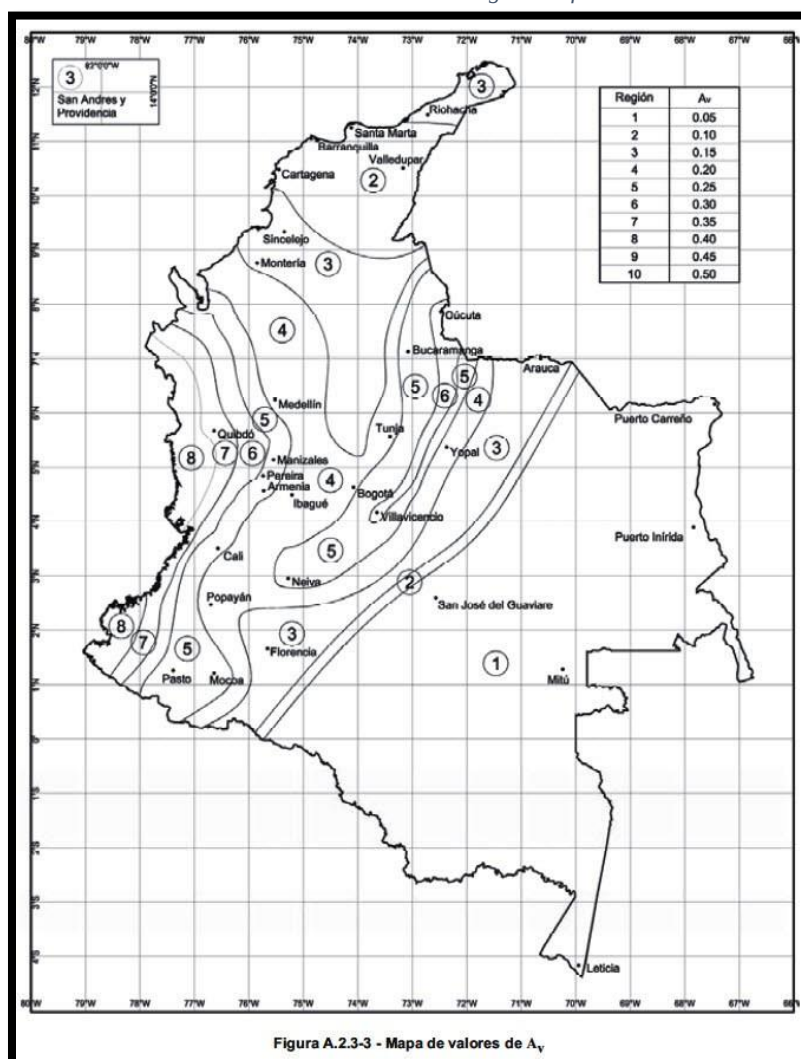
Ilustración 10 zona sísmica de Bogotá coeficiente A_a .



Fuente: <http://ing-davirbonilla.com/wp-content/uploads/2010/12/Figura-A.2.3-2-Mapa-valores-Aa2.jpg>

Para obtener coeficiente, Av. Bogotá se encuentra en la región 4 quiere decir que tiene un **Coeficiente $A_v = 0.20$** como se muestra en la figura a continuación.

Ilustración 11 zona sísmica de Bogotá coeficiente A_v



Fuente: <http://ing-davirbonilla.com/wp-content/uploads/2010/12/Figura-A.2.3-3-Mapa-valores-Av1.jpg>

9.5 Determinación de las cargas sobre los elementos

De manera inicial se estima un peso de la torre Norte de 58 T/M2 por lo anterior las cargas máximas estimadas serán 3.000 T, para las plataformas de sótanos y comercio se han estimado cargas en

pedestales con valores máximos de 600 T.

9.6 Estudios y diseños realizados

Dentro de los estudios realizados en el proyecto ATRIO se encuentran los siguientes:

- Económico
- Geotécnico
- Estructural
- Arquitectónico
- Plan de manejo del tránsito
- Ambiental
- Social y cultural
- Acústico
- Urbanístico

9.7 Análisis de vulnerabilidad sísmica de la estructura

El proyecto se encuentra en etapa de construcción, más específicamente en cimentación, así que no se podría hablar de una vulnerabilidad real de la estructura, no aplica para este proyecto, ya que sería prematuro, por el momento podemos afirmar que lo construido hasta la fecha de este trabajo se encuentra ejecutado bajo las especificaciones del Reglamento Colombiano de la Construcción Sismo Resistente NSR –10 así como otras normas internacionales. (Ver marco legal.)

9.8 RELACIÓN ENTRE DEMANDA Y CAPACIDAD

No aplica porque el proyecto se encuentra en etapa de construcción y aun no es habitable.

9.8.1 Pisos y altura de la edificación

La Torre Norte contará con 44 pisos y 200 metros de altura, así como más de 10.000 m² de espacio abierto para el público entre las dos torres.

9.8.2 Área de la edificación

En su primera fase, la torre Norte de ATRIO contará con más de 50,000 m² de oficinas A+, 4,600m² de servicios y 1,800m² de comercio.

9.8.3 Licencias de construcción

Licencia de construcción N° **LC 12-1-0601** del 14 de diciembre de 2012 y con una revalidación de 24 meses a partir del 7 de marzo de 2016. (ver anexo).

9.8.4 Habitabilidad

El proyecto se encuentra en construcción, por lo tanto, no aplica.

9.8.5 Información existente

El proyecto ATRIO (Torre Norte) cuenta con los respectivos planos arquitectónicos y estructurales, así como también con el estudio de suelos y con los detalles técnicos necesarios para el estudio.

El estudio de suelos fue elaborado por el Ingeniero Alfonso Uribe Sardiña, de la firma que lleva su nombre.

Los planos estructurales fueron realizados por Proyectos y Diseños Ltda.

Los planos Arquitectónicos fueron realizados por Roguers Stirk Harbour y el grupo Mazzanti.

9.8.6 Fidelidad de los planos

Habiéndose realizado un levantamiento de la zona de estudio por el equipo de trabajo y comparado con el plano original, se pudo constatar que esta área se está construyendo y desarrollando de acuerdo a los planos actualmente aprobados.

9.8.7 Constatación de estado

Pisos: En concreto a la vista, se encuentran en buen estado.

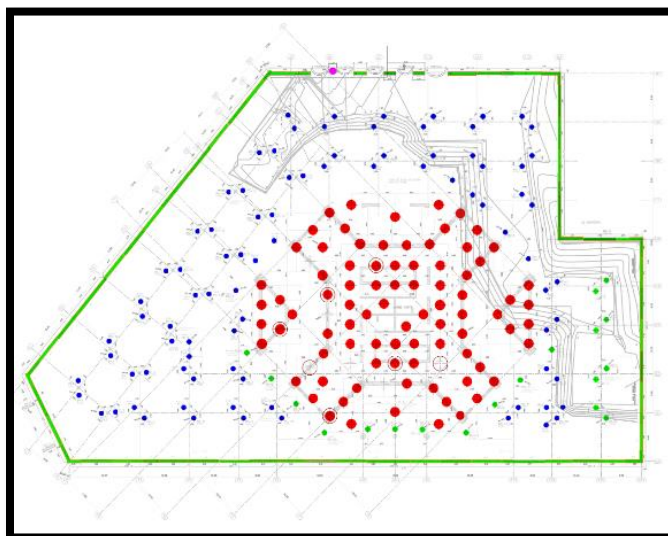
Techos: Constituido por losa aligerada y maciza en concreto, se encuentra en buen estado.

Muros: Muros de contención, se encuentran en buen estado.

9.9 DESCRIPCIÓN DE LA CIMENTACIÓN

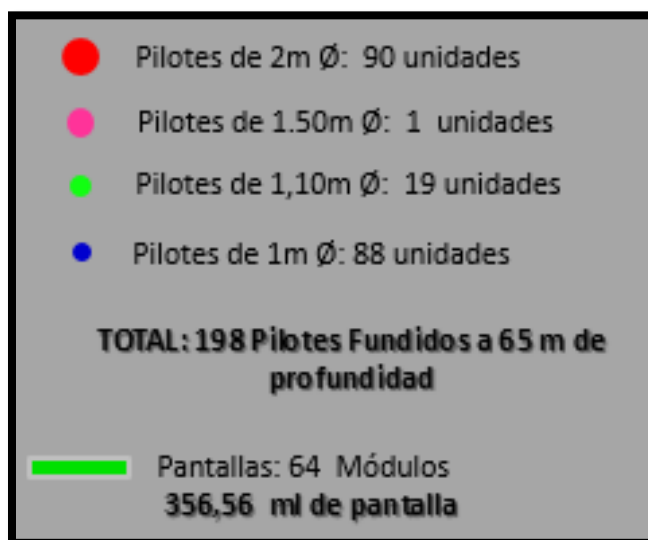
Es una cimentación profunda que está conformada por una mega placa flotante sobre pilotes pre excavados, interconectados mediante vigas de cimentación amarradas a cabezales sobre pilotes y conectados a través de un muro de pantalla perimetral. En total fueron 198 pilotes fundidos in situ con una profundidad de 67 m bajo la superficie actual. La placa de contra piso ubicada en el sótano 5, tendrá como mínimo 10 cm de ancho en concreto reforzado capaz de soportar cambios por temperatura y tracción.

Ilustración 12 Resumen de pilotes y pantallas fundidos



Fuente: Torre Norte - Atrio

Ilustración 13 convenciones



Fuente: Torre Norte – Atrio

Los principales elementos en la cimentación fueron los muros perimetrales, los pilotes, las placas anillos, las vigas de cimentación, los cabezales y la mega placa maciza.

- **MUROS**

La cimentación se llevó a cabo mediante muros pantalla donde se perforó el fuste por medio de la utilización de almeja, tipo rectangular con la composición de acoples entre muros tipo macho-hembra.

Fotografía 1 excavación muros pantalla



Fuente: Torre Norte – Atrio

- **PILOTES**

Esta cimentación se complementó con la construcción de pilotes pre excavados in situ e instalación de estructura metálica previa al vaciado; se procede a vaciar el concreto utilizando el sistema constructivo con tubería y concreto tipo Tremie.

Fotografía 2 Colocación de acero de refuerzo de pilotes.



Fuente: Torre Norte – Atrio

Finalmente, la cimentación se consolidó en una sola estructura con la construcción de vigas de cimentación y cabezales anclados al muro pantalla. También se construyeron las placas de amarre o anillo B1 y B3 del sótano.

9.9.1 Control de calidad realizado

El proyecto Atrio en Colombia es considerado como un proyecto modelo de referencia para el desarrollo del sector de la construcción por implementar métodos innovadores de ingeniería de diseño, programación, ejecución y control de aseguramiento de la calidad.

Este proyecto ha impulsado también técnicas de planeación y coordinación de proyectos a través del modelaje BIM - Building Information Modeling -, el cual mediante las bibliotecas de objetos Inteligentes y paramétricos, interpreta la interacción lógica entre los diferentes tipos de objetos (áreas) y almacena la información referente a estos, permitiendo asociar todas las áreas de diseño en la obra inclusive observar su interrelación durante el proceso de ejecución.

Cuenta con un sistema de aseguramiento y calidad – Qa y Qc - el cual organiza a cada actor

involucrado y lo conduce a una planeación anticipada de sus actividades. El Qa/Qc implementado organiza a cada contratista a través de varios ítems mediante el plan de control de calidad. Este plan Qc define todos los términos que se deben tener en cuenta en el área técnica para iniciar labores en obra. Los términos definidos aquí son: las especificaciones que le aplican a cada contratista según su labor, roles y responsabilidades de cada empleado dentro del proyecto mediante un organigrama y una matriz de responsabilidades, una programación de entregables requeridos en el proceso de licitación y en la ejecución, el plan de inspección y ensayos, las maquetas requeridas para probar ya sean procesos constructivos, tiempos, calidades de fabricación y/o propiedades de los materiales. Adicionalmente el Qc define el desglose de las actividades de cada contratista en módulos sobre los planos de obra, y por último contiene todos los formatos de inspección que se implementarán.

La recopilación de todos estos planes Qc van a formar parte de una filosofía del aseguramiento de la calidad (Qa) la cual tiene como fin que la calidad del trabajo que se realiza es la responsabilidad de los que realmente lo están haciendo. No hay forma de asegurarse que cualquier trabajo que se realiza pueda cumplir con los requisitos de calidad si la parte responsable de hacer el trabajo no es consciente de los requisitos o de los posibles problemas que puedan surgir durante la ejecución.

El plan de aseguramiento de la calidad define al representante del aseguramiento de la calidad de parte del constructor y una de sus funciones es concientizar a todos los involucrados acerca de la necesidad de realizar un adecuado control de calidad. Este Plan Qa también define los requisitos del plan Qc de cada contratista y el procedimiento detallado de la configuración del programa de aseguramiento.

Esta planeación anticipada del proyecto muestra un panorama adecuado para las medidas preventivas de control de calidad, las cuales se convierten en una condición o herramienta eficaz y permanente en la ejecución del proyecto con propósitos de durabilidad.

9.9.2 Control técnico implementado en el proceso de pilotaje

9.9.2.1 Condiciones generales

Para los pilotes y secciones de muro pantalla se utilizó concreto tipo tremi de 28 Mpa (4000 PSI) con estabilidad de 5 horas. Asentamiento: 9" $\pm$ 1" Asentamiento a las 5 horas: Mínimo 6,5". Durante el proceso de construcción el tiempo mínimo que debía transcurrir entre la construcción de un pilote y la fundida del siguiente a una distancia de 5m, fue mínimo de 48 horas. La estabilización de perforaciones se realizó con lodos en base de polímero (Polymud).

El desplome máximo admitido en los pilotes fue del 10% del diámetro y/o 10 cm como máximo. La verticalidad de los pilotes se controló con el software JEAN LUTZ con el que constaban las máquinas piloteadoras. Las vigas de cimentación y los cabezales fueron de un concreto de 4000 PSI con asentamiento de 6". Al acero estructural utilizado en todo el proyecto se le realizó ensayos de tensión (fluencia) y tracción con el fin de cumplir con los parámetros establecidos en el título C.7 de la NSR-10. Para el concreto vaciado en esta etapa, se evaluaron ensayos a compresión cada 40 m³ como lo indica la NSR-10 en el título c,

“Las muestras para los ensayos de resistencia de cada clase de concreto colocado cada día deben tomarse no menos de una vez al día, ni menos de una vez por cada 40 m³ de concreto ni menos de

una vez por cada 200m² de superficie de losas o muros.” (C.5.6.2)

9.9.2.2 Prueba Cross Hole

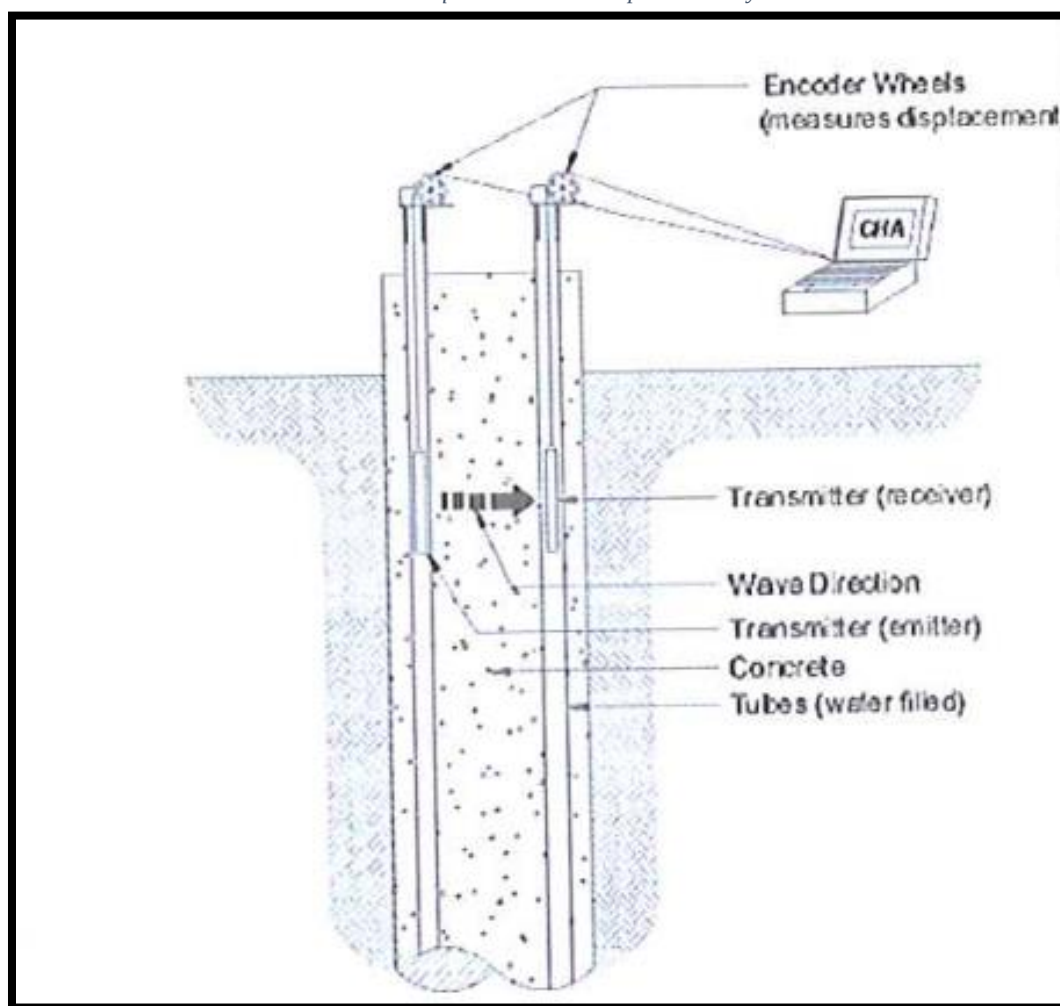
Fotografía 3 Prueba para integridad de pilotes



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

El objetivo de la prueba crooshole es verificar la calidad y homogeneidad del concreto, entre pares de tubería que están previamente instaladas y embebidas en elementos como pilotes pre excavados, pantallas pre excavadas y otro tipo de cimentaciones profundas fundidas en concreto.

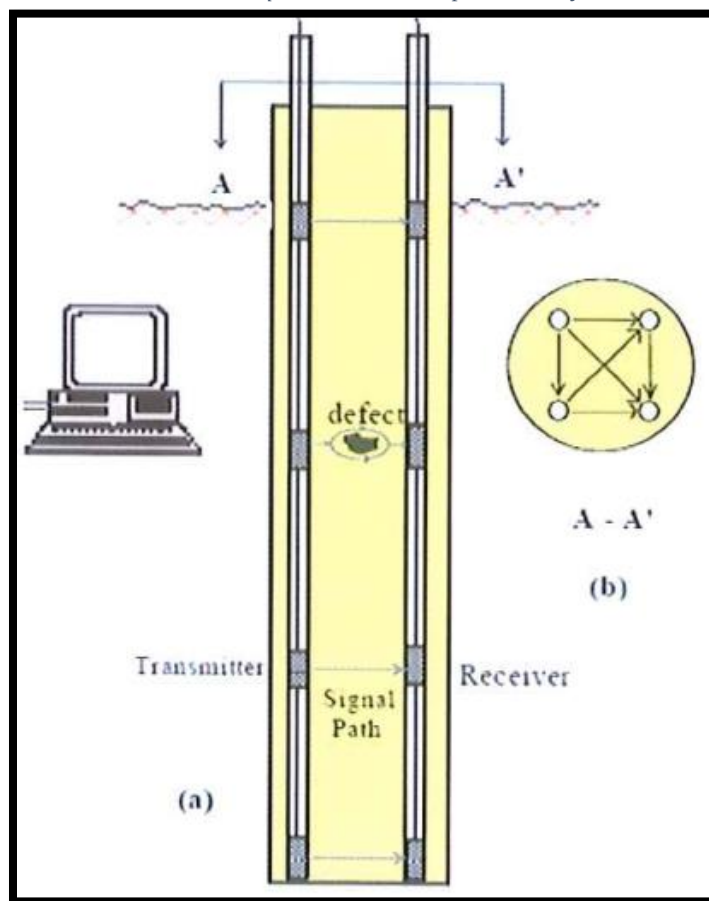
Ilustración 14 esquema de medición para el ensayo CSL



Fuente: Esquema de medición para el ensayo CSL. Pruebas Cross Hole Loggin (2015)

El ensayo crooshole es una de las pruebas de la evaluación de la calidad del concreto más usadas y conocidas a nivel mundial. Es una técnica indirecta, no destructiva y de baja deformación que permite realizar un barrido gráfico para detectar la calidad y homogeneidad del concreto por dentro del perímetro del acero de refuerzo en pilotes, pilas, barretes y pantallas pre excavadas y fundidas in situ.

Ilustración 15 esquema de medición para el ensayo CSL



Fuente: Esquema general de la prueba CSL. Pruebas Croos Hole Loggin (2015)

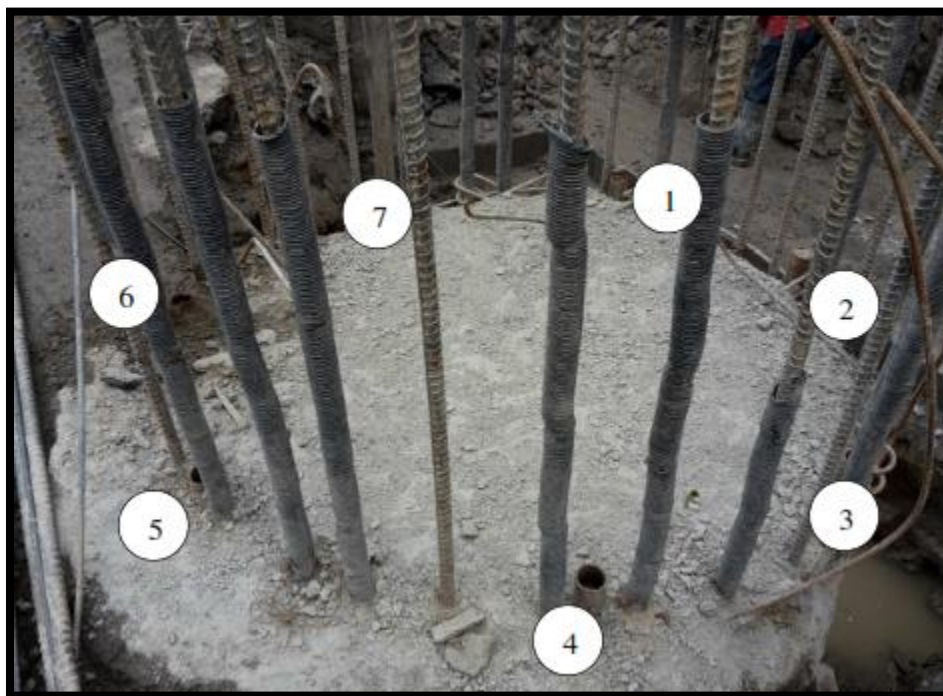
El ensayo realizado se realizó de acuerdo con la norma ASTM D6760-08, haciendo uso del sistema de medición Cross-Hole Analyzer (CHA) fabricado por Pile Dynamics. Esta medición se hace por medio de una sonda emisora, que desciende dentro de una de las tuberías, y que envía una señal de alta frecuencia a través del concreto, la cual es recibida por una sonda receptora, que se encuentra en otra de las tuberías instaladas.

De acuerdo a la visita al proyecto realizada el pasado 14 de Junio del año en curso, en la que se bajó hasta el nivel de cimentación y se inspeccionó el estado de algunos de los pilotes centrales, especialmente el pilote 2080, se tienen los siguientes comentarios en relación a la visita y a los resultados que ya se tenían de las pruebas Cross Hole realizadas en cinco (5) pilotes entre Junio y

Agosto del año 2015:

- Los pilotes a los que se les realizó prueba Cross Hole correspondieron a los números 2047, 2052, 2072, 2080 y 2086.
- En los pilotes 2047, 2072 y 2086 se presentó un comportamiento satisfactorio del concreto en toda la profundidad ensayada a partir del inicio del concreto en el pilote (alrededor del nivel -19/-20).
- En el pilote 2052 se presentaron algunas anomalías concentradas en un sector del pilote, sin embargo, dichas anomalías presentaron un espesor menor a 40cm que no fueron claramente perceptibles durante el descabece del elemento según información proporcionada en obra. A parte de estas anomalías presentadas superficialmente, no se evidenció retraso de señal ni pérdidas de energía en el cuerpo del pilote en el ensayo CSL, por lo que la calidad de concreto se evaluó como satisfactoria hasta el nivel -66.6. Como se tuvo una señal continua hasta el nivel -66.6 es posible establecer la continuidad del elemento en profundidad.
- En el pilote 2080 se presentaron algunas anomalías concentradas en un sector del pilote y los espesores encontrados variaron entre 30cm hasta 6.5m en el caso más crítico. Como estas anomalías se presentaron superficialmente se concluyó que estas se podían evaluar visualmente una vez la excavación llegara al nivel de cimentación del proyecto.
- La visita del 14 de junio de 2016 se pudo evidenciar las anomalías identificadas en el ensayo CSL en el pilote 2080, concentradas perimetralmente en el sector norte del pilote, lo que corresponde al sector formado por las tuberías 1, 2, 3 y 7.

Fotografía 4. Identificación de tuberías del ensayo CSL



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

En el pilote 2080 se observó una particularidad respecto al nivel donde se encontró el concreto. Según las mediciones del ensayo CSL el inicio del concreto (y fin del relleno fluido) se presentó a profundidades entre 12.9 m y 13.9 m respecto a la cabeza del pilote al momento del ensayo. (es decir a un nivel de -15.3 m y -16.3 m respecto al cero del proyecto). En comparación con los pilotes previamente ensayados (P2047, P2052, P2072 y P2086) y el nivel de diseño donde debe finalizar el nivel del concreto luego del vaciado (-19.9 m), el nivel del concreto se identificó alrededor de 3,5m por encima de lo esperado (-16.9m). (Jeoprobe. Informe 5 de prueba cross hole proyecto Atrio. 2015)

9.9.2.3 Prueba de carga dinámica Down Hole

El sistema de transferencia de energía utilizado para las pruebas de carga dinámica fue una masa construida del orden de 20.5 ton de peso, que hacía las veces de martillo de caída libre. Esta masa fue izada por medio de una grúa y libremente soltada.

Fotografía 5 Ensayo de carga dinámica.



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Se utilizaron tablas en la cabeza del pilote para proteger a este de los esfuerzos altos de tensión que se puedan generar por el impacto.

La información del pilote evaluado se describe en la siguiente figura:

Tabla 3 Características Constructivas del pilote.

Pilote No.	Diámetro (m)	Longitud* (m)	Fecha Fundida	Expansión (%)
1055	1.0	66.4	22-04-2015	7.2

Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Las medidas del ensayo de carga dinámica se obtuvieron por medio de dos pares de acelerómetros y cuatro transductores de deformación localizados en el fuste del pilote a una distancia de 2.5 m por debajo de la parte superior del cabezal. Estos sensores fueron anclados al fuste del pilote por medio de unos pernos o chazos.

Las señales obtenidas en los ensayos se digitalizaron, se guardaron y fueron procesadas en campo por medio del equipo PDA modelo PAX. Valores como la fuerza medida, los esfuerzos máximos, la energía transferida al pilote y la resistencia estática movilizada en el suelo, utilizando el método caise. Igualmente se registró la fuerza y la velocidad en el equipo.

En la prueba se realizaron seis golpes variando sucesivamente la altura de caída de la masa desde 50 cm hasta 3 m.

Las conclusiones del ensayo sobre el pilote 1055 fueron las siguientes:

- El objetivo de la prueba era corroborar la capacidad de carga de los pilotes, determinada en los diseños geotécnicos. De acuerdo con el diseñador geotécnico del proyecto, la capacidad última de este tipo de pilote a probar debe ser mínimo tres veces la carga admisible o de diseño, en donde la carga de diseño corresponde a 440 ton.
- La geometría del pilote probado es de 1 m de diámetro y de 65.3 m de penetración en el suelo.
- En la prueba ejecutada, se obtuvo una carga movilizada de 1360 ton de las cuales 1208 ton son por fricción a lo largo del fuste y 152 ton son por punta.

- La carga obtenida de 1360 ton, correspondió a una carga movilizada y no a la carga última del pilote. Entendiendo la carga última como la movilización de la resistencia máxima que es capaz de transferir el suelo al elemento pilote.

El pilote se extendió hasta el nivel actual del terreno, pero los diseños geotécnicos, contemplan pilotes que no tendrán los primeros 20 m de suelos, ya que existirá una excavación de esta profundidad para los sótanos. Estos primeros 20 m de suelo, no están contemplados para los diseños de los pilotes de este proyecto. (Jeo probe. Informe prueba down hole proyecto Atrio. 2016)

9.10 PROCESO DE EXCAVACIÓN

La excavación de los sótanos del proyecto se realizó por el sistema “top-down” y de una manera coordinada con las operaciones de construcción de las estructuras de concreto reforzado cubiertas por las especificaciones del proyecto. Se realizó un total de volumen de excavación de 130.000 m³.

“ El método constructivo denominado TOP DOWN (Ascendente-Descendente) consiste en construir inicialmente las paredes perimetrales y columnas de soporte de la estructura con muros pantalla o pilotes excavados, luego se excava hasta la cota inferior de la primera losa y se vacían las vigas y losa directamente sobre el terreno, repitiendo este proceso en cada nivel de sótanos, excavando y colando contra terreno, se completa así la estructura bajo la superficie (descendente) mientras la estructura superior (ascendente) puede comenzar a construirse en forma independiente apoyándose en la primera losa ya construida, a medida que avanza el proceso. Es decir, tanto la construcción por encima y debajo del nivel 0.00 van en paralelo reduciendo el plazo convencional. Sin embargo, aquí la excavación e eliminación requiere un tratamiento especial, ya que no se puede realizar las típicas excavaciones a tajo abierto.” (Guillén, Javier. Noviembre, 2015)

<http://jguillen07.blogspot.com.co/2015/11/construccion-top-down.html>

Fotografía 6 proceso de excavación.



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

De esta manera, se excavó por trincheras y terrazas con taludes a 45° y 60° , se instalaron puntales metálicos en el sótano B1 y dos líneas de TieBack de 29 anclajes por cada una. Se realizó el seguimiento diario con instrumentación geotécnica con piezómetros e inclinómetros. Se excavó un total de 130.000 m^3

Fotografía 7 métodos de excavación.



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

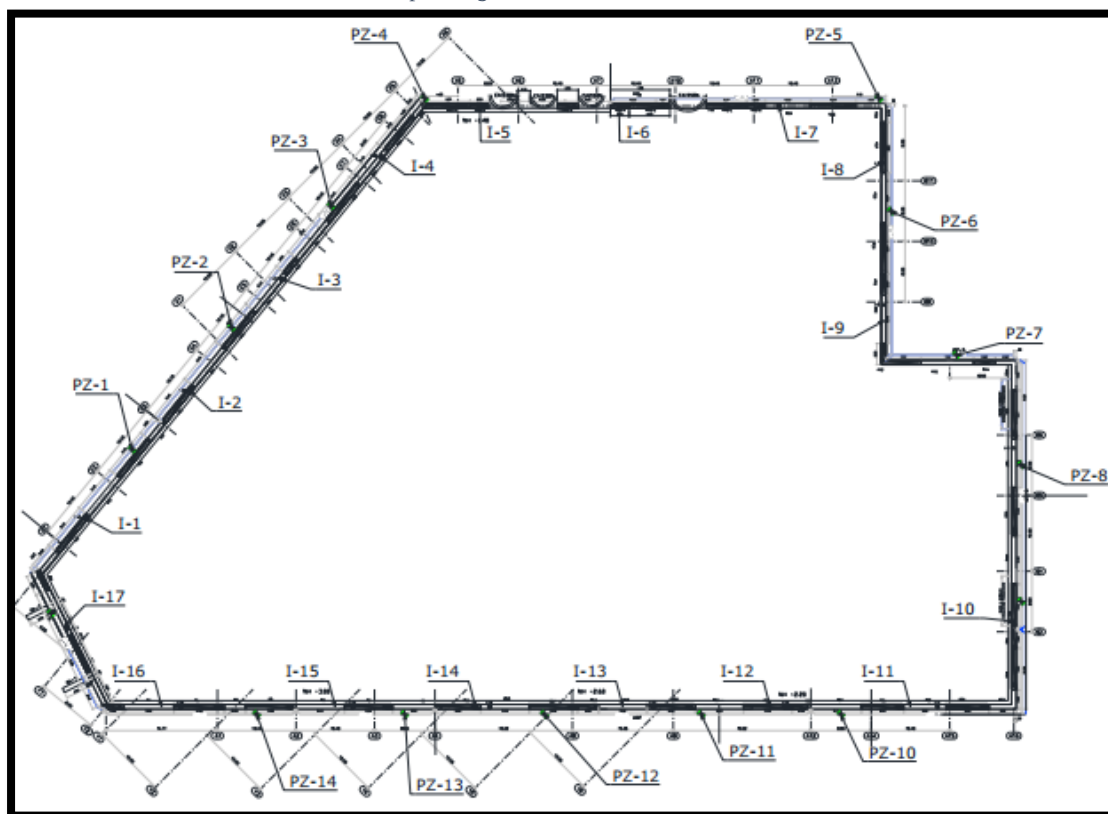
Fotografía 8 instrumentación utilizada.



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

La instrumentación geotécnica es una herramienta que sirve para determinar el comportamiento de una masa de suelo ante factores externos como lo son la presión de poros, cargas externas, hidrogeología, factores constructivos, entre otros. La determinación de las causas reales (interpretación) de los desplazamientos registrados y límites de desplazamiento permitidos son determinados por los ingenieros especialistas de suelos y estructuras a cargo del proyecto. En la siguiente figura se pueden observar los puntos de control de los piezómetros (PZ) y los inclinómetros (I). (Salazar F. S.A. Informe 1 de instrumentación geotécnica. 2015. p 4)

Ilustración 16 planta general – ubicación de instrumentación Geotécnica.



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

9.10.1 Fabricación de anclajes tieback en sótano 4 costado occidental

Para la ejecución de la excavación profunda, los diseñadores plantearon una pantalla perimetral de 60 cm de espesor hasta una profundidad de 45 m.

En el costado de la avenida Caracas para poder realizar excavación de maneras más rápida y efectiva, se diseñaron dos hileras de TieBack entre el sótano B4 y B5 de 29 unidades cada una, con las siguientes características:

- Tipo: Anclaje geotécnico tradicional temporal de cable llenado e inyectado.
- Diámetro de perforación: 6 pulgadas

- Carga nominal de trabajo: 30 toneladas
- Longitud de bulbo: 12 metros
- Longitud libre: 8 metros
- Longitud de cola para sujeción: 1.5 metros
- Inclinação con respecto a la horizontal: 15 grados
- Número de cables: 3 cables de 5/8 pulgadas
- Inyectado con mezcla agua cemento relación 0.5 A/C
- Los niveles de los anclajes para la hilera # 1 es -15 m y el de la hilera #2 es -17 m.

Fotografía 9 perforaciones para anclajes tieback.



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Monitoreo de presión

Fotografía 10 celdas de control de presión.

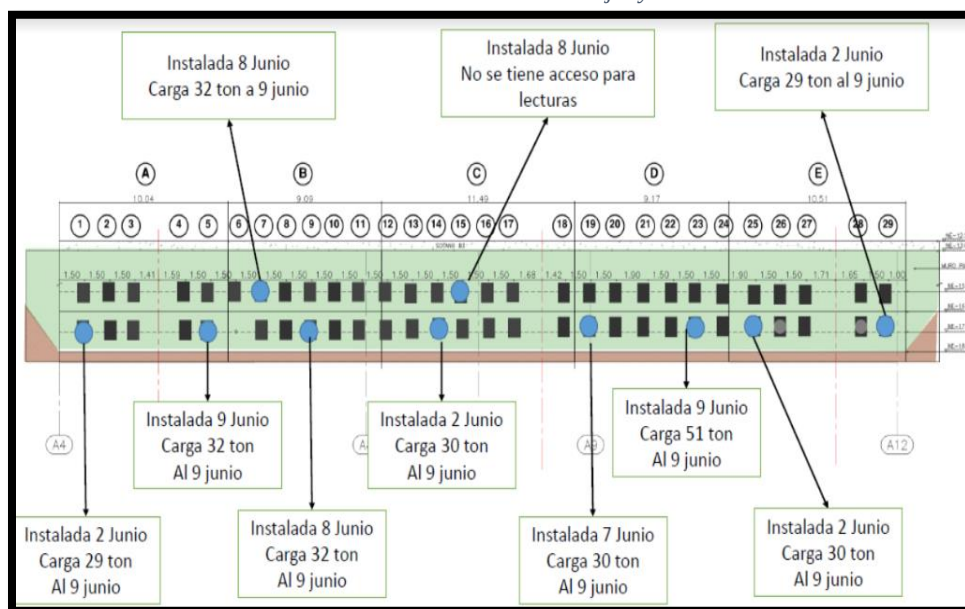


Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

9.10.2 Controles de presión de los muros de contención a través de celdas de carga

Para monitorear la carga de estos anclajes, se instalaron 10 celdas hidráulicas elementales, como se ilustra en la siguiente figura:

Ilustración 17 ubicación de anclajes y celdas.



Fuente: Ubicación de las celdas hidráulicas manométricas. Salazar y Ferro (2016)

Las celdas fueron instaladas entre el muro y el sistema de cuñas del tensor y los cables fueron tensionados y acuñados, Después del acuñamiento, las celdas instaladas, quedaron registrando una carga inicial de 32 toneladas de acuerdo con la lectura del manómetro en glicerina, a excepción del anclaje #23 que se dejó a 51 toneladas.

9.11 PRECALIFICACIÓN DEL CONCRETO ANTES DE INICIAR EN OBRA

En el proyecto ATRIO se ejecutó un proceso de evaluación del concreto en la etapa previa a la licitación, para asegurar que el concreto producido para el proyecto contara con las condiciones óptimas cumpliendo los parámetros establecidos en las especificaciones.

9.11.1 Tipo de Estructura

El tipo de estructura es denominada mixta (concreto y metálica) como lo describe el reporte de ARUP y P&D sobre movimientos y tolerancias estructurales

“es un pórtico de acero con un núcleo de concreto central. La estabilidad principal es proveída por la estructura de pórtico arriostrado perimetral que sigue el contorno de los entresijos de oficinas. El patrón del pórtico se repite cada 8 niveles con arriostramiento intermedio cada 4 o 2 niveles. El núcleo de concreto central provee estabilidad adicional. Los núcleos satélites brotan fuera de los entresijos principales de oficinas y su estabilidad proviene de la acción de diafragma de cada nivel.” (2017)

Los entresijos principales del edificio fueron diseñados como “placas compuestas sobre Steel deck y vigas de acero en una grilla típica de 10 m x 10 m y un voladizo de borde 1.5 m. La columna central en ambos lados de las oficinas se ha omitido para crear un espacio de 20 m x 20 m”. (ARUP,P&D. 2017)

9.11.2 Evaluación física y mecánica del concreto y/o material

Existen dos tipos de concreto a nivel general destinados al proyecto: Concretos de tipos convencionales (CVC) y autocompactantes (SCC).

Para los convencionales se evaluaron las siguientes propiedades:

- Asentamiento
- Temperatura
- Pérdida de manejabilidad en el tiempo
- Masa Unitaria
- Contenido de aire
- Compresión
- Módulo de Elasticidad

Para los concretos autocompactantes se midieron los siguientes parámetros:

- Expansión, T50 y VSI
- Temperatura
- Propiedades Reológicas - Reómetro ICAR, Veleta de corte, J-ring.
- Pérdida de manejabilidad en el tiempo.
- Retracción
- Compresión
- Módulo de Elasticidad

Los concretos convencionales se destinaron para las placas aligeradas con casetón de guadua e icopor, vigas y dados de cimentación. Para la placa de cimentación de 7400 m³ se utilizó un concreto convencional con control de temperatura.

Los concretos autocompactantes (SCC) se destinaron para tanques, muros y columnas del núcleo de la estructura. EL control de calidad de los SCC fue basado en la ASTM C1611.

El siguiente cuadro resume las propiedades del concreto evaluadas y anteriormente nombradas.

Tabla 4 Propiedades del concreto evaluadas.

REQUISITOS DE DESEMPEÑO DEL CONCRETO												
Clase			CVC	SCC			Retraci ón 28	MOE	Temperatura C°			Aire %
Mpa	Psi ^{1,2}	Elemento	Slump (mm)	Asentam iento - Expansió n ³	T50 (segund o) ⁴	J-Ring ⁵	Microstr ain (Maximu m) ⁶	(Gpa) ⁷	Temp Colocaci ón	Máximo Calor (HOH)	Diferenci a de temp	
27,6	4000	Raft Slab	125						<22	65	20	<3.0
27,6	4000	Placas aéreas	125						<22	65	20	<3.0
41,4	6000	Columnas	150	650 - 700	3 - 5	< 25 mm	400	30,6	<22	65	20	<3.0
41,4	6000	Muros	150	650 - 700	3 - 5	< 25 mm	400	30,6	<22	65	20	<3.0
55,2	8000	Columnas	150	650 - 700	3 - 5	< 25 mm	400	35,4	<22	65	20	<3.0
55,2	8000	Muros	150	650 - 700	3 - 5	< 25 mm	400	35,4	<22	65	20	<3.0
CVC	Concreto convencional											
SCC	Concreto Autocompactante											
MOE	Modulo de Elasticidad											
Slump	Asentamiento											
1,0	Toma de cilindros de concretos de acuerdo a ASTM C31											
2,0	Ensayo de compresión de acuerdo a ASTM C39											
3,0	Asentamiento de acuerdo a ASTM C143											
4,0	La expansión y el T50 son medidos de acuerdo a ASTM C1611											
5,0	J-Ring de acuerdo a ASTM C1621											
6,0	El ensayo de retracción con la toma de muestra de acuerdo a ASTM C157, ASTM C490 y las condiciones y mediciones de acuerdo a C8											
7,0	Módulo de elasticidad de acuerdo a ASTM C469											
8,0	Temperatura: Calor de hidratación (HOH), diferencial de temperatura entre la superficie y el centro del elemento (Temp Diff)											

Fuente: proyecto ATRIO

Para la composición y estructura del concreto, también se evaluaron parámetros físicos y petrográficos de los agregados y los materiales cementantes que utilizó cada proveedor del concreto que participo en la licitación. Los proveedores que participaron fueron las dos concretaras más destacadas en Colombia para la época. El parámetro más determinante del agregado grueso con relación a las propiedades mecánicas del concreto fue la densidad o peso unitario. Otro parámetro determinante para la selección de una óptima mezcla fue la calidad de la ceniza volante.

9.11.3 Control de calidad de la mezcla de concreto

9.11.3.1 Aspectos generales para tener en cuenta

Una mezcla de concreto debe cumplir con las especificaciones, debe ser económica y durable. El productor de concreto premezclado, el laboratorio de ensayos, el contratista y el constructor deben trabajar en equipo para lograr un adecuado, óptimo y rentable control de calidad de los materiales utilizados en obra.

La dosificación de la mezcla generalmente depende del transporte, el ambiente, la colocación, el clima, el comportamiento de los constituyentes, entre otras variables que pueden generar dispersión en la evaluación de los parámetros físicos y mecánicos.

Las características más importantes desde el punto de vista del contratista y que se deberían realizar para cumplir con los requisitos y especificaciones en la obra se definen por medio de cinco ensayos en campo: temperatura, asentamiento, contenido de aire, rendimiento volumétrico y resistencia a la compresión a través de las normas ASTM y NTC. El muestreo de concreto fresco está regido por la norma ASTM C 172. Fuente: Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad. Tercera edición. American society of concrete contractors (ASCC) y American Concrete Institute (ACI). 2011

En el control de calidad del concreto también es importante analizar las causas de los resultados bajos reportados por el laboratorio para la mezcla y así evitar que similares resultados vuelvan a ocurrir. Para ello, deberán verificarse las condiciones de elaboración y curado de las probetas,

almacenamiento y disposición de los materiales que componen el concreto (concreto mezclado en obra). Todo lo anterior con el objeto de identificar alguna variación respecto a las condiciones necesarias y adecuadas para fabricar, recibir y tomar las muestras de concreto.

Debe tenerse en cuenta que las mezclas de concreto son masas endurecidas de materiales heterogéneos, cuyas propiedades y características están sujetas a la acción de numerosas variables incidiendo en el comportamiento del material compuesto. Según el comité ACI 214 existen tres orígenes, a saber, que influyen en la variación de los resultados de resistencia del concreto:

- Características y variabilidad de cada uno de los materiales componentes.
- Procedimientos y técnicas de dosificación, mezclado y manejo
- Variaciones propias de la elaboración y tratamiento de los especímenes y de los métodos de ensayo.

Los problemas más frecuentes que se pueden evidenciar en una muestra de concreto se pueden clasificar de la siguiente forma:

Cilindro poroso: Hace referencia a una excesiva presencia de burbujas de aire de diferentes tamaños y puede indicar excesos en la dosificación del agua o deficiencias en el proceso de vibrado o compactación durante la toma de muestras.

Agregado Deleznable: Indica una baja resistencia mecánica en algunas de las partículas de agregado grueso por efecto de su degradación, lo cual induce una falla prematura al no permitir la transmisión de esfuerzos al interior de la probeta. Para evitar este tipo de fallas se deberá

inspeccionar el/los acopio/s de agregados y retirar los materiales extraños.

Poca o baja adherencia: Indica generalmente la baja o casi nula adherencia entre la pasta de cemento y el agregado grueso, lo cual constituye una superficie de falla cuando se somete la probeta al ensayo. Entre sus causas pueden encontrarse: excesos en el contenido de lodos o materia orgánica en los agregados, deficiencias en el proceso de mezclado, vibrado y toma de muestras, contaminación de los agregados, exceso en la cantidad de material redondeado, y se hace evidente cuando se presentan problemas en el desarrollo de la traba o anclaje mecánico entre la pasta de cemento y los agregados. Para evitar este inconveniente se deberá inspeccionar los acopios de agregados e identificar su limpieza, visualmente o a través de los ensayos de contenido de arcilla y contenido de materia orgánica en el laboratorio. En algunos casos se presenta cuando el agregado es 100% redondeado sin que afecte la resistencia de diseño.

Concreto Contaminado: Indica la presencia de algún material extraño ajeno a la masa de concreto, como materia orgánica (hojas, madera), cuescos de ladrillo, arcilla, basura, colillas de cigarrillo, entre otros. Estos generan una superficie de falla que impide el desarrollo normal del ensayo de resistencia.

Para el tratamiento del resultado bajo se deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Tabla 5 aspectos a tener en cuenta

Resistencia baja a edades iniciales (anteriores a la edad de diseño)	• Reforzar curado • No sobrecargar el elemento • Esperar resultado a edad de diseño
Resistencia baja a la edad de diseño	• Informar al calculista cuando el resultado sea menor que $f'c - 3.5$ MPa, para establecer si se debe esperar hasta el ensayo de testigos a edades posteriores a los 28 días o definir la ejecución de ensayos no destructivos

	como esclerómetros o ultrasonidos (ensayos comparativos de calidad del concreto); o de ensayos destructivos (núcleos) para verificación de la resistencia real del elemento.
Resistencia baja en los testigos y/o en los núcleos	• Informar al calculista • Realizar ensayos para verificar la resistencia real del elemento • Realizar pruebas de carga de acuerdo a la NSR-10 capítulo C-20.

Fuente: Proyecto Atrio.

Cuando los resultados bajos son repetitivos, es indispensable coordinar con el productor de concreto y el laboratorio una revisión general de los procedimientos de muestreo y/o producción de concreto en obra, tendiente a corregir errores o desviaciones y por consiguiente a mejorar estos procesos.

9.11.3.1.1 Muestreo (ASTM C 172)

Antes de comenzar la obra, el constructor define donde se van a fabricar y almacenar los cilindros de ensayo y en qué punto de la ruta de transporte del concreto tenga el asentamiento y la manejabilidad requerida en el punto de colocación.

(ACI. Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad. Tercera edición, p 14. 2011)

La ASTM C 172 señala los procedimientos normalizados para obtener una muestra representativa de una carga de concreto en varios tipos de equipos de mezclado y/o agitación. Además señala los límites de tiempo específicos respecto a cuándo deben empezar las pruebas para determinar el asentamiento y el contenido de aire y para iniciar el moldeo de los especímenes.

Fuente: Manual del técnico CP-1 (06). Técnico para pruebas al concreto en la obra Grado 1 ACI. p. 14. 2006)

Para asegurar la precisión en las pruebas del concreto fresco, se deben tomar todas las precauciones para obtener una muestra de concreto verdaderamente representativa de la mezcla, y luego protegerla de los efectos dañinos de la evaporación y la contaminación.

Fuente: Manual del técnico CP-1 (06). Técnico para pruebas al concreto en la obra Grado 1. ACI. p. 14. 2006)

Fotografía 11 Toma de muestras



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Como se puede observar en la figura anterior, se debe tener muy en cuenta la inspección de las tolerancias dimensionales permitidas de los moldes, suscritas en la norma de los ensayos de los especímenes que se evaluarán ya sea a compresión o a retracción.

9.11.3.1.2 Transporte de muestras (NTC 550)

Antes de transportar los especímenes, estos se deben curar y proteger como se exige en el numeral 9 de la NTC 550. Durante el transporte, los especímenes se deben proteger con un material amortiguador para evitar daño por golpes, por temperaturas de congelación, o por pérdida de humedad. La pérdida excesiva de humedad se evita envolviendo los especímenes muy bien en plástico o rodeándolos de arena húmeda o aserrín húmedo. El tiempo de transporte no debe ser

superior a 4 h. Como se puede observar en la fotografía el transporte para el proyecto ATRIO se realiza adecuadamente y siguiendo los parámetros definidos en la norma.

Los materiales empleados en el proyecto Atrio para la protección de especímenes en el transporte fueron:

- Para cilindros: Protegidos por espuma de poliuretano, bolsa plástica dentro de cajas de polipropileno como se puede observar a la izquierda en la figura.
- Para vigas de retracción: Cama de arena, vinipel, plástico de burbujas, dentro de caja de polipropileno como se puede observar al lado derecho en la figura.
-

Fotografía 12 transporte de muestras



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

9.11.3.2 Propiedades en estado fresco Concreto Convencional (CVC)

9.11.3.2.1 Manejabilidad de la mezcla de concreto ASTM C143

Fotografía 13 SLUMP



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

El ensayo del asentamiento se utiliza para medir la consistencia del concreto convencional con el fin de tener una indicación acerca de la manejabilidad, plasticidad y capacidad de flujo del concreto. Se utiliza especialmente como indicador de la uniformidad del concreto fresco entre tandas, tal como se reciben en la obra.

De acuerdo a la literatura “las variaciones del asentamiento se ocasionan por cambios en el contenido de agua, contenido de aire, aditivos, proporciones y gradación de los agregados, tiempo de despacho y temperatura. El ensayo del asentamiento debe ser realizado de acuerdo a la norma ASTM C 143” (ACI. Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad. Tercera edición, p 14. 2011)

9.11.3.2.2 Pérdida de manejabilidad en el tiempo

Es un ensayo que no se encuentra normalizado e intenta medir en intervalos de tiempo de cada 15 minutos cuanta manejabilidad pierde la mezcla a través de un periodo total de 45 minutos. Se basa en el mismo ensayo de asentamiento, pero tomado en 4 bandejas distintas para medir de los siguientes tiempos: 0 minutos, 15 minutos, 30 minutos y 45 minutos. Para concretos convencionales la pérdida no puede superar la 1” de asentamiento y para concretos

autocompactantes no puede bajar del límite inferior permitido por la especificación, es decir 60 cm.

Fotografía 14 perdida de manejabilidad



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Como se puede observar en la figura el peso muerto que se debe utilizar para poner encima de los conos de abrams, debe ser suficiente para que no se filtre nada de la mezcla por debajo del borde inferior del cono.

Con este ensayo se evidencia la estabilidad de la fluidez de la mezcla de concreto a través del tiempo.

9.11.3.2.3 Contenido de aire (ASTM C231) y Masa Unitaria (ASTM C138)

Fotografía 15 contenido de aire



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Las variaciones en el contenido de aire afectan la durabilidad, la facilidad de colocación, la calidad del acabado y el rendimiento volumétrico. Muchas condiciones afectan la cantidad de aire que efectivamente queda incorporado en el concreto. Dentro de estas se cuentan: las características de los agregados, la naturaleza de los componentes y la dosificación de los aditivos utilizados en el concreto, el tipo y duración del mezclado, la consistencia, temperatura, módulo de finura y composición química del cemento y el uso de otros materiales cementantes y aditivos químicos. (ACI. Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad. Tercera edición, p 14. 2011).

La masa unitaria del concreto generalmente se realiza con el mismo recipiente que se utiliza para el contenido de aire por método a presión (ASTM C231). Se toma el peso de este recipiente lleno de concreto, seguido de la resta del peso del recipiente vacío y por último la división de dicha cantidad por el volumen debidamente calibrado del recipiente. Una vez obtenida la masa o peso unitario del concreto, se verifica el rendimiento volumétrico de una tanda o camión de concreto. Con este parámetro se puede establecer si un metro cúbico dosificado por una planta es el mismo, o que tan cerca está, con respecto al que se carga o despacha en el camión agitador o mezclador.

Como lo menciona la ACI en la guía del contratista para la construcción en concreto de calidad en el 2011, una variación en el rendimiento volumétrico que indique una mezcla más liviana que lo que establece la dosificación de la mezcla puede significar (p. 18):

- Que los materiales hayan cambiado
- Mayor contenido de aire
- Mayor contenido de agua
- Variación en la dosificación de los ingredientes
- Menor contenido de cemento

Estas variaciones sin lugar a dudas generarán alteraciones o deficiencias en las propiedades mecánicas del concreto. En el 2006 el ACI lo menciona en el manual del técnico Grado 1 de la siguiente forma:

“Si la reducción del peso unitario del concreto se debe a un incremento en el contenido de aire, posiblemente el concreto será más durable en su resistencia a ciclos de congelación y deshielo, pero

las cualidades de resistencia a la compresión, a la abrasión, al ataque de químicos, a la contracción, y al agrietamiento del concreto, se verán adversamente afectadas.” (p.31)

9.11.3.2.4 Temperatura del concreto (ASTM C1064)

Para concreto en clima cálido la temperatura máxima del concreto se especifica con frecuencia en 32°C. Según la ACI una temperatura alta afecta las mezclas de concreto en tres formas:

- Aumentar el contenido requerido de agua en la mezcla para el mismo asentamiento de tal modo que reduce la resistencia.
- Acorta el tiempo de fraguado.
- Aumenta la cantidad de incorporados de aire necesario para producir el contenido de aire especificado. (Es importante ajustar la dosificación del incorporador de aire para compensar las temperaturas altas y bajas).

Para el proyecto Atrio se tomó como medida inicial enfriar el agua y los agregados en el lugar de almacenamiento. Adicionalmente se utilizó hielo escarchado por bultos para bajar la temperatura de colocación a menos de 22°C para el concreto utilizado en el vaciado del concreto masivo.

La temperatura baja prolongada durante el proceso de fraguado causa retrasos en el proceso de madurez del concreto y en el tiempo de fraguado final, retrasando el transporte de los especímenes y a su vez la ganancia de rigidez y resistencia a edades tempranas.

9.11.3.3 Propiedades mecánicas del concreto endurecido CVC

9.11.3.3.1 Compresión de cilindros ASTM C39

Tabla 6 Análisis estadístico

Concreto ($f'c$) (Mpa)		27,57		
Muestra No.	Elemento	Resistencia Promedio (Mpa)	% $f'c$	NSR-10 Promedio Móvil
1	PILOTE 1040 1.00 PC-10	39,00	141,45	
2	PILOTE # 1065 100 P-1	38,71	140,42	37,87
3	PILOTE # 1065 100 P-1	35,89	130,19	36,92
4	PILOTE # 1033	36,15	131,13	34,57
5	PILOTE # 1033	31,66	114,85	34,85
6	PILOTE # 1062	36,72	133,20	35,94
7	PILOTE # 1062	39,44	143,05	38,91
8	PILOTE #1029	40,58	147,18	38,86
9	PILOTE #1029	36,57	132,66	38,14
10	PILOTE 1025 P1	37,27	135,18	36,56
11	PILOTE 1025 P1	35,83	129,95	37,32
12	PILOTE 1074 P1	38,85	140,92	35,46
13	PILOTE 1074 P1	31,70	114,98	37,78
14	PILOTE #1021 P-1	42,80	155,23	37,05
15	PILOTE #1021 P-1	36,65	132,94	40,75
16	PILOTE #1064 P-1	42,79	155,21	39,54
17	PILOTE #1064 P-1	39,18	142,13	40,62
18	PILOTE #1039 P-1	39,88	144,64	39,04

19	PILOTE #1019 P-1	38,06	138,07	38,34
20	PILOTE #1019 P-1	37,07	134,44	36,73
21	PILOTE #1005 P-1	35,05	127,12	36,91
22	PILOTE #1030 P-1	38,63	140,12	36,75
23	PILOTE # 1005 P-1	36,57	132,65	38,13
24	PILOTE #1030 PI	39,20	142,19	38,24
25	PILOTE # 1006 P-1	38,95	141,27	38,17
26	PILOTE # 1034 PC-2	36,36	131,88	34,85
27	PILOTE # 1034 PC-2	29,23	106,02	31,66
28	PILOTE 1078 P1	29,39	106,62	31,61
29	PILOTE 1078 P1	36,20	131,30	30,53
30	PILOTE 1008 P1	26,00	94,31	32,06
31	PILOTE 1008 P1	33,98	123,25	33,40
34	PILOTE 1005 A PC1	40,23	145,92	36,54
37	PILOTE 1005 PC1	35,41	128,45	37,97
39	PILOTE 1069	38,27	138,80	36,27
40	PILOTE 1069	35,13	127,40	37,50
41	PILOTE 1004	39,10	141,82	37,79
42	PILOTE 1026	39,16	142,03	39,80
43	PILOTE 1026	41,14	149,24	39,77
44	PILOTE # 1026 PC1	39,02	141,53	39,48
45	PILOTE # 1026 PC1	38,27	138,82	37,74
46	PILOTE # 1035 P-1	35,93	130,34	38,33
47	PILOTE # 1031 P-1	40,79	147,96	38,48
48	PILOTE # 1010 PC-4	38,71	140,42	38,62
55	PILOTE # 1020 PC-1	36,35	131,84	37,64
49	PILOTE # 1060 P-1	37,87	137,34	37,93
50	PILOTE # 1009 PC-1	39,58	143,58	38,09
51	PILOTE # 1020 PC-1	36,81	133,52	36,88
53	PILOTE 1009 PC-1	34,25	124,25	35,87
56	PILOTE # 1003 PC-10	36,54	132,53	35,75
57	PILOTE #1003 PC-10	36,47	132,27	36,65
58	PILOTE # 1037 P-1	36,95	134,02	34,57
63	PILOTE #1018	30,30	109,91	33,02
64	PILOTE #1018	31,82	115,41	30,71
65	PILOTE #1112 PC-06	30,02	108,89	32,87
66	PILOTE 112 1.10	36,78	133,41	35,46
80	PILOTE 1002 1M	39,59	143,60	36,00
81	PILOTE 1002 1M	31,62	114,67	34,67
94	PILOTE 1099	32,80	118,96	31,19
95	PILOTE 1099	29,15	105,72	29,51
106	PILOTE 1059	26,59	96,45	32,43
116	PILOTE 1073	41,55	150,69	35,55

117	PILOTE 1073	38,51	139,67	38,54
119	PILOTE 1081 PC11	35,56	129,00	36,59
120	PILOTE 1081 PC11	35,70	129,49	37,04
136	PILOTE 1075 PC2	39,85	144,55	36,48
137	PILOTE 1075 PC2	33,88	122,87	31,33
138	PILOTE 1070 PC-12	20,28	73,55	30,39
139	PILOTE 1070 PC 12	37,01	134,25	30,58
142	PILOTE 1066	34,45	124,94	37,07
144	PILOTE 1066	39,75	144,20	34,60
146	PILOTE 1024 100 PC 4	29,60	107,35	32,16
148	PILOTE NO 1011 1.00 PC4	27,12	98,37	30,63
155	PILOTE 1071	35,16	127,52	31,94
157	PILOTE 1071	33,55	121,70	34,48
167	PILOTE 1107 1.10 P2	34,72	125,94	34,52
169	PILOTE 1107 1.10 P-2	35,27	127,94	34,79
174	PILOTE 2016	34,38	124,70	34,83
182	PILOTE No 1063	34,84	126,38	35,90
185	PILOTE 1063	38,47	139,55	36,79
238	PILOTE 1061 PC-01	37,06	134,40	36,81
250	PILOTE 1076 P-1	34,89	126,56	35,28
252	PILOTE 1061	33,88	122,88	32,45
261	PILOTE #108 PC-3	28,57	103,63	32,32
262	PILOTE #108 PC-3	34,50	125,14	32,46
268	PILOTE 1003A	34,30	124,42	33,50
272	PILOTE 1080 PC-11	31,68	114,92	31,73
275	PILOTE 1080 PC-11	29,22	105,97	33,33
282	BARRETE BA1 #1	39,10	141,82	34,35
283	BARRETE BA1 #1	34,73	125,97	38,03
287	BARRTE BA1 #2	40,25	145,99	36,49
289	PILOTE #1017	34,49	125,09	36,41
290	BARRETE BA1 #2	34,50	125,15	35,27
291	PILOTE 1017 1.00	36,81	133,52	36,76
305	PILOTE # 1013 A -1.00	38,95	141,29	37,29
307	PILOTE # 1013A-1.00	36,10	130,94	37,36
318	PILOTE 1047A	37,02	134,29	36,27
324	PILOTE 1054	35,68	129,43	36,90
327	PILOTE 1054	37,98	137,77	33,81
332	PILOTE # 1043 A	27,77	100,71	34,50
335	PILOTE 1055	37,76	136,96	31,58
337	PILOTE 1055	29,22	105,97	33,64
346	PILOTE N° 1047 PC-14	33,95	123,14	32,86
347	PILOTE N° 1047 PC-14	35,41	128,45	35,14
365	PILOTE # 1068 PC-13	36,04	130,74	35,60
375	PILOTE # 1052 PC-4	35,33	128,16	34,87

387	PILOTE # 1058 PC-13	33,24	120,55	33,26
388	PILOTE # 1058 PC-13	31,22	113,24	32,64
389	PILOTE #1043 PC-13	33,45	121,33	32,73
390	PILOTE # 1043 PC-13	33,52	121,58	34,12
401	PILOTE N 1049 PC-15	35,40	128,41	33,32
402	PILOTE N 1049 PC-15	31,02	112,52	33,52
406	PILOTE N 1067 PC-8	34,14	123,81	33,46
408	PILOTE N 1067 PC-8	35,23	127,77	36,30
435	PILOTE # 1115 PC-6	39,53	143,38	37,43
444	PILOTE # 1112 PC-5	37,53	136,11	35,95
448	PILOTE #116-A PC-12	30,80	111,73	35,20
458	PILOTE #1053 PC-1	37,26	135,15	34,47
459	PILOTE # 1053 PC-1	35,33	128,16	34,24
461	PILOTE # 1114 PC-6	30,14	109,31	33,37
467	PILOTE # 1057 PC-1	34,65	125,67	33,99
470	PILOTE # 1057 PC-1	37,20	134,92	35,14
480	PILOTE # 1051 P-1	33,59	121,82	35,90
485	PILOTE NO 1045 P-1	36,91	133,87	36,12
486	PILOTE NO 1045 P-1	37,87	137,36	35,93
502	PILOTE No. 1056 PC-1	33,01	119,74	35,09
503	PILOTE No.1056 PC-1	34,40	124,77	33,76
506	PILOTE No.1063 PC-8	33,86	122,80	35,26
509	PILOTE No.1068 PC-8	37,53	136,14	35,41
519	PILOTE 2087 1050 PC-2	34,84	126,35	35,67
532	PILOTE # 1044	34,65	125,69	33,40
546	PILOTE 1111 PC-7	30,71	111,39	32,26
547	PILOTE 1109 PC-12	31,40	113,91	29,16
548	PILOTE 1048 PC-1	25,36	92,00	29,88
549	PILOTE 1048 PC-1	32,87	119,21	31,25
556	PILOTE N 11C PC-12	35,51	128,81	35,29
559	PILOTE 11A PC-12	37,50	136,01	33,87
574	PILOTE 1140 PC-7	28,59	103,69	33,79
575	PILOTE 1113 PC-12	35,28	127,96	35,75
577	PILOTE 1033 PC-2	43,37	157,32	39,63
580	PILOTE 1038	40,22	145,90	42,11
582	PILOTOR 1001	42,73	155,00	40,98
583	PILOTE 1001	39,98	145,01	41,65
592	PILOTE 1041 PC-15	42,25	153,24	42,65
594	PILOTE 1041 PC-15	45,71	165,80	42,61
605	PILOTEN 1046 PC-10	39,87	144,60	40,65
607	PILOTE 1046 PC-10	36,36	131,88	40,78
612	PILOTE 1042	46,11	167,24	44,43
613	PILOTE 1042	50,83	184,35	47,56
616	PILOTE 1106 P2	45,74	165,89	47,73

618	PILOTE 1106 P2	46,62	169,08	47,01
620	PILOTE 1016 P1	48,68	176,58	44,44
633	PILOTE 11.03	38,03	137,93	42,78
634	PILOTE 11.03	41,64	151,02	40,62
646	PILOTE N 1012 P-1	42,21	153,10	37,83
649	PILOTE N 1101 PC-3	29,66	107,58	34,56
651	PILOTE N 1101 PC-3	31,81	115,37	35,82
654	PILOTE 1105 PC-3	45,99	166,82	40,95
655	PILOTE 1105 PC-3	45,04	163,38	46,46
656	PILOTE N 1015 P-1	48,34	175,34	44,69
658	PILOTE N 1102 P-2	40,68	147,54	45,20
660	PILOTE 1102 P-2	46,60	169,01	43,39
663	PILOTE N 1022 P-1	42,91	155,64	50,82
671	PILOTE N 1104 P-2	62,96	228,37	53,82
673	PILOTE N 1104 P-2	55,60	201,65	61,19
674	PILOTE N 1013 PC-1	65,03	235,86	61,54
675	PILOTE N 1013 PC-1	64,00	232,15	56,49
680	PILOTE # 1017 PC-1	40,43	146,65	50,65
681	PILOTE # 1017 PC-1	47,52	172,36	42,72
686	PILOTE 1004 A 1.0M PC-1	40,20	145,82	48,01
690	PILOTE 1027 1.0M P-1	56,32	204,28	43,92
696	PILOTE #1023 PC-1	35,23	127,78	44,13
697	PILOTE # 1023 PC-1	40,83	148,10	39,57
702	PILOTE #1014 PC-1	42,66	154,75	40,84
703	PILOTE #1014 PC-1	39,04	141,59	40,00
712	PILOTE N 1032 PC-9	38,31	138,96	37,63
713	PILOTE N 1032 PC-9	35,54	128,90	39,80
714	PILOTE 1028 DIAMETRO	45,55	165,23	42,18
715	PILOTE 1028 DIAMETRO	45,45	164,86	42,92
730	PILOTE #1036 O 1.0M	37,76	136,95	40,27
731	PILOTE #1036 O 1.0M	37,62	136,44	
	Datos	180	---	178
	Promedio	37,33	---	37,32
	Desv (s)	6,21	---	5,19
	Min.	20,28	---	29,16
	Max.	65,03	---	61,54
	cv	16,65	---	13,92

Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

9.11.3.4 Control térmico

Ya que los sistemas de colocación de las mezclas del concreto nunca son iguales y siempre hay variaciones teniendo en cuenta la geometría de cada elemento, resulta muy importante tener en

cuenta todo lo concerniente al manejo de la temperatura del concreto en estado fresco y también en estado endurecido, para poder conocer las medidas que logren controlar la generación de calor, junto con el cambio de volumen para evitar el agrietamiento y la aparición de fisuras prematuras en el elemento.

La utilización de este método se realiza en elementos estructurales en los que, por su volumen de concreto, se hace necesario el control de la temperatura para el cuidado del equilibrio térmico de la estructura, por ejemplo:

- Elementos de concreto masivos.
- Elementos estructurales (bunkers, fundaciones, presas, pilas de puentes) que requieran control térmico.
- Sistemas de colocación que requieran control de temperatura.

Según las especificaciones de Atrio dice Van Zetten que:

“ El máximo calor de hidratación para la mezcla de la placa de cimentación según las especificaciones del proyecto fue de 65 ° C, con un diferencial de temperatura máximo (entre la superficie y el centro del elemento) de 20 ° C. El diseño de la mezcla de concreto se produjo para lograr el máximo calor de hidratación y la resistencia especificada en MPa. Los especímenes de resistencia se realizaron de acuerdo con ASTM C39, con valores de resistencia reportados para 7, 28, 56 y 91 días. La temperatura generada puede aproximarse utilizando la ecuación obtenida en el artículo de Concrete International (CI) de Gajda, Weber y Diaz-Loya, "Una mezcla de baja temperatura para concreto masivo". Otra técnica de simulación, como el calorímetro tipo Quadrel, es otro método que se pudo utilizar para generar posibles mezclas de concreto para el proyecto. En última instancia, un elemento monolítico de concreto de 3 m x 3 m x 3 m a escala completa se requirió para probar los modelos teóricos. Las características térmicas se midieron a través de termocuplas colocadas estratégicamente con valores de lectura continua cada 5 minutos que reprodujeron y presentaron a las partes interesadas para asegurar el cumplimiento de los requisitos máximos de calor de hidratación.

la ACI 207, cualquier volumen de concreto con dimensiones lo suficientemente grandes como para requerir que se tomen medidas para hacer frente a la generación de calor por hidratación del cemento y los correspondientes cambios de volumen, para minimizar el agrietamiento se clasifica como concreto masivo. Las tensiones de tracción significativas en el concreto masivo se desarrollan a partir de cambios de volumen asociados con el calor de hidratación. Si no se toman las medidas adecuadas, pueden producirse grietas debido al comportamiento térmico. Una maqueta construida con la mezcla de concreto seleccionada de la misma planta, permite determinar el máximo pico de calor y la máxima diferencia de temperatura entre el núcleo y la superficie expuesta. La comprensión de estos parámetros permite que el proveedor de concreto y el equipo del proyecto se aseguren de que el calor máximo de hidratación no exceda los 65 °C y que el perfil térmico desde el centro del elemento hasta la superficie expuesta sea inferior a 20 °C. Las diferencias de temperatura superando los 20 °C aumentan el potencial de fisuración por tensión térmica, mientras que las temperaturas pico superando los 65 °C pueden conducir a la formación retardada de etringita (DEF). Como se denomina por su sigla en inglés, DEF puede causar expansión interna y agrietamiento del hormigón y con frecuencia no se nota hasta varios años después de la colocación. Si cualquiera de las dos condiciones está en riesgo de ocurrir, los datos recogidos de la maqueta indicarán el grado de enfriamiento (es decir, hielo, nitrógeno líquido, agregados o agua de mezclado enfriados) antes de vaciar el concreto de la losa de cimentación. (Van Zetten, S & Keller, L. Atrio Concrete Prequalification Final Report. Versión 2. 2016. p 16)

Como se observa en la fotografía 17, las dos productoras de concreto fueron obligadas a vaciar concreto en obra para un cubo de maqueta de 3m x 3m x 3m para demostrar la capacidad de producción de concreto especial y al mismo tiempo para verificar la máxima reacción exotérmica obtenida utilizando un concreto de 4000 psi (28 Mpa). Se acordó que la temperatura máxima de colocación era de 22°C. La mezcla también se evaluó a la resistencia a la compresión a los 7, 14, 28, 56 y 91 días.

Fotografía 16 control térmico

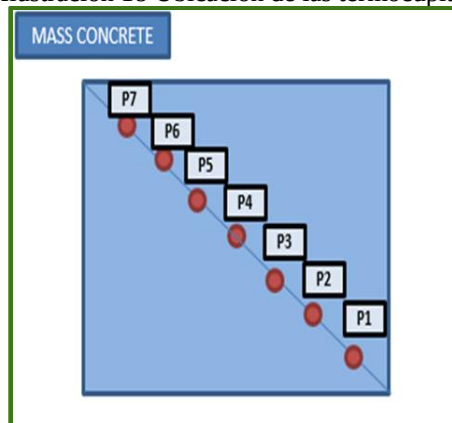


Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

En el costado derecho de la fotografía 17 se observa también el cubo recubierto con material aislante, asegurando un valor R 5 para protección térmica, con el fin de reducir el choque térmico entre la temperatura ambiente en la superficie y el núcleo del elemento.

En la siguiente ilustración 18 se muestra cómo se ubicaron las termocuplas para realizar el control térmico en las 2 maquetas.

Ilustración 18 Ubicación de las termocuplas



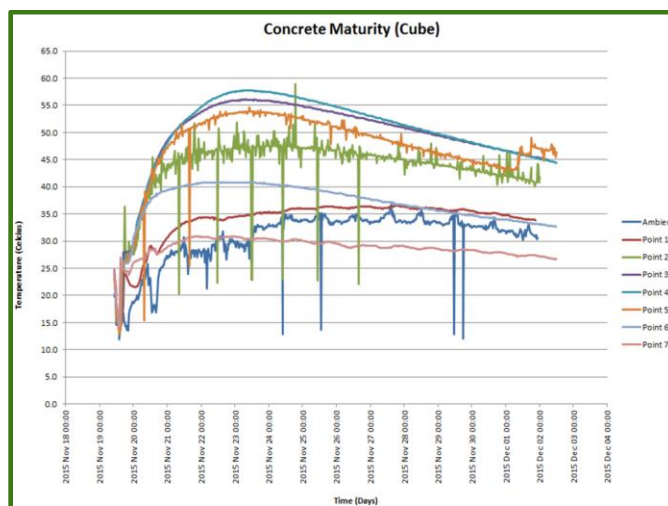
Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Las posiciones fueron las siguientes:

- Termocupla #1: 75 mm por encima de la cara inferior del cubo.
- Termocupla #2: 500 mm por encima de la cara inferior del cubo.
- Termocupla #3: 1000 mm por encima de la cara inferior del cubo.
- Termocupla #4: 1500 mm por encima de la cara inferior del cubo.
- Termocupla #5: 2000 mm por encima de la cara inferior del cubo.
- Termocupla #6: 2500 mm por encima de la cara inferior del cubo.
- Termocupla #7: 75 mm por debajo de la cara superior del cubo.

Como se puede observar en la siguiente ilustración 19, para la primera productora de concreto evaluada los resultados térmicos durante un período de 14 días, el cual empezó a media mañana el 19 de noviembre y alcanzó su temperatura máxima de $57,7^{\circ}\text{C}$ 4 días más tarde en la mañana del 23 de noviembre, el diferencial máximo entre la superficie superior y el punto medio del cubo en este momento era de aproximadamente 27°C , lo que excede la exigencia diferencial de 20°C . Adicionalmente las gráficas deben ser curvas suaves pero los sistemas recogen fallas menores y es por eso que ocurren los picos.

Ilustración 19 curva térmica concretera 1

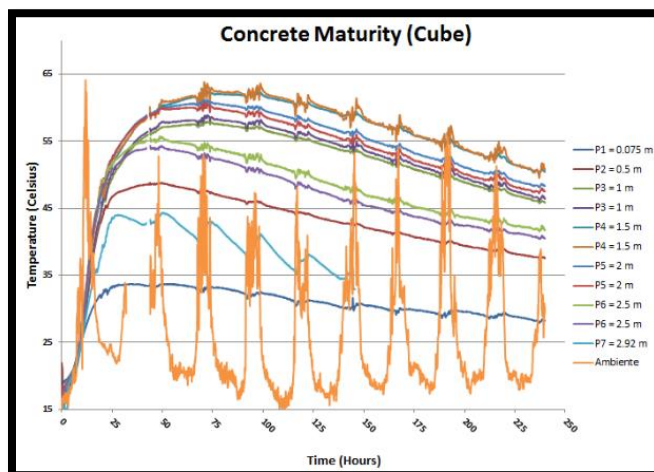


Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

En la ilustración 20 se muestran los resultados obtenidos para la segunda productora de concreto durante un período de 9 días. Comenzó a mediodía el 21 de noviembre y alcanzó su temperatura máxima de $63,8^{\circ}\text{C}$ 3 días después a mediados del día 24 de noviembre. El diferencial máximo

entre la superficie superior y el punto medio del cubo en este momento era de unos 30°C , lo que excede la exigencia diferencial de 20°C .

Ilustración 20 curva térmica concretera 2



Fuente: Proyecto Atrio – Torre norte

Como resultado resultados aceptables y confiables, el calor máximo de hidratación para ambos cubos de ensayo se mantuvo por debajo del máximo de 65°C . El diferencial de temperatura (entre el centro y la superficie) estaba ligeramente por encima de lo que es aceptable (28 vs 20°C). Esto se puede controlar mediante la utilización de un aislamiento de valor R en un tiempo adecuado, hasta que las condiciones sean tales que, los picos de temperatura se hayan reducido a rangos aceptables entre el ambiente y la superficie. No son necesarios ajustes a las características de la mezcla, ya que sólo se debe asegurar un adecuado procedimiento para protección y curado.

10. CONCLUSIONES

La patología de la construcción tiene un amplio espectro de aplicación y no solo se dedica a temas de repotenciar o rehabilitar estructuras existentes; proyectos de este estilo permiten que se desarrollen actividades propias de la patología encaminadas a generar medidas preventivas que mitiguen esas acciones que por diferentes circunstancias puedan causar deterioros y disminuir ese factor de vida útil que debe tener toda estructura.

Para lograr buenos concretos en obra se deben cumplir las prácticas y recomendaciones según normatividad para los procedimientos de colocación, vibrado, manejo, protección y curado.

Se debe tener un monitoreo constante de la temperatura del concreto en los concretos masivos definidos por el diseñador estructural para cumplir con las especiaciones y evitar lesiones prematuras en los elementos.

Es muy importante prevenir la pérdida de humedad y mantener la temperatura en los elementos de concreto inmediatamente después de ser fundidos y durante mínimo los siguientes 7 días, este proceso de curado es vital para garantizar la resistencia del concreto.

Revisando los resultados de la estadística podemos establecer que las muestras presentan un comportamiento adecuado en términos de resistencia. Ahora de acuerdo con los requisitos de NSR-10 en su Capítulo C 5, tenemos que la estadística no cumple con los criterios mencionados en C.5.6.3.3 ya que en la población de datos la muestra No. 138 tiene un resultado inferior en el parámetro de $f'c$ -3.5. Esto hace que la probación no cumpla ya que la NSR-10 especifica que ambos criterios Promedio Móvil y $f'c$ - 3.5 deben ser cero al final del análisis estadístico.

Para mitigar riesgos de lesiones futuras en una estructura, se debe tener todo el proyecto planificado antes de iniciarlo para poder garantizar un buen control técnico y una durabilidad de la estructura adecuada a sus especificaciones técnicas.

11. RECOMENDACIONES

El análisis de la información sobre el proyecto permite estimar algunas alternativas que se deben tener en cuenta para los proyectos de construcción en el país, así:

- Para los procesos de vaciado en placas de entrepiso, las obras deben contemplar dentro de sus procesos los horarios de vaciado del concreto, colocar barreras de protección contra viento, barreras que protejan del sol directo sobre la superficie del concreto. Generar el proceso de acabado de la superficie exactamente cuando la película de la superficie del concreto este en color mate, y no exceder el proceso de llenado. Esto seguramente mitigara las posibles manifestaciones de fisuración que se puedan presentar por efectos propios del proceso constructivo.
- Los procesos de apuntalamiento en los elementos que requieran de esta actividad se podrían desarrollar mediante pruebas iniciales con materiales aislantes que protejan el exceso de los esfuerzos que seguramente se generaran al momento de dar los ajustes requeridos para el trabajo solicitado.
- El proceso de perforación sobre el suelo para la construcción de elementos estructurales es complejo y demanda una actividad de control que permita garantizar la nivelación y ubicación de la estructura de acero dentro del elemento durante el vaciado. Se deben generar procesos de control en cada vaciado para estos elementos donde se verifique previamente que estos parámetros están en regla y se puede dar al visto bueno para iniciar el vaciado del concreto. Otra situación tiene relación directa con la extracción de los tubos por donde viaja el concreto, este proceso debe garantizar que no golpeará la estructura metálica durante el izaje de la misma.

En general una obra debe procurar por la generación de controles más efectivos y eficientes para que se disminuya esa variable que puede salirse del cauce y generar una mayor no conformidad del resultado.

12. BIBLIOGRAFIA

ACI 117M-10 Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117M-10) and Commentary METRIC, Recuperado de <https://es.scribd.com/book/44790663/ACI-117M-10-Specification-for-Tolerances-for-Concrete-Construction-and-Materials-ACI-117M-10-and-Commentary-METRIC>

ACI 207 Guide to Mass Concrete, Recuperado de, <https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/207105.pdf>

ACI 301. (2013) Especificaciones para concreto estructural, recuperado de: <http://www.acicolombia.org.co/revistas-bk/ACINoticias24.pdf>

(Guillén, Javier. Noviembre, 2015)

. (Jeo probe. Informe prueba down hole proyecto Atrio. 2016)

Muñoz, H. (2015). Construcción, interventoría y supervisión técnica de las Edificaciones de concreto estructural. Bogotá, Colombia. Asocreto.

Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. (2010). Título C, Concreto Estructural NSR-10. Recuperado de http://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_C.pdf

NTC 121 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA. CEMENTO PÓRTLAND. ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y MECÁNICAS, Recuperado de, <http://zonanet.zonafrancabogota.com/www/resources/NTC%20121%20de%201982.pdf>

NTC 3357 concretos. método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco de cemento

hidráulico, Recuperado de, <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3357.pdf>.

NTC 4040. soldadura. procedimiento de soldadura para el acero de refuerzo. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/131998324/NTC-4040>.

NTC 5551 concretos. durabilidad de estructuras de concreto, Recuperado de, <https://es.scribd.com/doc/70411342/NTC-5551-Durabilidad-Del-Concreto>,

Sánchez de Guzmán, D. (2002). Durabilidad y patología del concreto, Bogotá, Colombia, Asocreto.

(Salazar F. S.A. Informe 1 de instrumentación geotécnica. 2015. p 4)

Van Zetten, S & Keller, L. Atrio Concrete Prequalification Final Report. Versión 2. 2016. p 20)

Zanni, E. (2008). Patología de la construcción y restauro de obras de arquitectura. Córdoba, Argentina, Brujas.