PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL

Trabajo Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Civil:

“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PATOLOGÍAS PRESENTES EN LA ESTRUCTURA DEL TEATRO NACIONAL SUCRE DEL DM DE QUITO”

Autora:

DIANA ESTEFANÍA VACA CAÑAS

Quito , junio 2020

Dedicatoria

La dedicatoria de este texto se divide en tres partes:

En primer lugar se lo dedico a quienes sienten una profunda pasión por aprender y por ganar la mayor cantidad de conocimiento posible, a quienes no se conforman con un estereotipo dentro de un *status quo* y reconocen que para ser seres humanos íntegros y completos es necesario, entender y amar tanto el ARTE como la CIENCIA.

A quienes deben luchar un poco más que el resto de personas, por su vida y para lograr sus metas, sea por su , su género, condición social, su lugar de origen, su preferencia sexual, sus ideologías, y demás.

Y finalmente dedico este documento a todos quienes a diario se enfrentan a sus propias tormentas emocionales y mentales, honestamente les digo: “It gets better”.

Diana Estefanía Vaca C.

Agradecimientos

Agradezco desde el fondo de mi ser a:

Mis padres, Betty y René, por el apoyo y amor incondicional a lo largo de toda mi vida, por enseñarme lo que significa ser un verdadero ser humano y mujer.

A mis hermanos, Daniel y David, hoy soy quien soy, me gusta lo que me gusta y hago lo que hago gracias a ustedes.

A mi sobrino Alejandro, en el corto tiempo que tienes en este mundo me has permitido vivir de los momentos más dulces nunca imaginados, amo verte crecer y aprender cosas nuevas, quiero llegar a ser un modelo a seguir, de quien te sientas orgulloso.

A mis abuelas Elena y María Julia y mi tía Isabel, sus consejos, sus cuidados, su amor, sus tiernas palabras y su ejemplo han sido un gran ejemplo para seguir adelante.

A mis amigas de toda la vida: Ana, Arianna, Daniela, Jennyfer, Michelle, Shiram y Yessenia, gracias por el apoyo, por devolverme las ganas de luchar cuando no las tenía y por empujarme a seguir adelante mientras más difícil todo se volvía, gracias por una vida de sonrisas e historias.

A mis amigos y colegas: Daniela, Germán, Javier, Leonardo y Tatiana, todos dicen que en la universidad es casi imposible encontrar amigos de verdad que te apoyen y ayuden en las peores, pero yo los encontré a ustedes.

A Juan David, por siempre brindarme energía, apoyo y tanto amor, por ayudarme a descubrir la mejor versión de mí y por demostrarme que es amar de verdad a alguien.

A todos quienes forman el CORO PUCE, a los amigos que hice ahí y a su director Juan Carlos: gracias por permitirme formar parte de algo tan increíblemente hermoso y grande, gracias por ser mi escape en los días donde la carrera era demasiado.

Al Ing. Diego Cajas, por su guía y ayuda durante todo este proceso, por creer en mí y en un tema relacionado con el arte.

Al Teatro Nacional Sucre y a su personal, por la ayuda brindada, por ser el eje principal de esta disertación, y por permitirme no solo aprender sobre patologías estructurales, pero también conocer un poco más de su historia y poder apreciar toda el arte envuelta en este increíble lugar

Diana Estefanía Vaca C.

Resumen

Se realizó el análisis y evaluación de patologías en la estructura del Teatro Nacional Sucre, con enfoque a los materiales que la conforman; este teatro fue inaugurado el 26 de noviembre de 1886 en el Centro Histórico de la ciudad de Quito en las Calles Guayaquil y Manabí. Su última intervención tanto estructural como arquitectónica concluyo en el 2003 de modo que durante 17 años no se ha tenido ningún tipo de estudio al respecto. Al ser un eje tan importante de la cultura y sociedad ecuatoriana y al ser una de las edificaciones más antiguas de la ciudad y el primer teatro de esta, surge el interés por realizar un reconocimiento patológico de los materiales en su estructura.

Se denomina patología estructural a los defectos presentes en obras civiles, donde el estudio de patologías es el análisis de sus procesos, características, causas, origen, consecuencias y terapéutica, existiendo diferentes tipos de mecanismos de daños, como lo son las acciones físicas, las acciones químicas, acciones mecánicas y acciones biológicas.

En el caso de identificar una patología se deberá reconocer si su pronóstico es optimista o pesimista y el tipo de mantenimiento que la estructura necesitará, siendo este mantenimiento preventivo, correctivo o curativo, dependiendo del grado de afectación que se presente.

Se aplicaron un total de 4 ensayos, Análisis Visual para Edificios de Carácter Patrimonial, Ensayo de Ultrasonido (ASTM C 597), Escaneo Magnético (BS 1881 parte 204) y Esclerométrico por Punto (ASTM C 805), los cuales tiene la característica de ser no destructivos dado que como se trata de una estructura patrimonial no es posible la realización de actividades que alteren su aspecto o estado físico.

En el análisis visual se registran irregularidades en cuanto a la incompatibilidad de materiales, es decir se utiliza madera, acero, hormigón armado y mampostería en toda la estructura, resaltan también problemas a causa de humedad, varias fisuras que deberán ser estudiadas a fondo y determinar si solo se tratan de fisuras exteriores o si estas forman parte de los elementos en su interior, además mediante observación de fotografías antiguas, comparación de documentos oficiales y los resultados de algunos de los ensayos que usan maquinas se presencian alguna irregularidades entre lo que se ve en los planos estructurales y arquitectónicos y además irregularidades entre los planos estructurales y lo construido.

El ensayo de pulso ultrasónico da como resultado una identificación cualitativa de la calidad de hormigón, donde se obtiene de forma general como resultado un hormigón con calidad regular según Leslie-Cheesman y según Agraval un hormigón con calidad buena.

Con los resultados del ensayo de escaneo magnético, es donde más diferencia se tiene al compararlos con lo descrito en los planos estructurales, dado que tanto el número de varillas como el diámetro de las mismas en el 80% de los elementos ensayados no se

cumplen, lo cual incrementa la necesidad de la realización de un estudio completo, alrededor de esta edificación.

El ensayo esclerométrico, proporciona un indicio de la resistencia del hormigón, más los valores obtenidos no son exactos, este en realidad comprueba la uniformidad del hormigón, la cual es relativamente homogénea, sin grandes variaciones, presentando resistencias similares entre sí, como dato adicional se obtiene que el promedio de valores a la resistencia mediante este ensayo es de 293.2 kg/cm2, valor que varía del especificado en los planos estructurales, donde se define que es de 210 kg/cm2, razón por la cual se recomienda la aplicación de ensayos de extracción de probetas y de compresión simple.

De esta forma los resultados obtenidos servirán para generar una evaluación patológica de los materiales que componen la estructura.

Abstract

The analysis and evaluation of pathologies in the structure of the Teatro Nacional Sucre was carried out, with focus on its materials, it was inaugurated on November 26, 1886 in the Historic Center of the city of Quito between Guayaquil and Manabí streets. Its last intervention, both structurally and architecturally, concluded in 2003, nearly 17 years ago, and since then there has been no study in this regard. Being such an important axis of Ecuadorian culture and society and being one of the oldest buildings in the city and its first theater, the interest arises to make a pathological recognition of the materials in its structure.

Structure pathology is known as the defects on civil works, and the study of pathologies is the analysis of its processes, characteristics, causes, origin, consequences and therapeutic, with different types of damage mechanisms, such as physical actions, chemical actions, mechanical actions and biological actions.

In the case of identifying a pathology, it should be recognized if its prognosis is optimistic or pessimistic and the type of maintenance that the structure will need, being preventive, corrective or curative maintenance, depending on the degree of affectation that it has.

A total of 4 trials were applied, Visual Analysis for Heritage Buildings, Ultrasound Test (ASTM C 597), Magnetic Scan (BS 1881 part 204) and Sclerometric by Point (ASTM C

805), which have the characteristic of being non-destructive given that since it is a heritage structure, it is not possible to carry out activities that alter its physical appearance.

In the visual analysis, irregularities are registered regarding the incompatibility of materials, since wood, metal, reinforced concrete and masonry are used throughout the structure, also problems due to humidity, several cracks that should be studied in depth and determine if they are only external fissures or if they are part of the elements inside, also by observing old photographs, comparing documents and the results of some of the tests that use machines, some irregularities are seen between the structural and architectural plans and also irregularities between the structural plans and elements built.

The ultrasonic pulse test results in a qualitative identification of concrete quality, is generally obtained that the theater concrete has a regular quality according to Leslie-Cheesman and according to Agraval the concrete has good quality.

With the results of the magnetic scan test, it is where there is more difference when compared to what is described in the structural drawings, since both the number of the steel rods and their diameter in 80% of elements tested are not the same, which increases the need for a complete study, around this building.

The sclerometric test provides an indication of the strength of the concrete, but the values obtained are not accurate, this actually checks the uniformity of the concrete, which is relatively homogeneous, without large variations, presenting similar resistances to each other as additional data is obtained that the average values of the resistance by this test is

293.2 kg / cm2, a value that varies from what is specified in the structural drawings, where it is defined to be 210 kg / cm2, which is why the application of test specimens and simple compression is needed.

In this way the results obtained will serve to generate a pathological evaluation of the materials that make up the structure.

Tabla de Contenido

Dedicatoria 1

Agradecimientos 2

Resumen 4

Abstract 7

CAPÍTULO 1: Generalidades 19

1.1 Introducción 19

1.2 Planteamiento del Problema. 20

1.3 Justificación 22

1.4 Hipótesis 24

1.5 Objetivos 24

1.5.1 Objetivo General 24

1.5.2 Objetivo Específicos 24

1.6 Alcance 25

2. CAPÍTULO 2: Investigación teórica 27

2.1 Antecedentes del teatro 27

2.1.1 Historia del teatro Nacional Sucre 27

2.1.2. Intervenciones y Reparaciones 32

2.1.2.1. Primera Intervención (1900 – 1905) 32

2.1.2.2. Segunda Intervención (1922) 33

2.1.2.3. Tercera Intervención (1948 – 1952) 33

2.1.3. Intervención Estructural por el FONSAL en 1998 35

2.2 Estado Actual del Teatro 45

2.3 Factores Ambientales dentro de Patologías....55
2.3.1 Clima....55
2.3.1.1 Temperatura....56
2.3.1.2 Humedad....57
2.3.1.3 Presión Atmosférica....59
2.3.2 Medio Ambiente....60
2.3.3 Cambio Climático....60
2.3.3.1 Efecto Invernadero....61
2.3.3.2 Cambio Climático por Actividades Humanas....62
2.3.3.3 Cambios Climático por Efectos Medioambientales....62
2.3.3.4 Efectos del Cambio Climático en Estructuras Civiles....62
2.3.4 Clima en el Ecuador....63
2.3.5 Clima en el Distrito Metropolitano de Quito....65
2.3.6 Acción del Medio Ambiente....69
2.3.6.1 Ambiente débil....70
2.3.6.2 Ambiente moderado....70
2.3.6.3 Ambiente severo....71
2.3.6.4 Ambiente muy severo....71
2.4 Patología del Hormigón....72
2.4.1 Vida Útil de una Estructura....77
2.4.1.1 Vida Útil de Servicio....78
2.4.1.2 Vida Útil Ultima....78
2.4.1.3 Vida Útil Residual....79

2.4.2 Pronóstico de una Estructura....79
2.4.2.1 Pronóstico Optimista....79
2.4.2.2 Pronóstico Pesimista....80
2.4.3 Mantenimientos de la Estructura....80
2.4.4 Fallas en las Estructuras de Hormigón....81
2.4.4.1 Ley de Sitter....82
2.4.4.2 Fallas en el Periodo de Concepción y Diseño del Proyecto....84
2.4.4.3 Fallas por Materiales....85
2.4.4.4 Fallas por Construcción....85
2.4.4.5 Fallas por Uso de la Estructura....86
2.5. Fisuras y Grieta....88
2.5.1. Tipos de Fisuras....90
2.5.1.1. Fisuras antes del endurecimiento....90
2.5.1.2. Fisuras después del endurecimiento....91
2.5.2. Reparación de fisuras....95
2.5.2.1. Cicatrización....96
2.5.2.2. Oralización....96
2.5.2.3. Grapado....96
2.5.2.4. Inyecciones....97
2.5.2.5. Inyecciones con pasta de cemento y morteros....97
2.6. Mecanismos de Daño....97
2.6.1. Acciones Físicas en la Estructura....98
2.6.1.1. Cambios de Humedad....99

2.6.1.2. Cambios de Temperatura 102
2.6.2. Acciones Químicas en la Estructura 106
2.6.2.1. Ataques de Sulfatos 107
2.6.2.2. Ataque de Ácidos 108
2.6.2.3. Reacción Álcali-Agregados 109
2.6.2.4. Aguas blandas o puras 110
2.6.2.5. Carbonatación 111
2.6.2.6. Corrosión 113
2.6.3. Acciones Mecánicas en la Estructura 118
2.6.3.1. Deficiencia Estructural 120
2.6.3.2. Vibraciones excesivas 120
2.6.3.3. Abrasión 120
2.6.4. Acciones Biológicas 121
2.6.4.1. Cultivos Biológicos 122
2.6.4.2. Bacterias 122
2.6.4.3. Hongos 123
2.6.4.4. Algas y Musgos 124
2.7. Defectos y/o Daños de una Estructura 124
2.7.1. Congénitos 125
2.7.2. Adquiridos 125
2.7.3. Accidentales 125
2.7.4. Deterioro de la apariencia de una estructura 126
2.7.4.1. Polución del medio Ambiente 126

2.7.4.2. Cultivos Biológicos 127
2.7.4.3. Eflorescencias 128
2.7.5. Mecanismos de deterioro 129
2.7.5.1. Meteorización 129
2.7.5.2. Manchado o decoloración 130
2.7.5.3. Lixiviación 131
2.7.5.4. Reacciones deletéreas 132
2.7.5.5. Expansión 133
2.7.5.6. Disgregaciones 134
2.7.5.7. Desagregaciones 134
2.7.5.8. Despasivación del acero de refuerzos 135
3. CAPÍTULO 3: Inspecciones y Ensayos 136
3.1 Inspección Preliminar 136
3.1.1 Planta Subsuelos 137
3.1.2 Planta Luneta Baja 138
3.1.3 Planta Primera de Palcos 139
3.1.4 Planta Segunda de Palcos 140
3.1.5 Planta Luneta Alta 140
3.2 Descripción del Sistema Estructural 141
3.2.1 Características Estructurales 141
3.3 Ensayos 149
3.3.1 Análisis visual para Edificios de Carácter Patrimonial 152
3.3.1.1 Equipo 152

3.3.1.2 Procedimiento 152
3.3.1.3 Interpretación de Resultados 153
3.3.2 Ensayo de Ultrasonido (ASTM C 597) 154
3.3.2.1 Equipo 156
3.3.2.2 Procedimiento 158
3.3.2.3 Interpretación de Resultados 159
3.3.3 Escaneo magnético (BS 1881 parte 204) 162
3.3.3.1 Equipo 163
3.3.3.2 Procedimiento 164
3.3.3.3 Interpretación de Resultados 165
3.3.4 Esclerométrico por Punto (ASTM C 805) 165
3.3.4.1 Equipo 166
3.3.4.2 Procedimientos 168
3.3.4.3 Interpretación de Resultados 168
4. CAPÍTULO 4: Cálculos y Resultados (Diagnóstico y Tratamiento) 171
4.1 Análisis visual para Edificios de Carácter Patrimonial 171
4.1.1 Procedimiento 171
4.1.2 Resultados 200
4.1.3 Diagnóstico y Tratamiento 208
4.2 Ensayo de Ultrasonido (ASTM C 597) 211
4.2.1 Procedimiento 211
4.2.2 Cálculos y Resultados 213
4.2.3 Diagnóstico y Tratamiento 215

4.3 Escaneo magnético (BS 1881 parte 204) 220
4.3.1 Procedimiento 220
4.3.2 Cálculos y Resultados 222
4.3.3 Diagnóstico y Tratamiento 225
4.4 Esclerométrico por Punto (ASTM C 805) 229
4.4.1 Procedimiento 229
4.4.2 Cálculo y Resultados 231
4.4.3 Diagnóstico y Tratamiento 235
5 CAPÍTULO 5: Conclusiones y Recomendaciones 240
5.1 Conclusiones 240
5.2 Recomendaciones 247
BIBLIOGRAFÍA 249
ANEXOS 252
1. Plano Estructural Cimentación Bloque Oeste 252
2. Plano Estructural Losa Bloque Oeste N+14.19 253
3. Plano Estructural Losa Bloque N+23.27 254
4. Plano Estructural Losa Bloque Oeste N+17.25 N+20.31 255
5. Plano Estructural Cimentación Bloque Sur 256
6. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+13.62 257
7. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+22.80 258
8. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+25.30 259
9. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+16.68 N+19.74 260
10. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+16.68 N+19.74 261

11. Plano Arquitectónico Planta Subsuelo 262

12. Plano Arquitectónico Planta Luneta Baja.....263

13. Plano Arquitectónico Planta Primera Palco 264

14. Plano Arquitectónico Planta Segundo Palco 265

15. Plano Arquitectónico Planta Luneta Alta 266

16. Plano Arquitectónico Subsuelos 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1548 267

17. Plano Arquitectónico Planta Luneta Baja 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1549 268

18. Plano Arquitectónico Planta Primera de Palcos 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1551 269

19. Plano Arquitectónico Segunda Primera de Palcos 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1552 270

20. Plano Arquitectónico Planta Luneta Alta 1994. Fuente: p://172.16.147:8080/handle/inpc/1554.....271

21. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 1/5 272

22. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 2/5 273

23. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 3/5 274

24. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 4/5 275

25. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 5/5 276

26. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 1/15.....277

27. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 2/15.....278

28. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 3/15.....279

29. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 4/15.....280

30. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 5/15.....281

31. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 6/15.....282
32. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 7/15.....283
33. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 8/15.....284
34. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 9/15.....285
35. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 10/15.....286
36. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 11/15.....287
37. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 12/15.....288
38. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 13/15.....289
39. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 14/15.....290
40. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 15/15.....291
41. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 1/5.....292
42. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 2/5.....293
43. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 3/5.....294
44. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 4/5.....295
45. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 5/5.....296

CAPÍTULO 1: Generalidades

1.1 Introducción

Las estructuras elaboradas en hormigón generalmente tienen un tiempo de vida estimado de alrededor de 50 años, sin embargo existen obras de infraestructura cuyo tiempo de vida pueden llegar hasta los 100 años, dependiendo de las características mecánicas que tenga el material, el uso de la edificación y la acción que el entorno natural tenga con la estructura; es decir durante este tiempo es necesario controlar y asegurar sus condiciones estéticas, de funcionalidad y seguridad para que su vida útil pueda ser la mayor posible; pero lo mencionado anteriormente no significa que una vez terminado su periodo estipulado de vida la estructura deba ser dada de baja y ser demolida, puede existir la posibilidad que el costo que implicaría su mantenimiento y rehabilitación para garantizar su funcionalidad hacia el futuro, sea menor en comparación con el costo que conllevaría la demolición y reconstrucción del mismo, por esta razón resulta necesaria la realización de estudios en los cuales se examinen el estado de la estructura para poder llegar a determinar la mejor opción posible.

La vida útil de una estructura está dada por la durabilidad que tienen los materiales que la componen, en el caso del hormigón hidráulico la durabilidad es medida principalmente según su capacidad de resistir las diferentes acciones que puede presentar el medio ambiente que le rodea, incluyendo entre estos los ataque químicos y biológicos, el cumplimiento de las especificaciones técnicas dadas por el constructor y el regular

mantenimiento y limpieza de la edificación. De manera general la durabilidad según Bedoya (2010) se describe así: “La durabilidad de la estructura está determinada por el diseño, calidad de los materiales, práctica constructiva, control de calidad durante el proceso de construcción, y protección durante la vida útil”(p1).

En la década de los 60’s alrededor del mundo se comenzó a tener un especial cuidado con relación al mantenimiento, reparación y conservación de estructuras a base de hormigón armado, gracias a lo cual se origina el entendimiento de los mecanismos que pueden llegar a lastimar el concreto, en otras palabras nace el estudio formal de las patologías del concreto y la prevención de desastres.

Sánchez de Guzmán (2006) define a las patologías de la siguiente manera: “La patología del concreto puede definirse como el estudio sistemático de los procesos y características de las enfermedades o los defectos y daños que puede sufrir el concreto, sus causas. Sus consecuencias y sus remedios” (p 82.), estas se determinan mediante una evaluación patológica, la cual consiste en realizar ensayos a diversos elementos y materiales de una estructura en específico, sean in situ o en laboratorio, los cuales brindarán una valoración estructural que podrá ser utilizada como un elemento de estudio para hallar soluciones y planes de prevención.

1.2 Planteamiento del Problema.

La presencia de enfermedades o patologías en una estructura, tienen una incidencia directa en la afectación de su funcionamiento ya sea por el deterioro de los materiales de

construcción, la reducción de su tiempo de vida o el incremento de vulnerabilidad de la edificación, la acción de diversos factores como la edad, las escasas reparaciones y remodelaciones, la acción de agentes externos como el clima y el agua, desastres naturales dentro del último siglo, incendios, entre otros han llevado a desatar la duda de las posibles patologías presentes en esta construcción (Teatro Nacional Sucre).

El hormigón es un material al que se pueden modificar sus características físicas y químicas dependiendo de los materiales utilizados (agregados, pasta cementante y aditivos), lo cual le da una versatilidad sumamente grande y permite que dentro del campo de la construcción se logre adaptar fácilmente a prácticamente cualquier especificación que se desee.

El concreto que conocemos hoy en día, es un material de construcción formado básicamente por rocas (áridos) que cumplen con especificaciones, condiciones y características: mecánicas, fiscas, granulométricas, con un tamaño máximo limitado, entre otras, las cuales estarán unidas entre sí por la pasta cementante, también llamada aglomerante, que se la elabora con cemento y agua, y brindará muchas de las características al hormigón cuando este se encuentre en estado fresco y en su estado sólido.

Dentro del teatro Nacional Sucre la presencia de hormigón se da a causa de las últimas intervenciones realizadas para su ampliación y rehabilitación, a pesar que en ciertos sectores aún se halla elementos originales de la estructura construidos en mampostería, dentro del estudio a ser realizado se considera al hormigón como el material predominante

a ser ensayado, haciéndolo el principal objeto de estudio en esta disertación. Existiendo también la presencia de madera, elementos de albañilería, y acero dentro de algunos de los componentes principales del teatro razón por la cual a estos se los analizará de manera complementaria y buscando principalmente una interacción con las características que presentará el hormigón armado. Así mediante la aplicación de ensayos no destructivos: Esclerométrico por punto (ASTM C 805), Ensayo de Ultrasonido (ASTM C 597), Escaneo magnético (BS 1881 parte 204) y Análisis Visual mediante la aplicación de la metodologías desarrolladas para Edificios de Carácter Patrimonial, como es el caso del teatro Nacional Sucre, se evaluará las condiciones patológicas que se hallan en la estructura de este teatro para posteriormente determinar posibles soluciones a cada una de las afectaciones presentes.

1.3 Justificación

El teatro Nacional Sucre ubicado en el centro histórico del Distrito Metropolitano de Quito, representa socioculturalmente una sede de conocimiento y arte para la capital del país. Inaugurado el 26 de noviembre de 1886, gracias al interés por parte de la población de la capital, ya que en aquellos años el único teatro del país, el teatro Olmedo, se encontraba ubicado en la ciudad de Guayaquil. Por su gran historia, arquitectura, e importancia cultural este teatro es considerado actualmente parte del patrimonio cultural de la humanidad, pero después de más de un siglo de vida, este ha pasado por varios tipos de intervenciones, malos cuidados, desastres de tipo estructural, etc que han puesto en

duda el funcionamiento de su estructura, sus cimientos e incluso su mampostería. (Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, [FONSAL], 2003).

La vulnerabilidad de las estructuras se ve reflejada en gran medida mediante el análisis y evaluación de sus patologías, término explicado previamente, que no significa más que el estudio de una enfermedad, en este caso es el estudio de las "enfermedades" que presenta los materiales de la estructura de una construcción, las cuales pueden ocasionar varios tipos de consecuencias que pueden ser desde leves como incomodidad y molestia a sus ocupantes o usuarios, hasta grandes deficiencias estructurales e incluso el colapso total o parcial de la edificación.

Ya que esta edificación se encuentra localizada en una zona de alta densidad urbanística, como es el centro histórico de Quito. La determinación y evaluación de sus patologías representa un estudio esencial para garantizar la seguridad tanto de los usuarios regulares de las instalaciones, visitantes, participantes ocasionales del teatro y para la población en general, dado el lugar donde que encuentra ubicado y a lo que representa social y culturalmente dentro de nuestro medio.

La importancia que tiene esta edificación para el contexto cultural dentro de la ciudad e incluso del país es una de las principales causas para la realización del presente trabajo de disertación, junto con la importancia ingenieril y arquitectónica del salvaguardar la integridad de la estructura original aun cuando se determine que es necesaria una rehabilitación; todo esto a realizarse mediante la presentación de los resultados de los ensayos a realizar y el análisis de los mismos con el fin de realizar un diagnóstico claro

desde una perspectiva estudiantil, recordando que para realizar un diagnóstico real y 100% confiable será necesaria la intervención de profesionales en el campo junto con la realización de ensayos más completos y confiables.

1.4 Hipótesis

El teatro Nacional Sucre presenta patologías en los materiales que conforman su estructura, ya que a simple vista se observan en sus espacios: fisuras, disgregaciones, efectos a casusa de humedades e incompatibilidad de materiales.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Identificar, analizar y evaluar las patologías presentes en los materiales de la estructura del teatro Nacional Sucre del DM de Quito.

1.5.2 Objetivo Específicos

- Aplicar ensayos no destructivos y análisis visual para poder determinar patologías presentes en la estructura del teatro Nacional Sucre.
- Realizar una evaluación de la afectación que la estructura presenta a nivel del material para determinar el correcto o incorrecto funcionamiento del sistema estructural.
- Proponer posibles soluciones para las patologías identificadas.

1.6 Alcance

Inicialmente el trabajo de titulación planteado será de tipo descriptivo buscando determinar características de los elementos patológicos presentados en los materiales que conforman estructura del teatro Sucre para proveer información sobre procesos constructivos de la época, y principalmente la realización de una evaluación a nivel superficial de la presencia de enfermedades en el hormigón 17 años después de su última intervención estructural, la descripción se basará en bibliografías, libros y artículos publicados sobre temas relacionados, para este fin se complementará la descripción con los ensayos a realizarse en campo, se aplican de un total de cuatro ensayos: Ensayo de Ultrasonido (ASTM C 597), Escaneo magnético (BS 1881 parte 204), Esclerométrico por punto (ASTM C 805) y Análisis visual para Edificios de Carácter Patrimonial, de los cuales los cuatro primeros están destinados a los materiales de la estructura de hormigón presente en el teatro fruto de las diversas intervenciones de reconstrucción echas al mismo, mientras que el quinto ensayo será aplicado tanto a los materiales de a la estructura de hormigón y a los materiales de la estructura original compuesta de ladrillos, adobe, morteros, madera y acero para así obtener información global. Además dentro del ámbito descriptivo también se mencionarán varias de las intervenciones realizadas al teatro Nacional Sucre, profundizando en la realizada durante el periodo de 1998 hasta el 2003, en la cual no solo se refaccionaron aspectos arquitectónicos como en muchas de las previas intervenciones, pero también aspectos importantes dentro de la ingeniera civil, como: refuerzo de cimentaciones, corrección de la estructura principal elaborada en mampostería

que fue reforzada con hormigón armado y fachadas, sustitución de elementos constructivos, etc.

Así una vez obtenidos los diversos resultados y como punto final se obtendrán conclusiones al respecto de estados físicos y la posible terapéutica a seguir para estudiar a profundidad o eliminar las afectaciones, o en su defecto a mitigarlas.

CAPÍTULO 2: Investigación teórica

2.1 Antecedentes del teatro

2.1.1 Historia del teatro Nacional Sucre

> Más de cuarenta y cinco mil noches, unos cuantos eclipses, cuarenta y siete presidentes algunos golpes de estado, dos guerras mundiales, el naufragio del Titanic, la conquista del Polo Sur, la primera vez en la cumbre del Annapurna, del cine silente al sonoro, el primer hombre en la luna, de las noches iluminadas por velas de cebo a las luces comandadas por sistemas electrónicos. (Patiño, 2012,pag 7).

El actual lugar donde se encuentra ubicado el teatro Nacional Sucre toma el nombre de Plaza del Teatro, lugar que nace en el siglo XVI siendo la localidad de las carnicerías de la ciudad, donde, como su nombre lo indica se realizaban trabajos de camal y donde además se disponían los restos y desperdicios del faenamiento del ganado, conocido en aquel entonces el nombre de Plaza de las Carnicerías, lugar que para el año 1763 incorporaría una fuente justo en la mitad para uso en los trabajos relacionados con el camal que operaba en el lugar, posteriormente bajo el gobierno de Diego Carrascal presidente de la Audiencia de Quito, entre los años 1670 y 1672 se dispone como ley la celebración de dos corridas de toros de forma semanal dentro de la capital, las cuales tomarían lugar en la Plaza Mayor y en la Plaza de las Carnicerías, tradición que se llevó a cabo durante varios años, por lo que La Plaza de las Carnicerías pasó de ser un centro de faenamiento a una plaza de toros real por órdenes de José de Villalengua y Marfil en el año 1786, quien reformó este lugar y construyó una “adecuada” plaza de toros para la ciudad, ya que en otros lugares del distrito las corridas de toros se daban en lugares adaptados

improvisadamente para este fin como fue el caso de la Plaza Grande donde se montaban gradas mediante el uso de tablas de madera, o se utilizaban los balcones de las casas vecinas como palcos; gracias a estas medidas provisionales se dieron varios accidentes ya sea por el descarrilamiento del animal o por el derrumbamiento de las precarias instalaciones, fue así como en la Plaza de la Carnicería se construyeron graderíos hechos de mampostería junto con las correspondientes instalaciones para la cobranza del abono del evento y áreas verdes de descanso para los espectadores. Para el año 1867 la legislatura de la entonces República del Ecuador a cargo de Gabriel García Moreno influenciados por ideas revolucionarias para la época con relación a educación, infraestructura, desarrollo científico y más, decreta la prohibición de corridas de toros ya que estas se llegan a tildar de bárbaras y contrarias a la moral pública y manda que las municipalidades construyan teatros en las jurisdicciones previas de estos centros. (FONSAL, 2003).



Ilustración 1. Antigua Plaza de las Carnicerías 1865, Fotógrafo: no identificado

En 1879 una vez reubicadas las carnicerías comenzaría la construcción del nuevo teatro de la ciudad, donde, en su parte frontal se aprovecharía el espacio dedicado al matadero para crear la Plaza del Teatro la cual se convertiría desde mediados del siglo XX en uno de los lugares más importantes de la ciudad hasta la actualidad y en la sección sur de la antigua carnicería se ubicaría el teatro Nacional Sucre actualmente ubicado en las calles Guayaquil y Manabí en el distrito Metropolitano de Quito con coordenadas 0°13′08″S 78°30′32″O, bajo la construcción del señor Leopoldo Fernández Salvador y la dirección de los planos arquitectónicos del alemán Francisco Schmidt, así a consecuencia de este cambio de dinamismos y de uso de recursos de la zona, el sector lindante al nuevo teatro fue ocupado por las personas más pudientes de la entonces ciudad, de forma que nuevas edificaciones, casas, hoteles, instituciones públicas, escuelas, etc. fueron construidas afectando a los límites de la plaza donde varios de estos edificios se construyeron sin escala y contexto de la zona siendo parte de ensayos creativos que produjeron estructuras de dudosa calidad constructiva y arquitectónica. (FONSAL, 2003).



Ilustración 2. Calle Guayaquil desde la esquina con Esmeraldas 1924, Fotografía: Remigio Noroña



Ilustración 3. Teatro Nacional Sucre 1888. Fotógrafo: no identificado

La construcción de este centro fue posible gracias a que la sociedad quiteña se encontraba en una evolución de tipo moral donde se comenzaba a superar el temor a las actividades cultural tales como el teatro y la música, las cuales durante largo tiempo habían sido consideradas como un peligro para la ética y moral de la ciudad. Durante los inicios del Teatro este tomo el nombre del teatro Nacional, pero fue gracias a la influencia de Marieta de Veintimilla (planificadora urbana de la ciudad, símbolo del movimiento feminista y sobrina de del presidente Ignacio de Veintimilla) que se alteró su nombre a Nacional Sucre en honor al combatiente de Pichincha. Debido a muchos retrasos e imprevistos, la construcción, entrega e inauguración del teatro se realizó el 25 de noviembre 1886 con un costo total de 111 000 sucres, precio que en la actualidad y después de 19 años de desuso de esta moneda, equivaldría a 4.41 USD.

Al poco tiempo de inaugurado, extremistas de derecha que se encontraban en oposición a la presencia y utilización del teatro tildándolo de inmoral intentaron incendiarlo, pero gracias a la pronta respuesta de la población el siniestro puedo ser controlado (FONSAL, 2003).



Ilustración 4. Teatro Sucre hacia 1911, Fotógrafo: no Identificado

2.1.2. Intervenciones y Reparaciones

Desde sus inicios el Teatro Nacional Sucre ha sufrido deterioros apresurados en comparación a su tiempo de vida y a su uso, esto gracias la presencia de humedad, la acción de ojos de agua y quebradas sobre las cuales se construyó y sobre todo la falta de fondos para su correcto y controlado mantenimiento, razón por la cual en su historia se relatan numerosas intervenciones y reconstrucciones algunas siendo netamente arquitectónicas y otras en las cuales sus elementos estructurales han sido reforzados.

2.1.2.1. Primera Intervención (1900 – 1905)

Durante el periodo de la presidencia del General Eloy Alfaro bajo la dirección de Schmidt quien en ese entonces era el arquitecto del Estado, se la realiza por intereses políticos la primera intervención, entre los cuales se buscaba realzar las actividades artísticas y culturales lo que se esperaba que mostrara al Ecuador como un país "civilizado", en esta intervención se dio especial importancia al aspecto físico del teatro, agregándose detalles a su fachada como los actuales relieves que esta posee mostrando un estilo puramente neoclásico dentro del orden jónico, además se reemplazaron los cielos rasos, la cubierta de madera por una echa a base de hierro y varios elementos de madera que habían sido maltratados gracias a la presencia de insectos y humedad. (FONSAL, 2003)

2.1.2.2. Segunda Intervención (1922)

Se realizan algunos trabajos dedicados en su mayoría a la decoración, estos a cargo de Pedro Pablo Travesari que buscaba dar una nueva imagen al teatro ya que se celebraría el Centenario de la Batalla de Pichincha, esta intervención no afectó de forma general a la estructura sobre la que descansa la edificación, la cual ya para ese entonces necesitaba de un reforzamiento ya que no se contaba con los recursos económicos necesarios, entre los trabajos realizados se mencionan la intervención en la cubierta que pertenecía a la parte del escenario, la cual necesitaba ser elevada diez metros para dejar espacio al manejo de la tramoya, el control de humedad dentro del recinto, problema que se produce ya que el nivel freático de la zona se encuentra muy cerca del nivel de la superficie dado a que el lugar sobre el que se levanta el teatro era parte del lecho de la quebrada que bajaba al barrio popular de San Juan, que para este entonces ya había afectado a varias secciones del teatro cuando el agua surgía en las zonas más baja de la estructura, en especial a los elementos elaborados en madera como los pilares que sustentan la maquinaria escenográfica. (FONSAL, 2003)

2.1.2.3. Tercera Intervención (1948 – 1952)

Durante la presidencia de Galo Plaza Lazo se realiza la siguiente gran intervención, ya que para este momento el teatro se encontraba notoriamente deteriorado, durante la cual se cierran las puertas y se cancelan todos los espectáculos del teatro durante los cuatro años que duro su mandato ya que no se poseían los fondos necesarios para mantenerlo en funcionamiento y en estado de restauración al mismo tiempo, lo cual afecta a la duración

que se toma para poder rehabilitarlo. El artista Alberto Coloma Silva fue el profesional a cargo de los nuevos cambios del teatro, el mismo entregó a la ciudad un teatro Nacional Sucre el 27 del año 1952 completamente renovado tanto estructural como arquitectónicamente. Entre las novedades se encontraban la ampliación de la platea del teatro lo cual se logró eliminando algunos palcos, reparación y sustitución del piso de entablado, se hizo una renovación de la galería junto con el reemplazo el cielo raso ubicado en la platea, además la boca del escenario se redujo y se ampliaron los camerinos, construyendo nuevos espacios tras el escenario, además hubo una readecuación y mejoramiento en sistemas sanitarios y eléctricos. (FONSAL, 2003)

Cuando asume Velasco Ibarra su tercera presidencia durante el año 1952 el mismo vuelve a abrir las puertas del teatro, el cual tenía en calendario la puesta en escena de la obra El Dictador a cargo de Jorge Icaza y Marina Moncayo, así que dada la casualidad de la toma del mandato del nuevo presidente, con la presentación de esta obra, el primer mandatario malinterpreta la coincidencia y decide cerrar nuevamente el teatro alegando la necesidad de nuevas reparaciones, poco tiempo después una vez calmados los tintes políticos y olvidado el escándalo, el teatro vuelve a entrar en funcionamiento (FUNDACION TEATRO NACIONAL SUCRE, 2012)

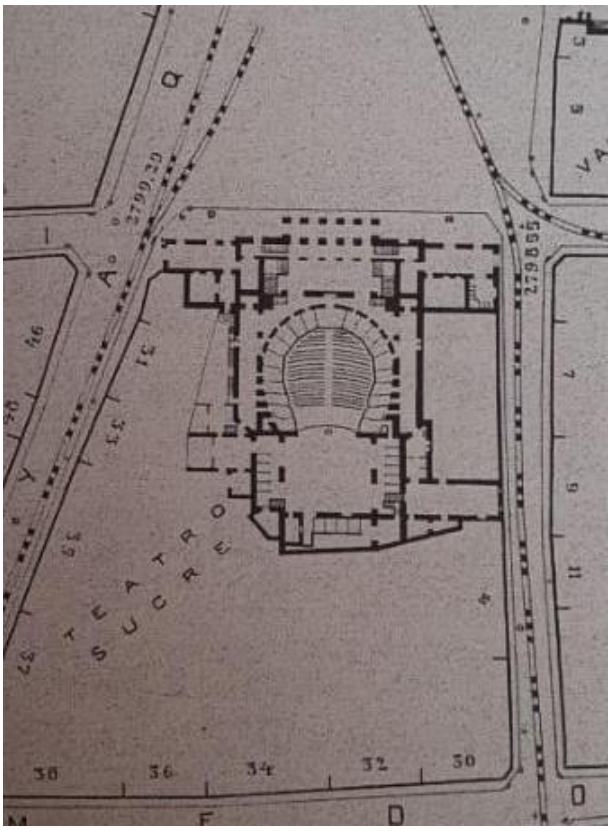


Ilustración 5. Detalle del Plano de Quito, realizado por el Servicio Geográfico Militar, con la planta arquitectónica del Teatro Nacional Sucre, Museo Municipal Alberto Mena Caamaño, 1932. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

2.1.3. Intervención Estructural por el FONSAL en 1998

Acercándose ya casi los 100 años de vida del teatro se nota cada vez más la necesidad de una reconstrucción total, es así como en el año 1967 mientras estaba en el mandato la dictadura de la Junta Militar se comienzan a realizar obras en la edificación, pero para ese entonces el país no contaba con algún tipo de política de manteamiento de los bienes públicos razón por la cual no fueron concluidos y el teatro tuvo que esperar a la década de

los 80´s para que nuevamente existiera un interés en cuanto a su recuperación, esta vez bajo el cuidado del Banco Central del Ecuador, quienes inician con el estudio integral para su rehabilitación, realizando estudios históricos y levantamientos planimétricos, pero debido a alteración en las políticas culturales del instituto no fue posible realizar ningún otro tipo de actividad.

Durante el año 1994 el teatro dejo de funcionar para la realización de una rehabilitación a cargo del Banco Central, el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, la Subsecretaria de Cultura del Ministerio de Educación y Cultura y la Dinace, pero el proyecto no llego muy lejos a causa de la falta de coordinación y problemas económicos así que la intervención de estas instituciones para su reconstrucción duro hasta 1998, la arquitecta del Banco Central que estuvo a cargo del Proyecto Ana María Viteri menciona el gran deterioro que sufría el inmueble, siendo que los problemas principales la separación de la fachada con el resto del edificio, es decir esta se encontraba físicamente separada de la estructura aunque permanecía en pie y también un profundo daño estructural, problemas que fueron trabajados con absoluta discreción ya que no se deseaba alarmar a la gente y a los moradores de la zona. (FUNDACION TEATRO NACIONAL SUCRE, 2012)

Ya en el año 1998 fue la Municipalidad de Quito quien delega al Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural de Quito (FONSAL), para la realización de una intervención urgente, que no tuviera solo como prioridad al aspecto estético y arquitectónico del teatro pero también se preocupe esencialmente del sistema estructural de mismo, el cual para entonces se encontraba bastante deteriorado, este proceso duró cinco años concluyendo

en noviembre del 2003, siendo el encargado para el trabajo del levantamiento planimétrico del lugar el Arq, Guillermo Bolaños Garaicoa junto con la documentación del mismo, para que a continuación la Arq. Magdalena Rodríguez Torres se encargara de la consultoría del teatro junto con la modernización y optimización de los espacios, todo esto bajo la supervisión del Arq. Franklin Cárdenas director de Obras y Proyectos Patrimoniales a cargo del FONSAL. (BOLAÑOS, 2016)

Fue necesaria la realización de diversos estudios para poder determinar el estado en el que se encontraba a el teatro, para que así el FONSAL preparara un plan de trabajo, entre los elementos principales a ser evaluados se consideraron: el estado de la estructura, de los muros, los entrepisos y cubiertas, además de acabados y detalles arquitectónicos. Entre los resultados se llegó a determinar que las obras de intervención previas en efecto habían ayudado a que el deterioro natural de teatro no tuviera un impacto tan grande como hubiese sido el caso de no realizar ningún tipo de trabajo, entre estos elementos se encontraban las obras de drenajes, la consolidación de la cimentación , pilotaje, reposición de suelos, consolidación de cabezas de muros y obras de protección, pero la parte interior del Teatro corrió con otra suerte y presentaba gran preocupación ya que esta mostraba un gran deterioro gracias a las obras no concluidas previamente. De manera esquemática se realizó un registro de todo este tipo de información en documentos y planos los cuales para facilidad fueron divididos en varios ambientes donde se podían analizar y encontrar soluciones pertinentes para cada uno de los problemas. (BOLAÑOS, 2016)

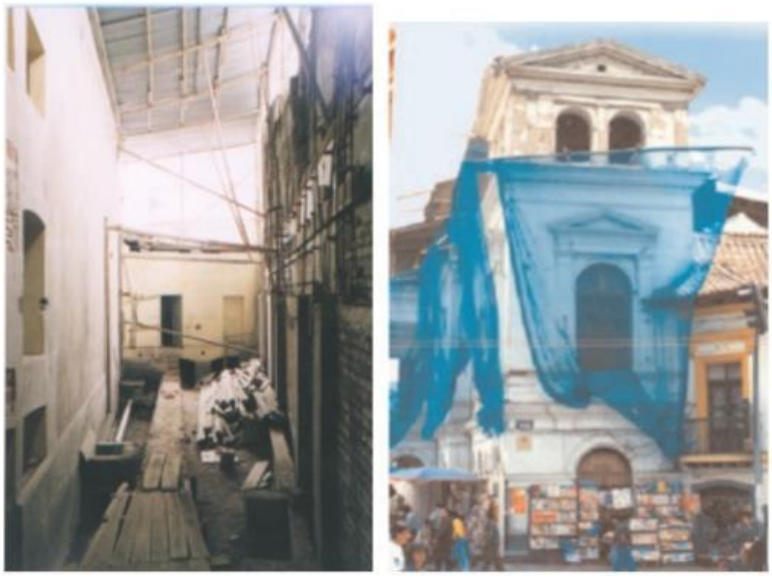


Ilustración 6. Fotografías del Estado del Teatro Sucre previa a la intervención del FONSAL. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003



Ilustración 7. Fotografías del Estado del Teatro Sucre previa a la intervención del FONSAL. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

Una de las principales características que se llegan a determinar era la falta de consistencia presente en el teatro, ya que:

> El espacio fue sometido a diversas intervenciones y manipulaciones por parte de distintas instituciones las cuales no se adaptaron a un criterio rector consistente con la restauración de monumentos patrimoniales, ya que en muchos casos se perdió información testimonial de pisos, acabados de paredes y elementos decorativos que fueron retirados por motivos desconocidos. Algunas obras de intervención fueron detenidas, dejando al interior del espacio escombros y materiales que acentuaban la impresión de deterior del espacio. (BOLAÑOS 2016. Fuente: http://www.arqcustic.com/2016/12/01/teatro-nacional-sucre-la-historia-no-contada/).

De esta forma una de las principales clausulas a tomar en cuenta para la renovación del teatro es la aplicabilidad de la Carta de Venecia (1964), la cual corresponde a un conjunto de principios comunes establecidos para la renovación o restauración de monumentos patrimoniales buscando salvaguardar su integridad y tradiciones, de manera mucho más específica en este caso se buscaba la aplicabilidad del Art. 14 del documento el cual dice:

> Los lugares monumentales deben ser objeto de atenciones especiales a fin de salvaguardar su integridad y de asegurar su saneamiento, su tratamiento y su realce. Los trabajos de conservación y de restauración que en ellos sean ejecutados deben inspirarse en los principios enunciados en los artículos precedentes. (Carta de Venecia 1964).

Siendo este el principal objetivo como se describe en la memoria técnica del levantamiento planimétrico del teatro Nacional Sucre elaborado por el Arq. Bolaños.

Los trabajos realizados se pueden dividir en tres etapas, la primera se encargó de la impermeabilización de cubiertas y el reforzamiento de la estructura, es decir de elementos como muros, pisos, entrepisos y cimentaciones, proceso que duró 4 años, concluyendo en enero del 2002, la segunda etapa fue el estudio para la rehabilitación integral del teatro tomando en consideraciones las diversas ingenierías presentes para realizar todo el proceso de restauración. Y la tercera etapa fue la elaboración en si del proyecto de rehabilitación del espacio del teatro, que duro alrededor de un año comenzando en el 2002 y concluyendo en el 2003, de forma mucho más puntual los trabajos realizados fueron:

- Reforzamiento estructural mediante perforaciones y pilotaje, además de la consolidación de muros los cuales ayudaron a la creación de un espacio debajo del escenario que sería destinada a ser una sala de ensayos.
- Creación de cámaras de evacuación de agua, con bóvedas de ladrillo y subdrenajes.
- Rehabilitación de butacas originales del siglo XX que se reubicaron todas en platea alta.
- Restauración de cuadros al óleo sobre lienzo de Alberto Coloma Silva y de Nicolás Delgado.
- Restauración del telón de boca donado por el Arq. Francisco Schmidt.
- Restauración de mascarones de la boca del escenario.

- Conservación de araña central instalada en 1952.
- Construcción de una caja de tramoya que permita la instalación de las barras de iluminación y escénicas buscando dar al inmueble espacios servidores para su modernización, para ello se utilizó la estructura original del lugar la cual estaba elaborada de mampostería autoportante que se reforzó usando elementos de hormigón armado para que esta adquiera una mejor resistencia para soportar los contrapesos de los sistemas escénicos, junto con la construcción de la caja de tramoya se incluye la elaboración de una concha acústica móvil, útil para presentaciones de música sinfónica y de cámara, además se creó un sistema con estructural metálicas para el anclaje del sistema contrapesado y motorizado.
- Colocación de un telón contra fuego para protección de los ocupantes y varas motorizadas para rápido cambio de escenografía, telones, cicloramas, bambalinas y decoración.
- La cubierta sobre la tramoya se elaboró en una estructura a dos aguas con acabado en teja.
- Trabajos de impermeabilización de la cubierta sobre la zona de la audiencia.
- Construcción de nuevos camerinos en hormigón armado independiente a la estructura original pero integrados funcionalmente entre sí, con lo cual se pretende realizar una diferenciación de la técnica constructiva, para que en intervenciones posteriores sea notable el saber cuándo se realizó cierta obra.

- Instalación de nuevas butacas en la platea, las que cumplen con especificaciones acústicas que permiten simular las condiciones sonoras de una “sala llena” lo que significa que la reverberación es controlada sin considerar el aforo que tenga el inmueble.
- Reconstrucción del cielo raso de la sala principal usando placas de cartón-yeso de 25 mm de espesor, lo cual logra el aislamiento acústico necesario para eliminar cualquier tipo de ruido aéreo o impacto que se presente a las afueras.
- En el patio interior del teatro ubicado al occidente el inmueble se halla un pedazo del antiguo acueducto sentido norte-sur, utilizado en los lavaderos de la antigua Plaza de las Carnicerías elaborado a base de ladrillos, este elemento no ha sido eliminado ya que es necesario considerar las cláusulas de la Carta de Venecia, principalmente el artículo 9 que dice “La restauración es una operación que debe tener un carácter excepcional. Tiene como fin conservar y revelar los valores estéticos e históricos del monumento y se fundamenta en el respeto a la esencia antigua y a los documentos auténticos.” (Carta de Venecia 1964). Razón por la cual se preservó como un elemento que forma parte de la historia del lugar.
- Trabajos de conservación de la fachada en los edificios exteriores.
- Se rehabilita el área de oficinas administrativas las cuales quedan a la Calle Flores, donde previamente se encontraba un patio en muy mal estado gracias a escombros y negligencia de previos arreglos del teatro, que servía como entrada al teatro experimental















Ilustración 8. Fotografías del Proceso de Restauración por parte del FONSAL. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

En el cuadro presentado a continuación se muestran los costos de inversión realizados para esta intervención, la cual ha sido la más grande y completa que el teatro Nacional Sucre ha tenido en su historia:

Costos / Fechas		
Primera Etapa	USD 350.000,00	diciembre 1998 – septiembre 2000
Segunda Etapa	USD 170.000,00	septiembre 2000 – enero 2002
Tercera Etapa		febrero 2002 - noviembre 2003
Obras Civiles	USD 1´800.000,00 aprox.	
Equipamiento	USD 2´600.000,00 aprox.	
Total Aproximado	USD 4´820.000,00 aprox.	
Generación de Empleo	Alrededor de 200 plazas de trabajo para obreros durante 15 meses y más de 20 plazas para profesionales universitarios durante 36 meses	

Tabla 1. Costos de la intervención del FONSAL. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

2.2 Estado Actual del Teatro

Para la realización del presente trabajo de titulación se realizaron varias visitas al teatro previas a la aplicación de los diversos ensayos que comprobarán su estado patológico, la primera visita realizada el miércoles 13 de marzo del 2019 bajo el acompañamiento Ramiro Murillo – Director Técnico de la Fundación Teatro Nacional Sucre ha dejado la siguiente información.

Dentro del teatro existe un pozo elevado de orquesta que sube y baja en la parte inferior de la platea donde antes de la intervención echa por el FONSAL pasaba un tubo de aguas servidas que fue necesario cortar para la creación de este elemento, este está elaborado con acero por la facilidad de montaje y la versatilidad para encajar que el material posee, en el nivel de descanso del pozo elevado el acceso al mismo se lo hace por la sala que previamente se había concebido como zona de ensayos pero que por el momento y a la fecha de la visita se utiliza como bodega, según el Dir. Murillo esta es la zona donde se encuentra realizado una sección del pilotaje del teatro ya que esta es la zona donde se encuentran los cimientos más grandes que soportan todo el teatro .

El problema más grande mencionado por parte del Dir. Murillo es el nivel freático del teatro que como ya se mencionó previamente, este es casi igual al nivel del terreno de construcción razón por la cual se optó por instalar una bomba de agua para evitar inundaciones que generalmente afloraban del piso más bajo, él menciona que la pileta que existía anteriormente en la Plaza del Teatro contaba con agua natural, es decir no se

abastecía de agua entubada lo que da a entender la seriedad de este problema para la zona, por esto el teatro ha tomado la medida de encausar el nivel freático para poder transportar el agua a pozos y posteriormente ser expulsada.

La parrilla sobre el escenario principal soporta 40 000 kilogramos de peso, está elaborada en acero, donde se ve una elevación de aproximadamente 5 metros en el cielo del teatro en comparación con el resto de inmueble para que así se pudieran esconder todos los implementos eléctricos y de sonido que son colocados en la parrilla.



Ilustración 9. Fotografía de la parte exterior que muestra el antiguo nivel del techo, ahora se ve la elevación del techo de aprox. 5 metros Fuente: Diana Vaca

En la parte trasera del teatro se tienen los camerinos los cuales tal cual como se describe en los diversos textos consultados, fueron elaborados en la última intervención en hormigón armado y estos constituyen una estructura separada a la del teatro en sí, fueron construidos utilizando paredes estructurales menciona el Dir. Murillo para brindar mayor

longevidad al lugar, el pasillo que une ambos lados de los camerinos da al único patio exterior con el que cuenta el teatro actualmente, lugar donde se puede observar la cimentación original del lugar elaborado en mampostería, vestigio de los primeros años de vida del inmueble que por temas de conservación de la historia y del patrimonio no se ha retirado ni alterado, únicamente se ha trabajado a su alrededor realizando el pilotaje necesario para reforzar la cimentación, además en la misma zona del teatro dentro de una actual bodega se puede apreciar la estructura que previamente servía como bebedero para los animales cuando el lugar se utilizaba como camal, este elemento también se ha preservado a pesar del paso de los años igualmente como parte de la historia y cultura de la ciudad, dentro de la bodega mencionada también se puede ver otra bomba de agua para ayudar con los problemas de agua del teatro.



Ilustración 10. Vestigio de la cimentación original. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

El director además menciona que se realizó un muro perimetral cercando el teatro, el cual a pesar de su extensión no evita la entrada de agua en días de abundantes lluvias, menciona además que cuando esto sucede y los sistemas de drenaje de agua se ven saturados la realidad que deben enfrentar es el evacuar al agua manualmente mediante baldes.

Durante la visita realizada en plena Plaza del Teatro se encontraban trabajando en función al nuevo Metro subterráneo de la ciudad, trabajos que hasta la fecha no han afectado en ninguna manera al teatro pero que causan un poco de incertidumbre ya que incluso la sola presencia del servicio de transporte público Trolebús genera vibraciones en la edificación, lo cual preocupa un poco al analizarlo a mayor escala como sería el caso del paso del Metro de Quito.



Ilustración 11. Trabajos del Metro de Quito en la Plaza del Teatro. Fuente: Diana Vaca

Dentro del teatro en sí, en la zona de los palcos se ven columnas que sustentan las butacas elevadas las cuales son las originales del mismo teatro, es decir estas no han sido reemplazadas hasta la actualidad desde su colocación en la creación del teatro, están elaboradas en acero y su diámetro es de aproximadamente 12 cm.

En la zona oeste del teatro se encuentran ubicadas las oficinas de administración del teatro, estas fueron construidas en material mixto donde la estructura es de madera y paredes en mampostería.

Como se menciona previamente esta primera visita fue de reconocimiento de espacios y características principales del teatro, a continuación se muestran planos arquitectónicos del teatro que se obtienen del libro elaborado por el FONSAL a raíz de la última reconstrucción.



Ilustración 12. Fachada Principal. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

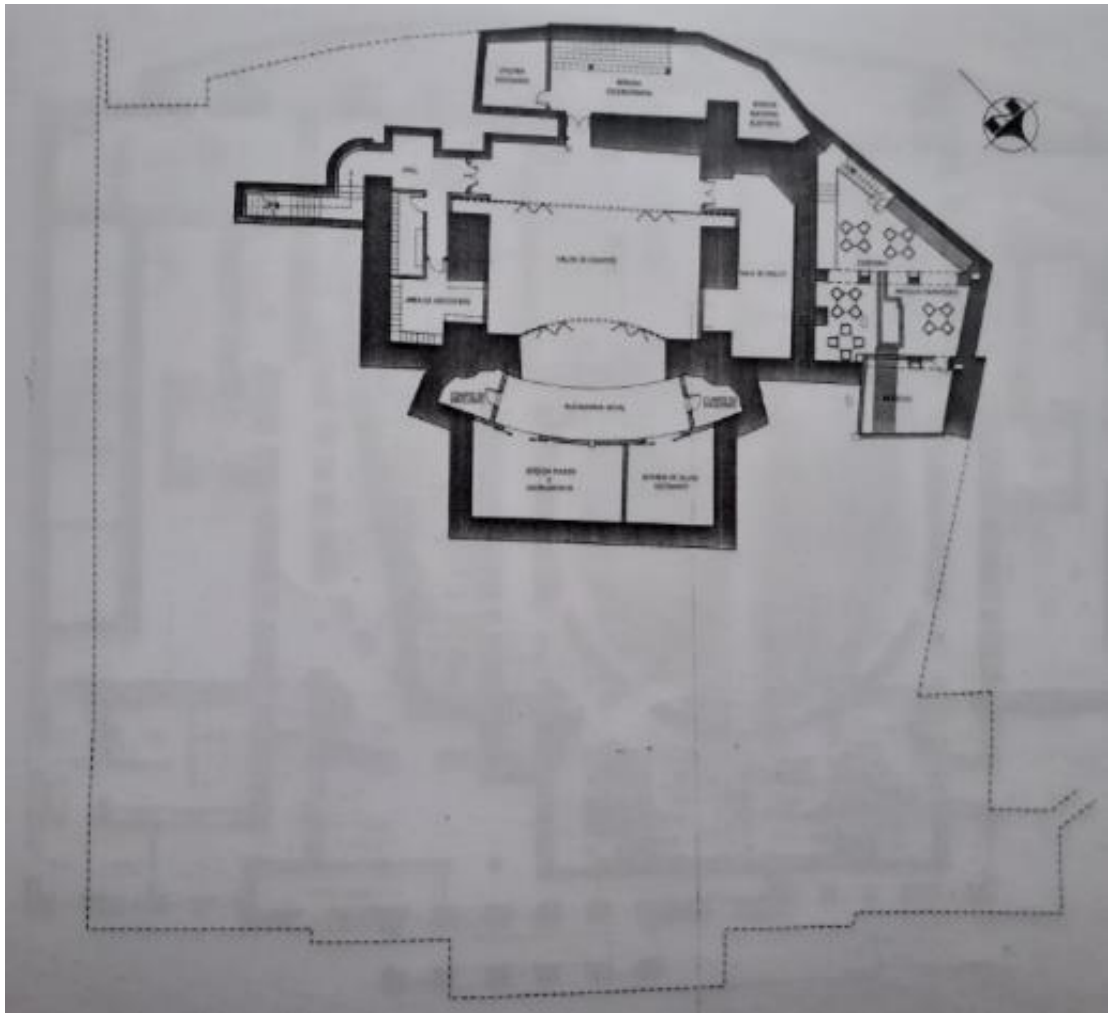


Ilustración 13. Planta Subsuelos. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

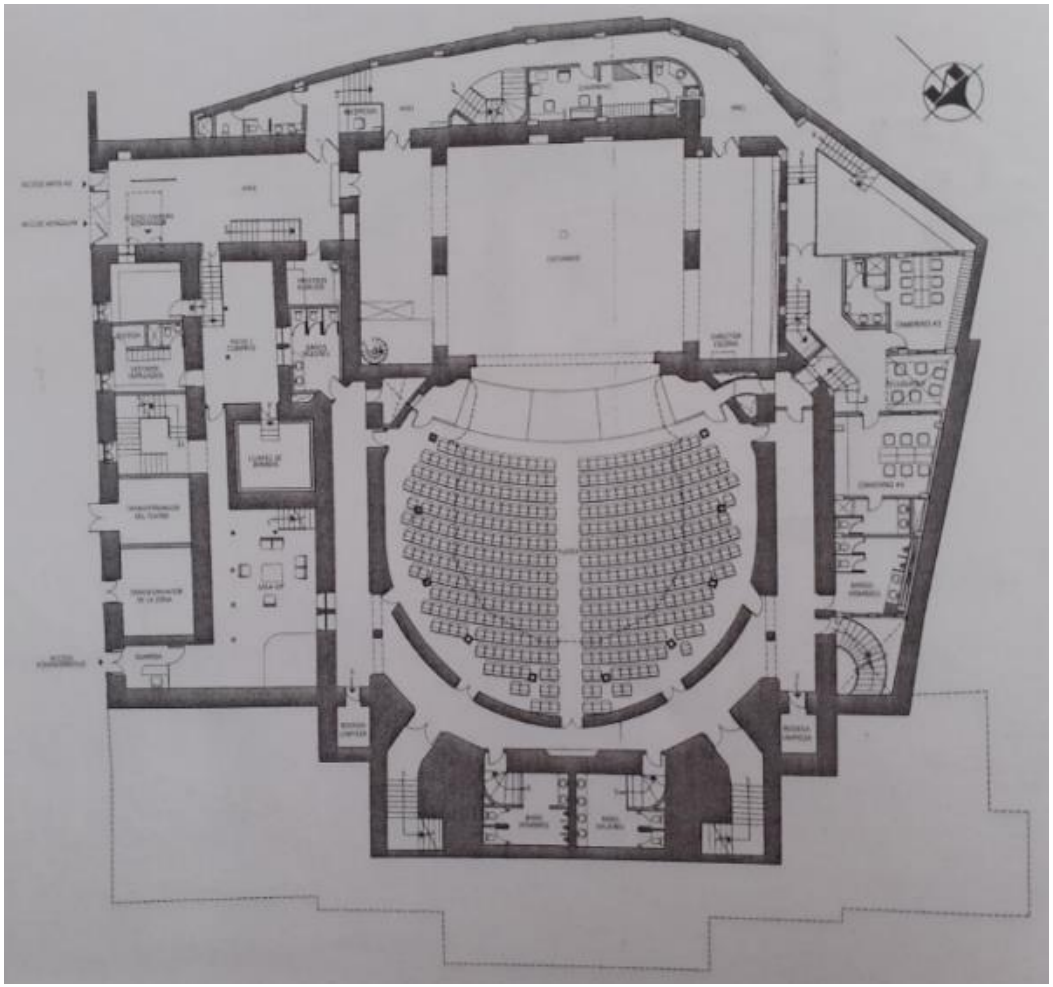


Ilustración 14. Planta Luneta Baja. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

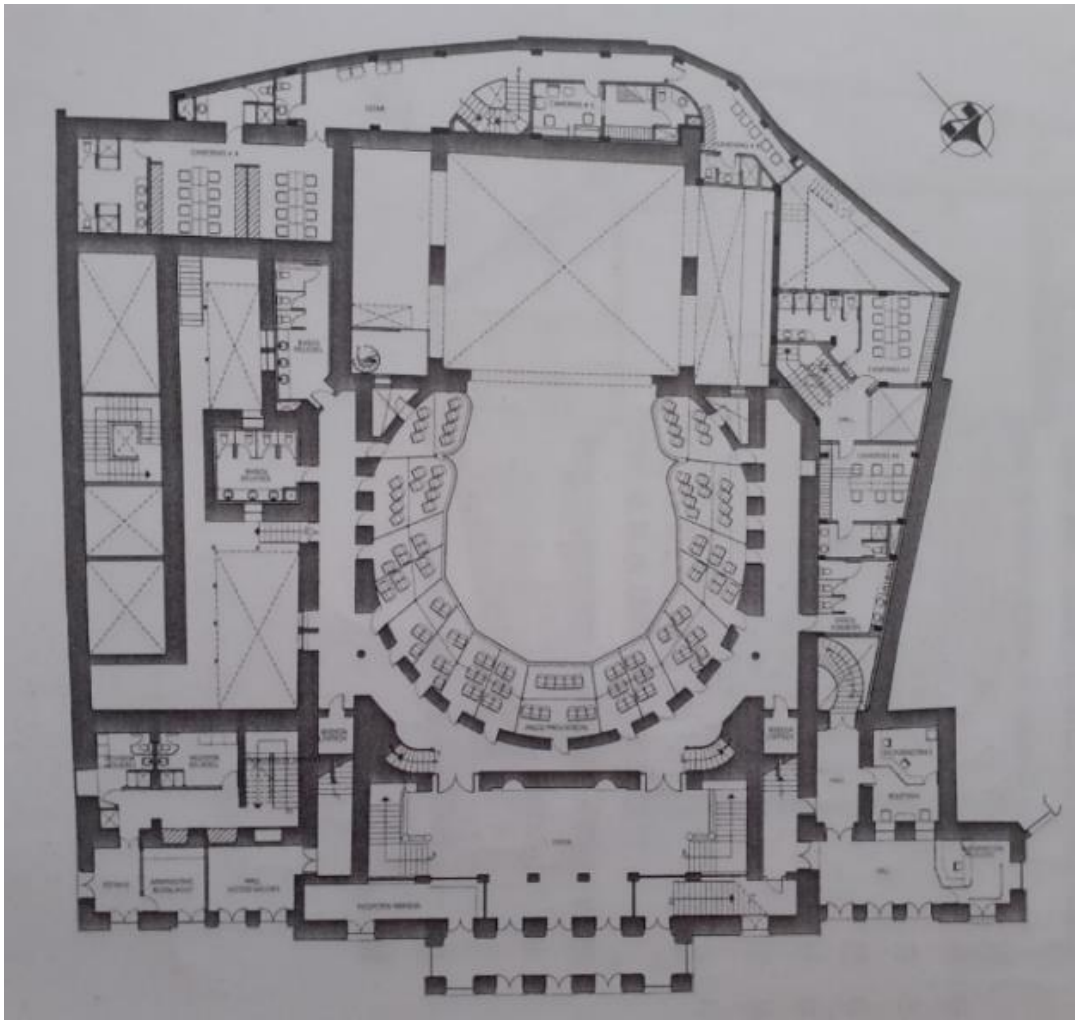


Ilustración 15. Planta Primera de Palcos. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

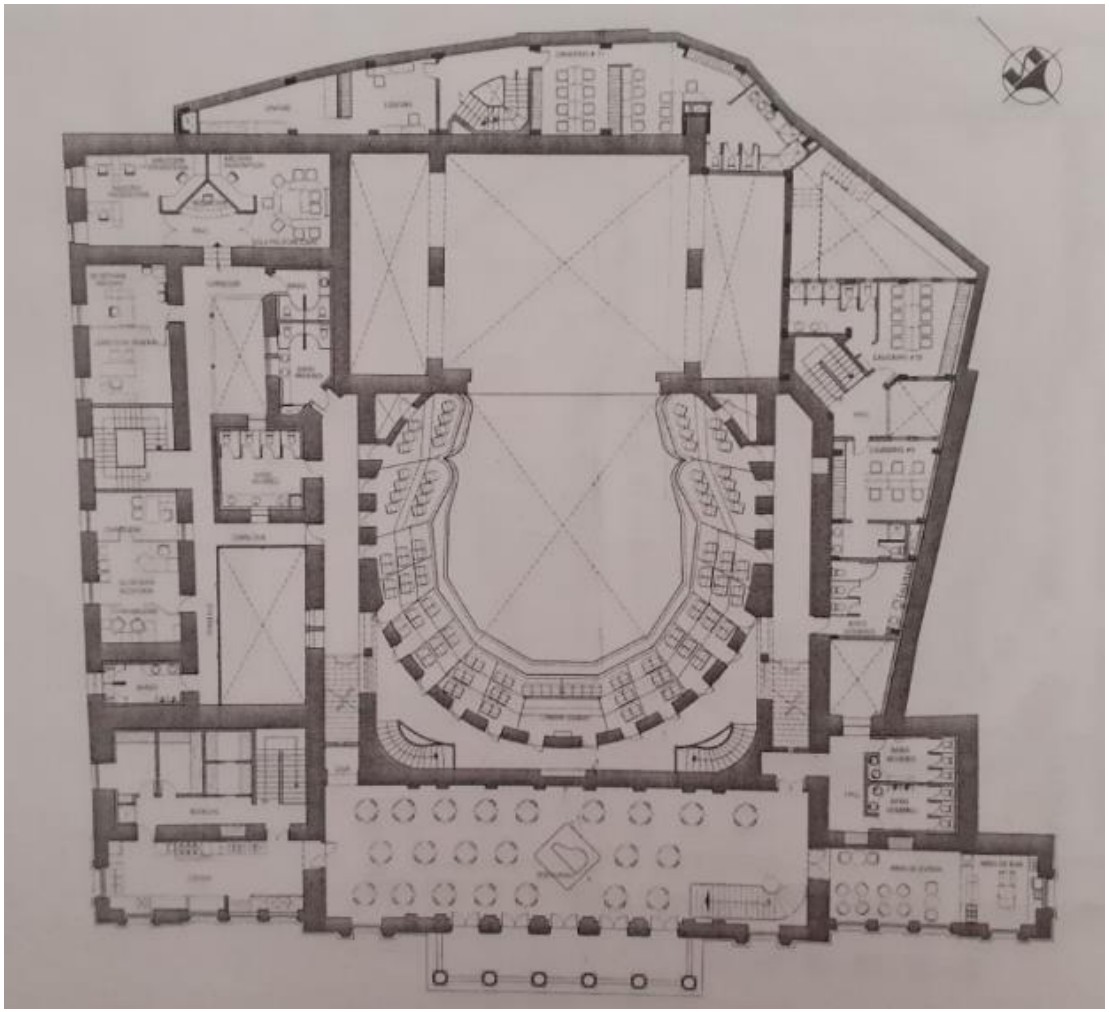


Ilustración 16. Planta Segunda de Palcos. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

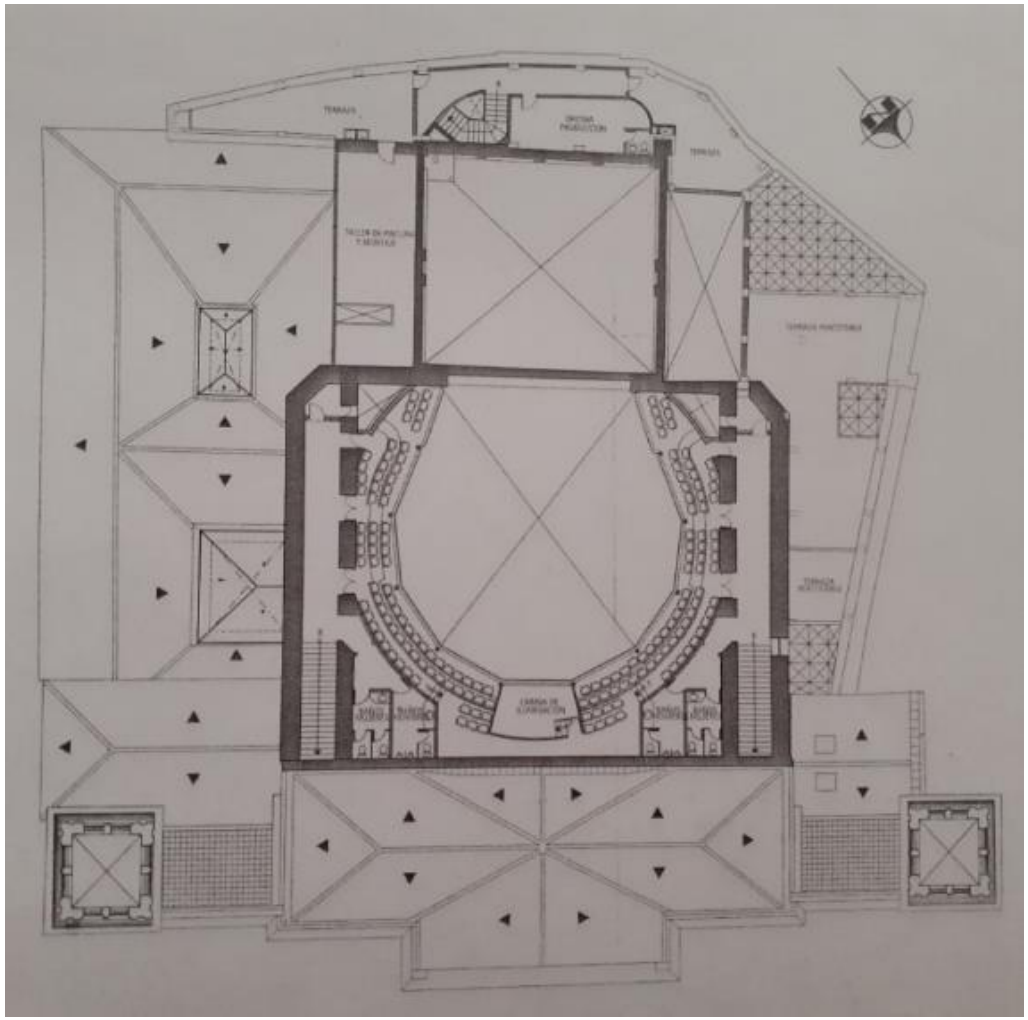


Ilustración 17. Planta Luneta Alta. Fuente: Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural, 2003

2.3 Factores Ambientales dentro de Patologías

2.3.1 Clima

Se denomina clima al conjunto de condiciones atmosféricas (en especial de la atmosfera baja denominada tropósfera, que es la sección en contacto con la superficie terrestre) en un lugar y tiempo determinado. Se caracteriza principalmente por tres elementos: la temperatura, la humedad y la presión atmosférica siendo una descripción numérica y estadística de las condiciones meteorológicas en un determinado instante y lugar.

El clima puede clasificarse en cinco tipos: tropical, seco, templado, frio y polar, El primer tipo de clima, *tropical* tiene como características altas temperaturas y lluvias torrenciales como en centro-américa, el norte de América del Sur y África, mientras que como su nombre lo indica el clima *seco* se caracteriza por la falta de lluvia como en zonas desérticas o semidesérticas, junto a esta característica se suma la variación de temperaturas ya que en ciertas zonas secas se pueden dar altas temperatura entre 60° y 70°, pero así mismo se pueden dar temperaturas sumamente bajas; como es de suponerse los climas que tienen temperaturas intermedias , lluvias moderadas a lo largo del año son climas denominados *templados*, por otro lado los congelamientos nocturnos e inviernos fríos son características de clima *frío*, que no es lo mismo que un clima *polar* ya que este es un clima que posee muy bajas temperaturas menores a 10°C, vientos fuertes y congelamiento nocturno, con la presencia de nieve como en los polos o en los picos más altos de las montañas, es decir solo a estas locaciones se les atribuye un clima polar. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.3.1.1 Temperatura

La temperatura en el planeta está relacionado directamente con el sol y la energía que esta estrella da al planeta la cual no se distribuye de forma uniforme en la superficie, dado que tanto la tierra como el sol poseen una forma circular en la zona de la línea del ecuador aproximadamente el 75% de la energía calórica que trasmite el sol a la tierra llegan a la superficie, en zonas de latitudes intermedias la energía calórica es de un 50% - 60%, mientras que cerca de los polos el porcentaje es de apenas 5%, además de estos valores también es necesario tomar en consideración que las nubes pueden absorben energía calórica lo que también alterara a la temperatura que tendrá la superficie. (Sánchez de Guzmán, 2006)

Dentro de las ciudades y centros urbanos, donde la presencia de plantas, cuerpos de agua, suelos expuestos, y demás elementos que puedan ayudar al control de temperaturas, no se encuentran realmente presentes, la temperatura del aire se concentra mucho más, logrando que los diversos materiales de construcción como el concreto absorban mayor cantidad de calor durante todo el día y durante las tardes-noches lo liberan, siendo esta la razón por la cual las ciudades y centros urbanos durante las primeras horas de la noche se encuentran a una mayor temperatura de la que deberían. En si los cambios de temperatura de este tipo cuando se dan de forma brusca o rápida afectan al hormigón y a su comportamiento ya que se genera un choque térmico, lo cual puede llevar a que se produzcan roturas o rajaduras debido a los esfuerzos de tracción.

La incidencia que tiene la temperatura dentro del deterioro del hormigón es en relación a la velocidad con la cual este puede ocurrir, ya que por lo general las reacciones químicas se aceleran cuando existe un aumento de temperatura " Una regla general es que un aumento de la temperatura de 10° C, dobla la velocidad de reacción" (Guzmán, 2016, pág. 34)

2.3.1.2 Humedad

La humedad se relaciona con la presencia de líquidos, esencialmente del agua y del ciclo que esta cumple, es decir el proceso de evaporación, condensación y precipitación, dependiendo de la etapa del ciclo en el que el agua esté, al aire que se encuentra más cerca de la superficie terrestre tendrá una determinada humedad es decir, tendrá una cantidad de vapor de agua en el aire especifica la cual depende de la ubicación, la temperatura, el estado climático, la presencia de cuerpos de agua cercanos, la frecuencia de precipitaciones y la acción de vientos. (Sánchez de Guzmán, 2006)

El punto de rocío se da cuando la humedad dentro del ambiente se encuentra en su 100% y al aire al no poder absorber más vapor de agua logra que este se condense creando pequeñas gotas de agua, como las que se suelen ver en las hojas de plantas en las primeras horas de la mañana después de una noche fría y húmeda, este proceso se puede dar tanto en invierno como en verano; en el caso donde la temperatura del ambiente llegue a ser menor a 0°C, estas gotas de agua o rocío se transforman en escharcha, similar a la nieve.

Es importante entender que la humedad puede ser medida en diferentes formas, siendo la más usual la humedad relativa, la cual se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua que se encuentra contenida en el aire en un determinado momento (humedad absoluta) y la máxima posible cantidad de vapor de agua que el aire fuera capaz de contener a esa exacta temperatura (humedad absoluta de saturación).

La presencia de humedad constante o estancamientos de agua en construcciones no elaboradas para ello puede afectarlas de gran manera, estén estas elaboradas en concreto, acero, madera o cualquier otro material, ya que el agua deteriora los materiales, alterando sus propiedades físicas y mecánicas, lo que llevara a la aparición de patologías que como ya se mencionó previamente, podrán ir madurando y creciendo hasta convertirse en grandes problemas estructurales.

Se presenta a continuación una tabla que resume la influencia que tiene la humedad relativa en el hormigón dentro de su deterioro:

Humedad Relativa dentro del Hormigón		**MECANISMOS DE DAÑO EN EL HORMIGÓN**				
		Congelamiento	Carbonatación	Ataque Químico	Corrosión de la armadura	
					Carbonatado	Con Cloruros
Muy Baja	< 45%	Insignificante	Ligero	Mínimo	Mínimo	Mínimo
Baja	45 - 65%	Insignificante	Alto	Mínimo	Ligero	Ligero
Media	65 - 85%	Ligero	Medio	Mínimo	Alto	Alto
Alta	85 - 98%	Medio	Ligero	Ligero	Medio	Alto
Saturación	> 98%	Alto	Insignificante	Alto	Ligero	Ligero

Tabla 2. Efecto de la humedad en la durabilidad del hormigón. Fuente Guzmán, 2016

2.3.1.3 Presión Atmosférica

La presión atmosférica de forma sencilla es la fuerza que ejerce el aire atmosférico en la superficie del planeta, es decir es el peso de una columna de aire sobre un determinado lugar, siendo así el peso por unidad de superficie; este va en aumento, mientras mayor sea la altura, y disminuye mientras más cerca se esté a nivel del mar, es por ello que suele ser medida con "relación a nivel del mar".

Los vientos que no son más que aire en movimiento se produce cuando este aire se mueve desde zonas que tienen una presión alta, hasta zonas que tienen una presión baja. La presencia de vientos y la presión atmosférica en si afecta directamente a la durabilidad de estructuras elaboradas en concreto, ya que a pesar de tener una acción relativamente lenta, si esta llega a ser constante puede alterar las características físicas del material, produciendo desgastes o pérdida de volumen.

De esta forma la presencia de vientos afectaran a la durabilidad de la estructura produciéndose deteriores por erosión y por los ciclos de calentamiento y enfriamiento en el planeta, además cuando se trata de estructuras sumergidas en el agua o dentro del suelo la presión que tendrán gracias al medio que les rodea puede producir incrustación de elementos o sustancias en el hormigón. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.3.2 Medio Ambiente

Se define como medio ambiente al espacio donde tanto seres bióticos (con vida) como abióticos (sin vida) se desarrollan mediante interacciones entre ellos, es decir los unos depende de los otros; es un espacio que determina la forma de vida de la sociedad donde se consideran esenciales los valores tanto naturales, sociales y culturales en un lugar y tiempo determinado.

2.3.3 Cambio Climático

El planeta tierra, se encuentra dividido en diversas regiones, cada una de las cuales ha conservado semejanzas y actividades predeterminadas dependiendo del tiempo calendario por el que se esté atravesando, lo que ha llevado a la identificación de características que determinen un equilibrio permitiendo el desarrollo del planeta en sí, y de los diversos organismos vivos que habitan en él.

El cambio climático como es de suponerse es la alteración de este equilibrio relativo, varios estudios han propuesto diversas razones por las cuales esta alteración en el clima se da a nivel mundial, dividiéndose en dos grandes grupos, el primero es por causa del ser humano y el segundo por causa natural. Pero sea cual sea la causante el cambio climático hoy en día es uno de los principales problemas que afectan a nuestras sociedades gracias a los efectos negativos medioambientales que se presenta a lo largo del planeta.

2.3.3.1 Efecto Invernadero

Se conoce como efecto invernadero al proceso en el que varios gases que componen la atmosfera del planeta retienen parte de la energía que provienen del sol, la cual llega a la tierra y penetra en el suelo, para luego ser expulsados nuevamente; cuando estos gases no logran salir nuevamente de la atmósfera poco a poco se van acumulando, y logran que cada vez la temperatura dentro del planeta siga aumentando. Existen ciertos gases como el dióxido de carbono (CO2), óxido nitroso (N2O) y el metano (CH4) que producen un mayor impacto en el proceso de creación del efecto invernadero.

En otras palabras el cambio climático que cada día se intensifica más, y que de igual manera tiene cada día más activistas, gobiernos, organizaciones y personas conscientes de su realidad, se produce por el efecto invernadero, es decir la alteración de temperaturas en la tierra, sean estas crecientes o decrecientes perdiendo el equilibrio climático que se conocía. A continuación se muestra una tabla con los gases que afectan en mayor manera al cambio climático:

Gases	Producidos por Actividades Humanas (%)	Producidas por Efectos Medioambientales (%)
SO2 (dióxido de azufre)	42.9	57.1
CO2 (dióxido de carbono)	9.4	90.6
NO (óxidos de nitrógeno)	11.3	88.7
HC (hidrocarburos)	15.5	84.5
Aerosoles	11.3	88.7

Tabla 3. Gases que Afectan al Cambio Climático. Fuente (Pazos, 2018)

2.3.3.2 Cambio Climático por Actividades Humanas

Regularmente se atribuye la causa a las actividades humanas desde la revolución industrial, donde se volvió común la quema de combustibles fósiles los cuales dan como resultado una serie de gases que están directamente relacionados con el efecto invernadero, además del desmedido uso de recursos naturales, como lo son la tala de árboles, el desperdicio y excesivo consumo de agua, extracción de minerales, siembras indiscriminadas, etc.

2.3.3.3 Cambios Climático por Efectos Medioambientales

A lo largo de la evolución del planeta se han producido varias modificaciones naturales que han dado paso al cambio climático, siendo por sobre todo la presencia de los gases de efecto invernadero que como se puede observar en la Tabla 3, estos aparecen en mayor porcentaje gracias a efectos medioambientales, como erupciones volcánicas, evaporación de masas de agua o temblores, pero hay que considerar que la mayoría de los gases provenientes de estos logran ser eliminados por la atmosfera, ya que se producen por actividades naturales que han venido sucediendo durante miles de años, a los cuales el ambiente esté “acostumbrado” y posee la capacidad natural de eliminarlo.

2.3.3.4 Efectos del Cambio Climático en Estructuras Civiles

Los efectos del cambio climático en estructuras civiles pueden darse de forma inmediata o con el paso del tiempo, en el primer caso se llega a producir cuando existen acciones

extremas como el aumento de los niveles del mar, crecidas de ríos gracias a deshielos, inundaciones, tornados, huracanes, lluvias torrenciales, etc. Mientras que en el segundo caso los efectos que se producen en las estructuras gracias al cambio climático que afectan con el paso del tiempo son la presencia de tensión en las estructuras gracias a la variación constante de temperatura originándose fisuras y grietas, lo cual a su vez podrá dar paso a procesos de corrosión en el hormigón armado o en las estructuras elaboradas meramente en acero, además en estructuras elaboradas en madera o productos provenientes de ella la alteración del clima constantemente puede resultar en la pudrición y presencia de hongos en el material.

2.3.4 Clima en el Ecuador

Gracias a la ubicación geográfica que tiene el Ecuador su clima no presenta picos extremos ni de climas frio o climas cálidos, su clima está definido de forma general como una zona tropical, clima determinado para la Zona Ecuatorial, pero dentro de este clima tan "normal" existen variaciones relativamente marcadas que se dan gracias a las diversas regiones que tiene el país, que son Litoral, Interandina, Amazónica e Insular.

En la región del *litoral* su variación de zona tropical es a tropical lluvioso, secos, semihúmedos y sabana, su clima es isotérmico variando anualmente en menos de 5° C ya que no existe grandes cambios térmicos por el amortiguamiento de la temperatura del mar, pero a pesar de no ser una región particularmente problemática esta suele verse afectada por corrientes cálidas y corrientes frías como por ejemplo la Corriente del Niño, la cual es

una corriente marina cálida que se da en el Océano Pacífico Sur, su aparición suele oscilar entre 2 y 7 años y es la causante del conocido Fenómeno del Niño, proceso natural en el cual la cantidad de lluvias se intensifica junto con la temperatura, causando un cambio climático radical que afecta justamente a esta región del país. (Pazos, 2018)

En la región *interandina* la variación climática es grande ya que las irregularidades topográficas permiten grandes variantes dentro del clima templado como: templados húmedas, templados semihúmedos y templados secos, además en la zona de la cordillera occidental los climas son tropicales con lluvias intensas en el invierno, mientras que en zonas cercanas a la región litoral las lluvias son continuas y las ciudades presentan mayor cantidad de humedad. En los climas templados húmedos se tienen temperaturas máximas de entre 20°C y 29°C con humedades relativas de 65% y 85%, en las zonas de clima templado semihúmedo las temperaturas presentan mayores picos en los meses de marzo y septiembre, mientras que en junio y julio las temperaturas son más bajas, teniendo como temperaturas medias los 12°c y 15°C con humedades relativas de 75% y 85%, en las zonas de climas templados secos se tienen temperaturas de entre 15°C y 22°C con un máximo de 30°C y con pocas precipitaciones durante los inviernos, además como se mencionó previamente la variación de la topografía permite que exista tanta variedad de climas, es así como en zonas específicas se tiene temperaturas de entre 9°C y 11°C llegando en ocasiones hasta los 0°C, como en la cima de los varios nevados que tiene el país. (Pazos, 2018)

La Amazonía o región *amazónica* se rige por el clima tropical húmedo, con temperaturas que superan los 50°C y humedades relativas mayores a 89%, las lluvias son constantes y torrenciales durante todo el año, el clima casi no presenta cambios durante los diferentes meses, mientas que en la región *insular* se tiene un clima tropical marino que se caracteriza por temporadas de sequía a pesar que no presenta cambios drásticos de temperatura la cual tiene una media de 22°C con una humedad relativa de 90%. (Pazos, 2018)

En Galápagos o región Insular, se tiene un clima subtropical con temperaturas que están entre los 24°C y 25°C, se presentan precipitaciones escasas con alrededor de 2198 mm, siendo abril el mes más caluroso del año y noviembre el mes más frio. El clima en galápagos se encuentra de gran manera influenciado por las corrientes oceánicas que afectan al archipiélago.

2.3.5 Clima en el Distrito Metropolitano de Quito

El Distrito Metropolitano de Quito es la capital del país, además de ser la cabecera cantonal de su provincia, Pichincha. Se encuentra dividida en 9 administraciones zonales: La Delicia, Calderón, Eugenio Espejo, Manuela Sáenz, La Mariscal, Eloy Alfaro, Quitumbe, Los Chillos y Tumbaco, las cuales a su vez están divididas en varias parroquias o barrios (como se muestran en las imágenes a continuación). Quito en su totalidad cuenta con una superficie 423 074 ha, los cuales se encuentran llenos de bosques húmedos y secos, páramos, valles y quebradas, lo que le da una gran variedad de climas a la ciudad,

la humedad relativa promedio es de 75% con una temperatura promedio a la actualidad de 14.78° C y con precipitaciones constantes a lo largo del año. (Pazos, 2018)



Ilustración 18. Administraciones Zonales del DMQ. Fuente: cerolatitud.ec

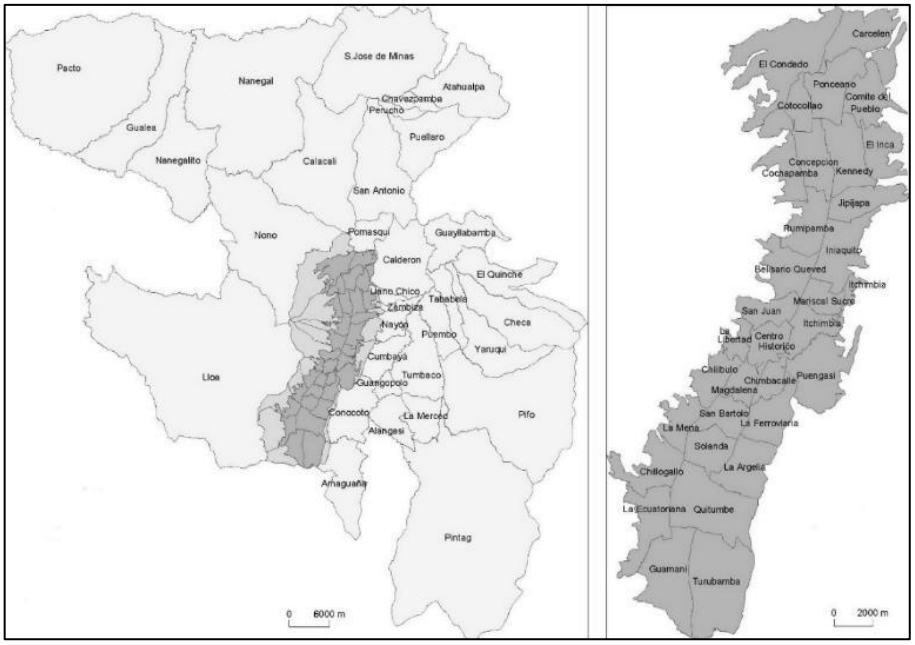


Ilustración 19. Mapa Político del DMQ. Fuente: www.gifex.com/

En la tabla que se presenta a continuación se muestran los diversos climas que tiene el Distrito Metropolitano de Quito:

Climas del Distrito Metropolitano de Quito			
CLIMAS	**PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)**	**TEMPERATURA (°C)**	**RANGO DE ALTURA (msnn)**
Montañoso muy húmedo	Entre 2000 a 3000	Entre 8 a 19	Entre 1200 a 3700
Montañoso húmedo	Entre 1000 a 2000	Entre 8 y 14	Entre 1800 a 1200
Montañoso semi húmedo	Entre 1000 a 2000	Entre 8 y 13	Entre 1800 a 1200
Montañoso semiseco	Entre 1000 a 2000	Entre 14 y 16	Entre 3600 a 2700
Montañoso seco	Entre 500 a 1000	Entre 8 y 18	Entre 2700 a 2200
Montañoso muy seco	Menor a 500	Mayor o igual a 13	Entre 2800 a 1600
Páramo muy húmedo	Mayor a 2000	Menor o igual a 7	Entre 4400 a 3600
Páramo semi húmedo	Entre 1000 a 2000	Menor o igual a 7	Entre 4800 a 3600
Páramo húmedo	Menor a 1000	Menor o igual a 7	Entre 4300 a 3600
Tropical	Entre 2000 a 3000	Mayor o igual a 20	Entre 1400 a 1000
Tropical muy húmedo	Mayor a 3000	Mayor o igual a 18	Entre 1000 a 500

Tabla 4. limas del DMQ. Fuente: Pazos, 2018

Además en el siguiente mapa se puede observar la localización de cada uno de estos climas:

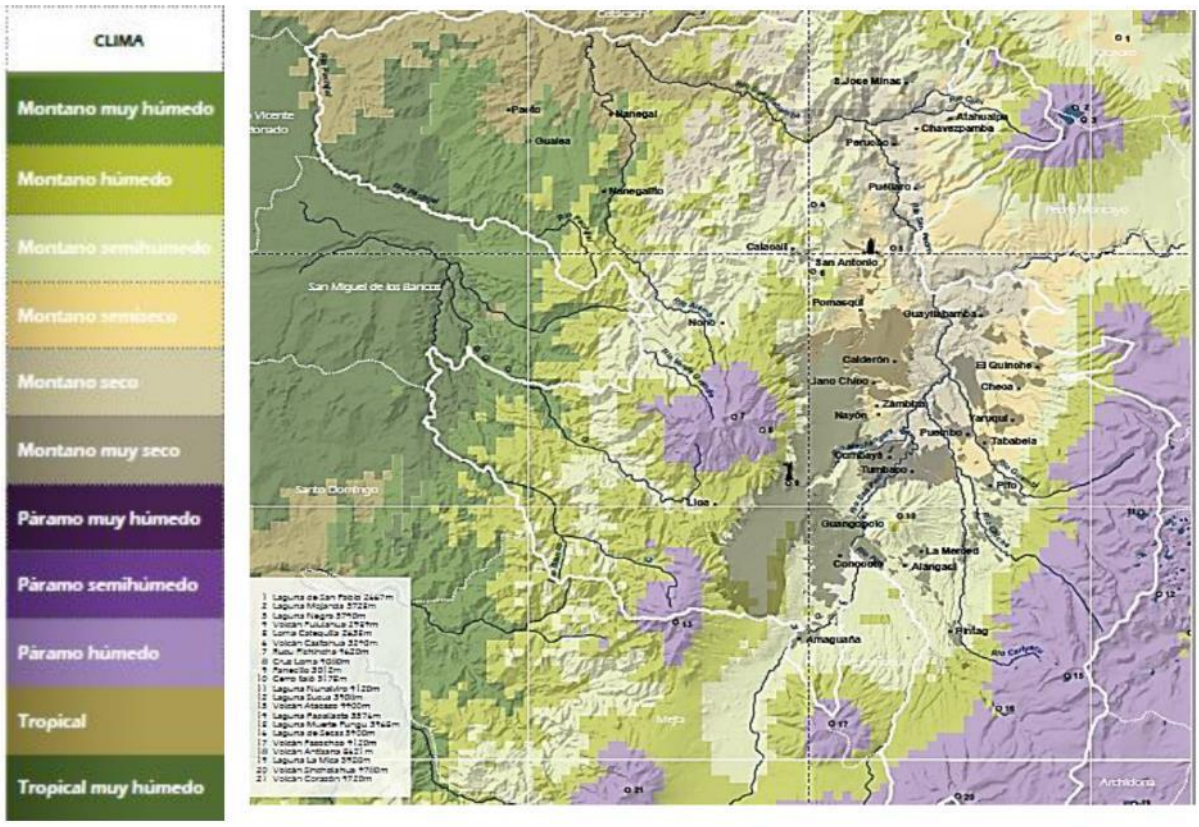


Ilustración 20. Mapa climático del DMQ. Fuente: Pazos, 2018

Con esto se puede determinar que la zona urbana del DMQ cuenta con un clima montañoso seco y muy seco, es decir la zona donde se ubica el teatro Nacional Sucre, administración zonal centro – Manuela Sáenz, parroquia Centro Histórico, posee un clima montano seco y muy seco.

Pero al igual que el resto del mundo como ya se mencionó la acción del cambio climático llega a afectar al DMQ también, con estimación de un incremento de temperatura de aproximadamente 2.5° C para el año 2050, centrándose el mayor cambio en la zona urbana central, donde se localizan la mayor cantidad de infraestructuras, esto tendrá como

consecuencia la presencia más frecuente de inundaciones, incendios y movimiento de masas, con la presencia de días y noches más cálidas. (Pazos, 2018)

2.3.6 Acción del Medio Ambiente

La acción del medio ambiente en estructuras civiles puede ser conocida también como la agresividad del medio ambiente, ya que dependiendo de las condiciones medioambientales que la rodeen se darán procesos de deterioro los cuales se medirán como la agresividad o acción del medio ambiente en la estructura. Para su determinación se toman en cuenta tres factores: el *macroclima*, el clima local y el microclima, el primer concepto se relaciona con las condiciones atmosféricas generales de la locación de la estructura, al *clima local* se lo considera como el clima que está rodeando la estructura, considerando a este dentro de una distancia horizontal de aproximadamente 100m a 10 000m y verticalmente de 5m a 1 000m, es decir el clima local será el clima que corresponde a un área dentro de estas medidas estipuladas, y finalmente el *microclima* se lo considera como el medio ambiente más próximo a la superficie de la estructura, si se lo analiza como el caso anterior este constaría de un área relacionada a milímetros o centímetros de la misma.

Pero además de estas consideraciones existen agentes externos al clima que pueden afectar la durabilidad de una estructura entre estas se puede mencionar la presencia de aire poluto o smog, el cual proviene de los automóviles y grandes fábricas, la presencia de lluvias ácidas, la presencia de agua (cuando la estructura no fue creada y diseñada para ello), la

presencia de sales en el ambiente, etc. Diego Sánchez de Guzmán en su libro Durabilidad y Patología del concreto clasifica la acción del medio ambiente en una estructura de la siguiente manera:

2.3.6.1 Ambiente débil

Los ambientes débiles suelen ser zonas rurales donde su humedad relativa es inferior al 60%, dentro de esta categoría también se consideran los ambientes interiores de edificaciones, como dormitorios, salas, oficinas, almacenes, es decir lugares en los cuales no exista la posibilidad de sufrir ciclos continuos de humedecimientos y secados o de congelamiento y deshielos, y de manera general no se tendrá la presencia de elementos o sustancias que afecten de forma agresiva a la estructura. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.3.6.2 Ambiente moderado

Son zonas que se encuentran expuestas a humedad, donde las estructuras sufrirán de ciclos continuos de humedecimiento y secado, lugares donde la edificación tendrá contacto con agua dulce en movimiento o con suelos ordinarios, sectores rurales con lluvias y en el caso de sectores urbanos aquellos que tengan una baja condensación de gases agresivos y en relación a ambientes interiores serán aquellos que posee una humedad relativa que oscila entre el 60% y 98% como baños, cocinas, cuartos de lavandería, parqueaderos, etc. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.3.6.3 Ambiente severo

Son ambientes bastante húmedos que cuentan con la presencia de ciclos de congelamiento y descongelamiento de agua dulce; ambientes marinos con presencia de sulfatos o zonas industriales donde la humedad relativa se encuentre entre el 60% y 98%; zonas urbanas con una alta condensación de gases tóxicos y estructuras expuestas a suelos agresivos. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.3.6.4 Ambiente muy severo

Hace relación a zonas en las que la estructura está sumergida en agua de mar o tiene salpicaduras de esta, teniendo una cara expuesta al aire; estructuras en ambientes donde el aire está saturado de sales (ambientes salinos); presencia de hielo y deshielo; exposición de la estructura directamente a líquidos que poseen ácidos o grandemente oxigenadas; además de la presencia de gases o suelos agresivos. (Sánchez de Guzmán, 2006)

Clases de hormigón según la agresividad del medio ambiente			
Agresión del medio ambiente	**Clase de hormigón por durabilidad**	**Nivel de resistencia**	
		Mpa	Kg/cm2
Ligera	Pobre	10-21	100-210
Moderada	Normal	21-28	210-280
Severa	Resistente	28-35	280-350
Muy Severa	Durable	>35	>350

Tabla 5. Clasificación de la Agresividad del Medio Ambiente en Base a la Durabilidad de la Armadura. Fuente: Sánchez de Guzmán, 2006

Clasificación de la Agresividad del Medio Ambiente en Base a la Durabilidad de la Armadura			
Clase de Agresividad	**Macro Clima**	**Microclima**	**Riesgo de Deterioro de la Estructura**
Ligera	Atmósfera Rural	Humedad relativa <= 60% Interiores secos	Insignificante
Moderada	Atmósfera Urbana	Humedad relativa entre 60% y 98% Humedecimiento y secado	Pequeño
Severa	Atmósfera Marina o industrial	Humedad relativa entre 60% y 98% Congelamiento y Deshielo	Grande
Muy Severa	Polos Industriales	Zonas húmedas o industriales Altos agentes agresivos	Elevado

Tabla 6. Clases de hormigón según la agresividad del medio ambiente. Fuente: Sánchez de Guzmán, 2006

2.4 Patología del Hormigón

Las patologías dentro de la ingeniería civil es el estudio de los defectos presentes en las obras civiles, es decir analiza sus procesos, características, causas, orígenes, consecuencias, y terapéutica, considerando que todo tipo de patología estructural al igual que las patologías del cuerpo humano presentan un proceso y etapas, además se agudizan y empeoran con el paso del tiempo, dependiendo de las cuales se podrá determinar las soluciones a ser aplicadas.

Resulta necesario la identificación de las lesiones presentes en el proyecto sean que estas tengan su origen en su ejecución, en su diseño, en las características de los materiales, la mano de obra empleada o en su uso, de esta forma llegan a existir oportunidades donde el

prevenir y evitar la presencia de patologías está dentro de las manos de las personas involucradas en la construcción de una edificación, así cuando se habla del origen que tienen las patologías, se determina que las patologías estructurales tienen una incidencia dentro de una estructura dada por las siguientes proporciones:

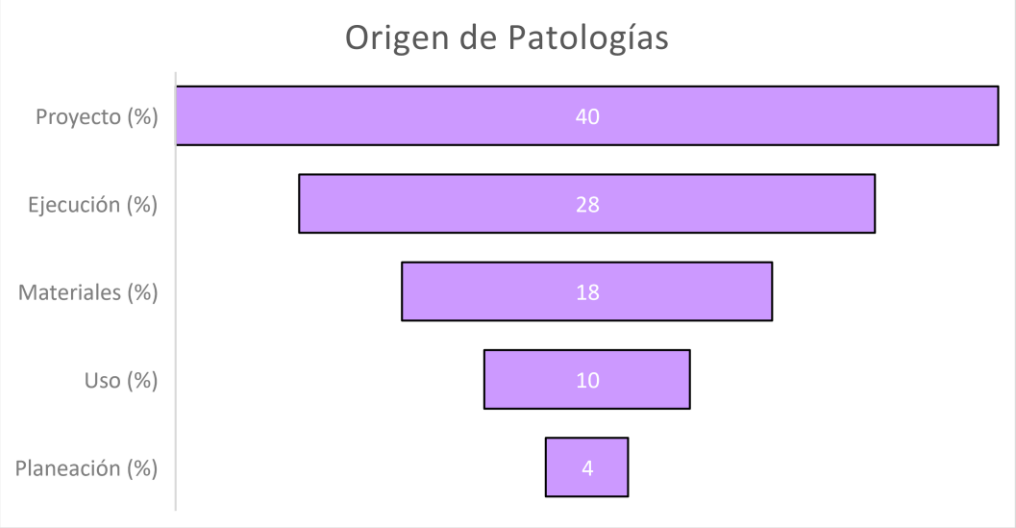


Figura 1. Origen de Patologías. Fuente: Meza. 2011

Por lo cual se puede determinar que la mayoría de las patologías tienen como origen las etapas del planeamiento del proyecto, es decir dentro de las áreas correspondientes al diseño estructural y arquitectónico, mientras que el uso que se le da al inmueble o los materiales empleados no generan un impacto tan grande en comparación, pero es necesario considerar la superposición de los efectos.

Si bien el teatro Nacional Sucre al ser construido se utilizaron materiales de la época, siendo en su mayoría la elementos de mampostería y morteros, en su actualidad y gracias

a las intervenciones mencionadas previamente, posee elementos y secciones completas elaboradas el hormigón armado e incluso acero, es por ello que el estudio de patologías a ser realizado se centra en las áreas elaboradas en hormigón armado del mismo, a excepción del análisis visual el cual será implementado también para las secciones más antiguas, es decir las áreas hechas de mampostería.

El gráfico que se presenta a continuación es un modelo práctico del alcance de las patologías del concreto, el mismo fue propuesto por Fernández Cánovas y se lo obtuvo del libro Durabilidad y Patología Del Concreto por el autor Diego Sánchez de Guzmán.

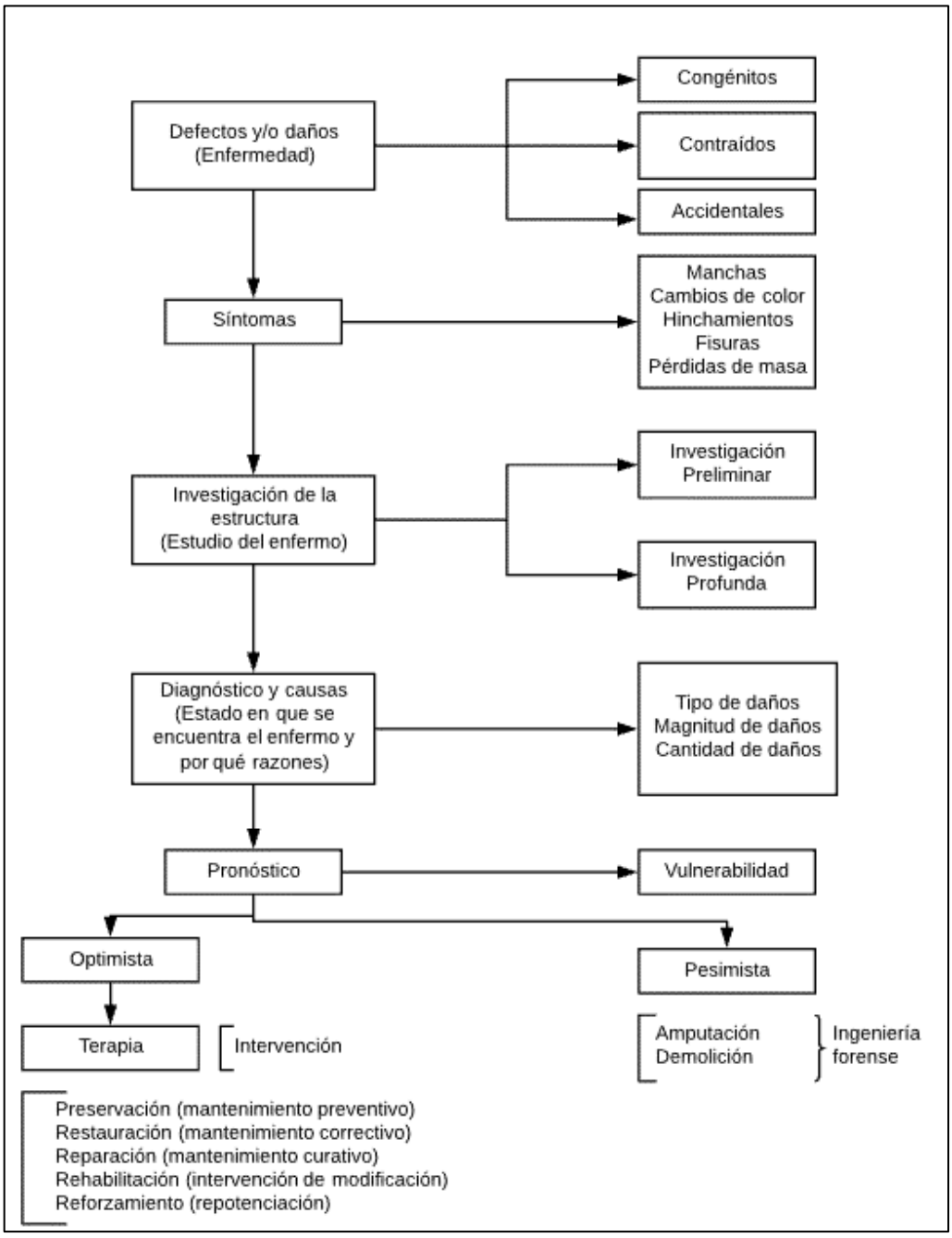


Figura 2. Modelo secuencial de los procesos que sigue la patología del concreto. Fuente: Guzmán, 2016

De esta forma es mucho más claro el poder darse cuenta que las patologías que presenta una estructura, poseen varias similitudes a las enfermedades y lesiones que sufre un ser vivo, especialmente en la columna principal del modelo secuencial previamente mostrado con etapas como: síntomas, estudio del enfermo, estado del enfermo y pronóstico, para el análisis a desarrollar en el presente documento se tomará en cuenta esta secuencia ya que así se asegura que el procedimiento se realice de manera organizada y que este pueda aportar resultados útiles, además se facilita la identificación del tipo de patología que se está tratando en función de su límite de resistencia o su límite de utilización o servicio, es decir si la patología está afectando directamente a las consideraciones de seguridad de la estructura o a las condiciones de servicio y funcionamiento respectivamente.

Para la evaluación de patologías estructurales en los materiales, al igual que una enfermedad es necesario prestar atención a los síntomas, los cuales pueden variar desde manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, hasta pérdidas de volumen de los diversos elementos constructivos, lo cual da como pauta la necesidad de realizar un "estudio del enfermo", En casos generales donde se desea analizar una estructura por completo de manera profesional como primera instancia es necesario el tener conocimiento de la edificación en sí, es decir sus antecedentes: su origen, su construcción, reparaciones, rehabilitaciones realizadas, identificación de cargas de diseño, del microclima, del diseño, de la vida útil, sus condiciones actuales, entre otros. Para lo cual será necesario realizar inspecciones visuales, análisis de elementos afectados,

exploraciones, análisis estructurales, extracciones y análisis de muestras. (Sánchez de Guzmán, 2006)

Una vez obtenida toda esta información se correlacionarán los antecedentes y los resultados de ensayos, es decir se unirá la patología clínica (patología encargada del estudio de la enfermedad) y la patología experimental (patología encargada de la realización de pruebas de laboratorio y/o campo), para así poder determinar un diagnóstico donde se determine la magnitud y cantidad de factores negativos en los elementos, junto con las posibles causas para ellos obteniéndose las condiciones de servicio también. Finalmente todo este proceso dará como resultado un pronóstico del comportamiento a futuro que tendrán los elementos afectados y la edificación en general, obteniendo así dos tipos pronósticos: pronóstico optimista y pronóstico pesimista, pero antes de definir estos conceptos es importante identificar el concepto de vida útil y de sus variables:

2.4.1 Vida Útil de una Estructura

Ya que las obras civiles no solo se encuentras expuestas a cargas de servicio que con el paso del tiempo van deteriorándolas, pero también el medio presente a su alrededor las afecta en este sentido, se entiende como vida útil dentro de un proyecto de ingeniería civil al periodo de tiempo dentro del cual un objeto, en este caso, la edificación, cumple con el objetivo con el que fue creado de manera satisfactoria, es decir cumple con su propósito

de funcionalidad mientras brinda seguridad y satisfacción al usuario, sin necesidad de intervenciones no previstas

Los proyectos de ingeniería civil poseen un tiempo de vida útil, el cual es calculado y dado por el diseñador, dentro de esta cantidad de tiempo, el mismo profesional ha de determinar mantenimientos periódicos que ayudarán a que la estructura cumpla con la duración de su tiempo de vida, como se menciona previamente, en estructuras comunes, elaboradas a base de hormigón armado su vida útil oscila entre los 50 y 100 años, siempre y cuando se cumplan con las recomendaciones pertinentes de mantenimiento y cuidado. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.1.1 Vida Útil de Servicio

Esta considera el periodo de tiempo que comienza desde el inicio de la construcción, hasta el momento que se lleguen a presentar cualquier tipo de deterioro visible pero aceptable, en otras palabras es el tiempo que inicia con las obras de construcción hasta que la patología comience a presentar síntomas visibles para los usuarios, los cuales no representan un riesgo de ningún tipo, pero que si indican el inicio de una afectación que puede crecer y desarrollarse. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.1.2 Vida Útil Ultima

Es el periodo de tiempo que se contabiliza desde el inicio de construcción de la obra hasta el momento que se da un colapso en la estructura, el cual puede bien ser total o parcial,

generada posiblemente por fallas en la adherencia que presenta el hormigón o el acero, así como la reducción de la capacidad de resistencia de los diversos materiales.

2.4.1.3 Vida Útil Residual

La vida útil residual va la de mano con las inspecciones de mantenimiento que se harán a la estructura, ya que este concepto se considera como el periodo de tiempo desde la inspección hasta que la estructura pueda cumplir con su objetivo de forma satisfactoria y segura. Pueden darse varias vidas útiles residuales ya que la inspección de mantenimiento puede realizarse a cualquier edad de la estructura. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.2 Pronóstico de una Estructura

El pronóstico de una estructura se genera una vez realizado el estudio de patologías y como se mencionó previamente este se lo hace con respecto al comportamiento que tendrán los elementos afectados por las patologías y la estructura en general, existen dos tipos de pronósticos:

2.4.2.1 Pronóstico Optimista

Cuando un pronóstico estructural resulta optimista se pueden tomar medias en forma de terapia para conseguir alguna de las siguientes condiciones, que han sido recomendadas por el ACI 364. 1R y que se describen en el texto Durabilidad y Patología del concreto de Diego Sánchez:

- **Preservación:** Proceso en el cual se mantiene una estructura en su condición presente y se contrarrestan posteriores deterioros.
- **Restauración:** Proceso donde se restablecen los materiales, la forma o la apariencia que tenía una estructura en una época determinada.
- **Reparación:** Proceso aplicable cuando se procede a reemplazar o corregir alguno de los materiales, componentes o elementos de una estructura, los cuales para este entonces ya se encuentran deteriorados, dañados o defectuosos.
- **Rehabilitación:** Proceso en el cual se reparan o modifican una estructura hasta llevarla a una condición deseada.
- **Reforzamiento:** Proceso mediante el cual se incrementa la capacidad de una estructura o de una parte de ella, para resistir cargas. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.2.2 Pronóstico Pesimista

Cuando el pronóstico es pesimista significa que la única solución posible para las afectaciones que presenta la estructura es la amputación de sus elementos o en el peor de los casos una demolición completa, generándose así la ingeniería Forense en la que se estudian los restos afectados de la edificación. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.3 Mantenimientos de la Estructura

Al poner en servicio una estructura, dentro de la práctica ingenieril común es necesario la planificación de mantenimientos para así menguar la presencia de patologías y en el caso que estas lleguen a darse, por solucionarlas a tiempo, se debe considerar que las

condiciones de servicio y de senescencia de la estructura no son totalmente predecibles así que para mantener su funcionamiento, su estabilidad, durabilidad y seguridad es necesario realizar inspecciones y mantenimientos rutinarios, existiendo diferentes tipos de mantenimiento en relación a lo que la estructura necesita.

- **Mantenimiento Preventivo:** Son trabajos cuyo objetivo es la reparación de elementos para impedir el avance de defectos ya aparecidos, los cuales producirán mayores deterioros en caso de no ser solucionados.
- **Mantenimiento Correctivo:** Se trata de la restitución de las condiciones iniciales del diseño, buscando un restablecimiento de los materiales, para que la estructura en su totalidad tenga su forma o apariencia original.
- **Mantenimiento Curativo:** Se da cuando existe una amputación de algún elemento que se ha visto afectado por deterioro o defectos para ser reemplazado. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.4 Fallas en las Estructuras de Hormigón

Antes de analizar las fallas que ocurren en las estructuras de concreto, se analiza la Ley de Sitter que topa a las patologías y sus correcciones desde un punto de vista económico y evalúa a las infraestructuras como un negocio:

2.4.4.1 Ley de Sitter

Según estudios se ha determinado que la etapa de proyecto genera el 45% de los problemas patológicos en una construcción, bajo lo cual Sitter creo la conocida Ley de los Cinco, en la cual (Yepes, 2014) postula "un dólar gastado en fase de diseño y construcción elimina costes de 5 dólares en mantenimiento preventivo, 25 dólares en labores de reparación y 125 en rehabilitación", lo que indica que una correcta calidad de diseño juega un papel fundamental a futuro dentro de las estructuras. Es importante considerar a las infraestructuras como un sistema en el cual se requiere optimizar el coste durante todo su ciclo de vida generando una nueva visión de las estructuras como un negocio, Sitter divide a la construcción de una estructura y a su periodo de uso en cuatro etapas: *Periodo de diseño*: se deben tomar medias en el diseño para aumentar la seguridad del proyecto y así obtener una mejor protección y durabilidad de la estructura, *periodo de ejecución:* las medidas a ser aplicas se las realiza en la etapa de construcción o cuando el proyecto este culminado*, periodo de mantenimiento preventivo:* se realizan las medidas preventivas entre los cinco primeros años de vida que tenga la estructura, a pesar que los síntomas o patologías no sean del todo visibles *y periodo de mantenimiento correctivo:* es la etapa donde se realizan los diagnósticos, pronósticos, reparaciones y protecciones de los elementos, es decir en esta etapa la presencia de la patologías son más notorias. (Bedoya, 2010)

De esta forma Sitter crea una relación de costos entre sus cuatro etapas, donde se mostrará la relación del costo con la manutención de la protección y durabilidad de la estructura conforme pasa el tiempo:

Costo en el periodo de diseño: 1

Costo en el periodo ejecución: 5* Costo en el periodo de diseño

Costo en el periodo mantenimiento preventivo: (1/5)* Costo en el periodo de diseño

Costos en el periodo mantenimiento correctivos: 125* Costo en el periodo de diseño

Ecuación 1. Ley de Sitter

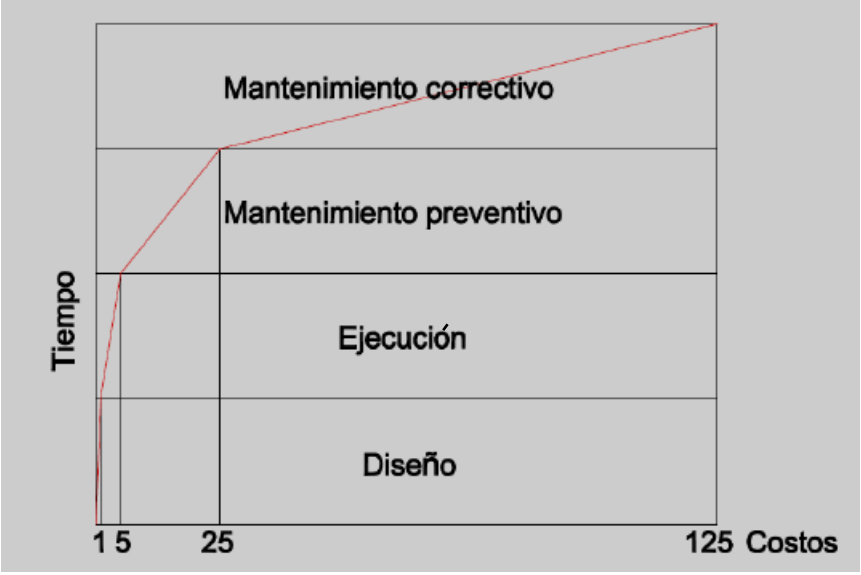


Figura 3. Ley de Sitter. Fuente: Bedoya,2010

Una vez entendido que la aplicación de mejores técnicas, materiales, recursos, etc al inicio de la creación de un proyecto produce un menor costo global, resulta necesario reconocer cuales son las fallas más comunes en las estructuras de hormigón:

2.4.4.2 Fallas en el Periodo de Concepción y Diseño del Proyecto

Durante este periodo es importante no solo aplicar métodos de cálculo altamente desarrollados, pero también tomar en cuenta los diversos aspectos tecnológicos que brinda la ingeniería de materiales, a pesar de ello existen algunas fallas que se dan en esta etapa, algunas de las razones son:

- Errores o falta de cálculos, omisión de cargas, condiciones de servicio, errores en el cálculo de esfuerzos o confiar ciegamente en los softwares de diseño sin realizar comprobaciones, tolerancia de deformaciones excesivas durante la realización de los cálculos.
- Falta de diseños arquitectónicos correctos o reales, el diseño estructural debe complementarse con los conceptos y diseños arquitectónicos y viceversa.
- Omisión de drenajes, la presencia de agua estancada o de desagües en el hormigón es uno de los mayores problemas, también se pueden considerar las salpicaduras o los ciclos de humedecimiento y secado.
- Errores en el dimensionamiento de los elementos estructurales, o mala colocación del acero de refuerzo.
- No colocar juntas de contracción, de construcción o de dilatación, así mismo la no colocación del acero de retracción/temperatura.
- Errores al especificar la resistencia y propiedades de los materiales a ser empleados.
- Planos incompletos, sin detalles o con fallas, (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.4.3 Fallas por Materiales

La selección de materiales se debe realizar considerando la calidad, la capacidad, la experiencia y la formulación de los mismo, como las fallas más comunes causadas por los materiales se pueden mencionar las siguientes:

- Falta de control de calidad de los elementos, falta de realización de ensayos, ignorar las tolerancias permisibles en los asentamientos.
- Incorrecta dosificaciones o falta de diseño.
- Usar agregados de tamaños incorrectos, adicionar agua indiscriminadamente.
- No contar con un factor de seguridad adecuado.
- Utilizar poco cemento buscando a cambio una reducción económica, o utilizar exceso de cemento lo que generara mezclas propensas a contracción o fisuración.
- Retrasos excesivos en el fraguado lo cual genera fisuras por asentamiento, también puede verse afectada la adherencia mecánica del refuerzo y el hormigón.
- Presencia del “falso fraguado”.
- Aceros de refuerzos de baja calidad en los anclajes o en las longitudes desarrollo. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.4.4 Fallas por Construcción

Una estructura que presenta mayores probabilidades de estar correctamente construida tendrá una mayor vida útil, es decir será más duradera, además los procesos constructivos

deben estar regidos lo más fielmente posibles a los planos y especificaciones ya que la estructura actuara frente a las diversas solicitaciones según haya sido esta construida. Las fallas más comunes en la etapa de construcción son:

- Falta de cálculos, mal diseño, defectos o deformaciones en la formaleta/encofrados.
- Falta de control con las formaletas, no verificando su estabilidad o integridad.
- Desplazamientos del acero de refuerzo durante el vaciado del hormigón.
- No respetar las tolerancias o dimensiones permisibles de los elementos.
- Procesos incorrectos de izaje, montaje y vaciado de los diversos elementos.
- Mala compactación del hormigón, descimbrado prematuro o inapropiado.
- Precargar la estructura, antes que el hormigón tenga la capacidad necesaria para resistir.
- Picar o abrir agujeros en los elementos estructurales para realizar conexiones eléctricas o sanitarias. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.4.4.5 Fallas por Uso de la Estructura

La vida útil de servicio de la estructura se puede ver reducida si se llegan a generar abusos en el uso que se le da a esta, como por ejemplo: aumentos de las cargas permitidas, accidentes como impactos, explosiones, inundaciones, presencia de fuego, cambios de uso, entre los que se encuentra el cambio de las cargas de servicio o cambio de las condiciones de exposición.

Aunque dentro de todos estos es importante recordar que el envejecimiento del hormigón o el deterioro de los materiales en general es un proceso impredecible, por lo que se menciona previamente y en varias secciones la realización de mantenimientos es de vital importancia para la estructura.

2.5.Fisuras y Grieta

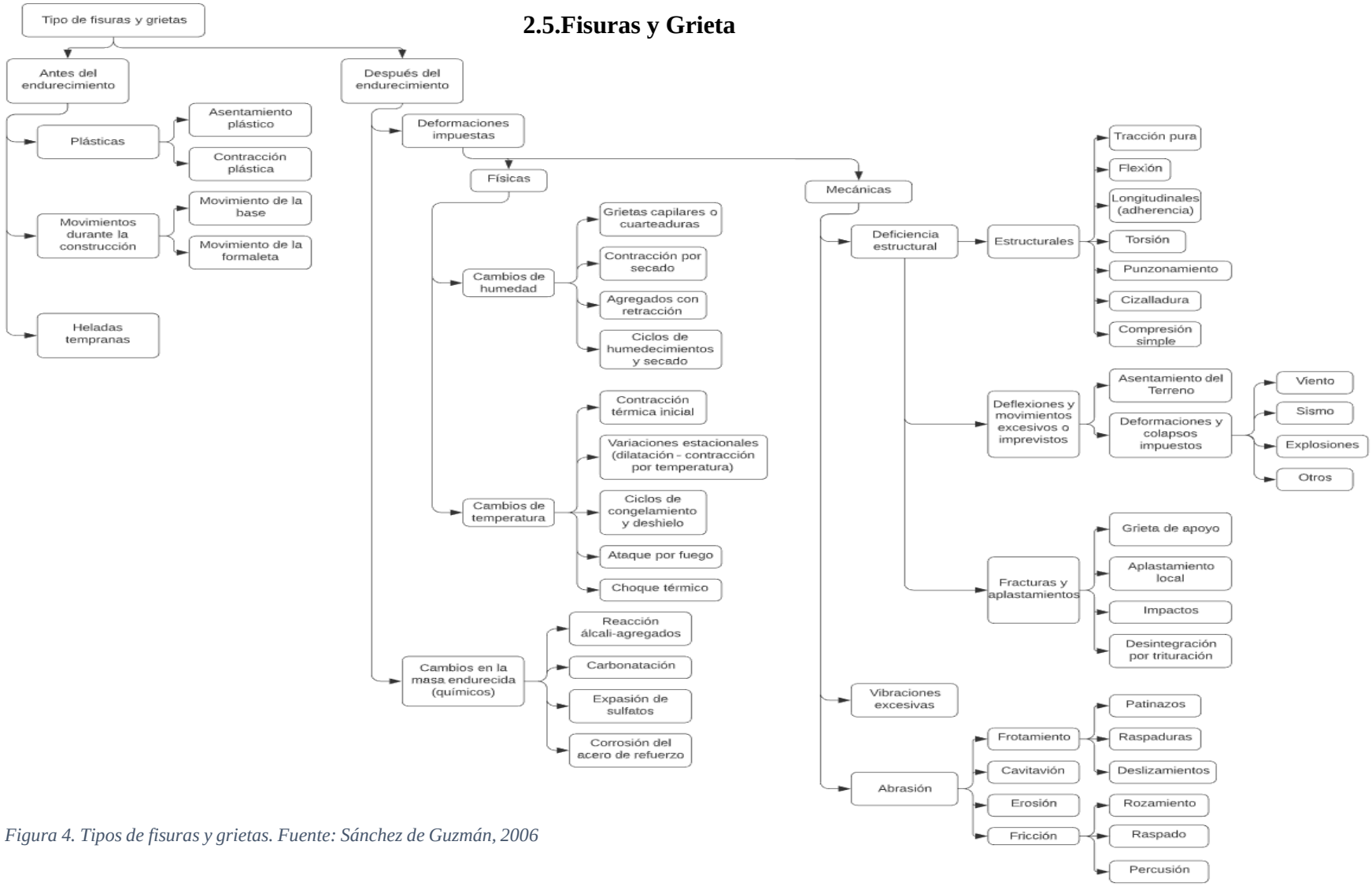


Figura 4. Tipos de fisuras y grietas. Fuente: Sánchez de Guzmán, 2006

Las fisuras son de los mejores elementos para determinar la presencia de patologías en una estructura, estas nos indican el estado en el que se encuentra el hormigón y sirven de forma general para brindar un diagnóstico. Existen varios tipos de fisuras dependiendo de se forma, espesor y causa de aparición.

Cuando las fisuras no se llegan a corregir a tiempo, además de afectar estéticamente a la estructura y de dar una sensación de inseguridad a los usuarios, permiten que la entrada de elementos nocivos al hormigón se vuelva más fácil, lo cual causara deterioro y envejecimiento. (Bedoya, 2010)

Con relación a su espesor las fisuras pueden ser clasificadas en:

- **Microfisuras:** se consideran microfisuras a aquellas que presentan un espesor menor a los 0.05 mm, por lo que generalmente no son perceptibles, estas pueden llegar a producir afectaciones en cuanto a la permeabilidad del hormigón pero su importancia no es grande.
- **Fisuras:** tiene un espesor entre 0.1 y 0.2 mm, suelen generar daños relacionados con la corrosión si el ambiente en el que se encuentra la estructura es severo o muy severo.
- **Macrofisuras:** tienen un espesor mayor a 0.2 mm, estas producen daños estructurales considerables si no son reparadas. (Bedoya, 2010)

Condición de exposición	Espesor Tolerable
En aire seco o con membrana de protección	0.4
En ambiente húmedo: aire húmedo o suelo saturado	0.3
Con agente químicos que impide el congelamiento	0.2
Humedecimiento y secado de agua de mar, o salpicaduras de agua de mar	0.15
Estructuras de baja permeabilidad, excluyendo tubería no sujeta a presión	0.1

Tabla 7. Espesor tolerable de fisuras. Fuente: Código ACI 224

2.5.1. Tipos de Fisuras

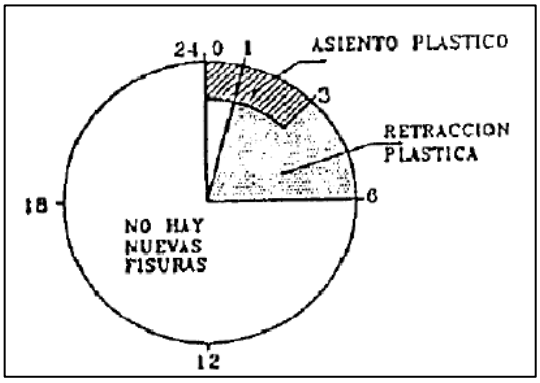


Ilustración 21. Fisuras en el primer día. Fuente, Bedoya, 2010

2.5.1.1.Fisuras antes del endurecimiento

- **Plásticas:** Las microfisuras y fisuras plásticas son cualidades del asentamiento plástico y de la contracción plástica, los cuales se ven alterados por la cantidad de agua de mezcla y por la exudación del concreto, generalmente se dan durante las

dos y cuatro primeras horas de vida del hormigón, estas fisuras no suelen sobrepasar los 3 cm de profundidad, con alrededor de un metro de longitud, sin bordes agudos o definidos, no atraviesan agregados, solos los rodean, y están localizadas en las zonas más delgadas de los elementos sin causan daños estructurales.

- **Movimientos durante la Construcción:** Estas fisuras están relacionadas con deformaciones de la base de los soportes que se usan durante la construcción de la estructura o por los movimientos de las formaletas/encofrados, los movimientos se dan por el proceso de vaciado o por el proceso de fraguado, considerando la remoción prematura de los encofrados o el desportillamiento de los elementos que aún se encuentran en fase de fraguado.
- **Heladas Tempranas:** Se forman cuando existe una reducción de temperatura drástica durante el proceso de fraguado, si la temperatura interna del hormigón llegase a ser menor a 4 °C el proceso de fraguado puede detenerse.

2.5.1.2. Fisuras después del endurecimiento

- **Deformaciones impuestas**
    - **Físicas**
        - **Fisuras por cambios de humedad:** La mayor cantidad de estas fisuras se generan en los días posteriores a la fundición del hormigón, ya que durante este periodo el hormigón presenta una

resistencia baja, se producen grietas capilares o cuarteaduras, la contracción por secado, los agregados con retracción y los ciclos de humedecimiento y secado; las cuales no atraviesan a los agregados, si no que solamente se dan en la pasta de cemento.

- **Fisuras por cambios de temperatura:** Las fisuras que se presenta no logran romper los agregados, solamente actúan alrededor de estos afectando a la pasta de cemento y son aquellas que se dan por la contracción térmica inicial. (Bedoya, 2010)



Ilustración 22. Fisuras por contracción térmica inicial. Fuente: Bedoya, 2010

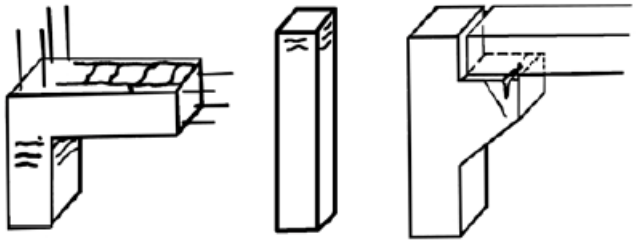


Ilustración 23. Fisuras por dilatación y contracción de temperatura . Fuente: Bedoya, 2010

- **Mecánicas**
  - **Estructurales:** se dan a causa de los esfuerzos estructurales, si las fisuras se forman a causa de los esfuerzos de diseño previstos

tendrán un espesor menor a 0.5 mm, suelen ser identificadas fácilmente porque tienen una mayor profundidad y una forma característica. Estas tienen su dirección en base a las cargas que las causaron, a las características mecánicas del hormigón, a la adherencia del material, al diámetro de las varillas de acero, y al espesor de las zonas traccionadas. (Bedoya, 2010)

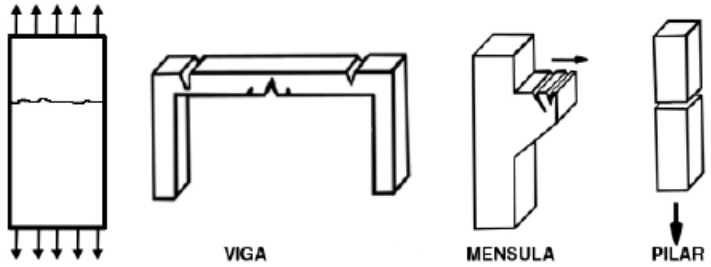


Ilustración 24. Fisuras por tracción. Fuente: Bedoya, 2010

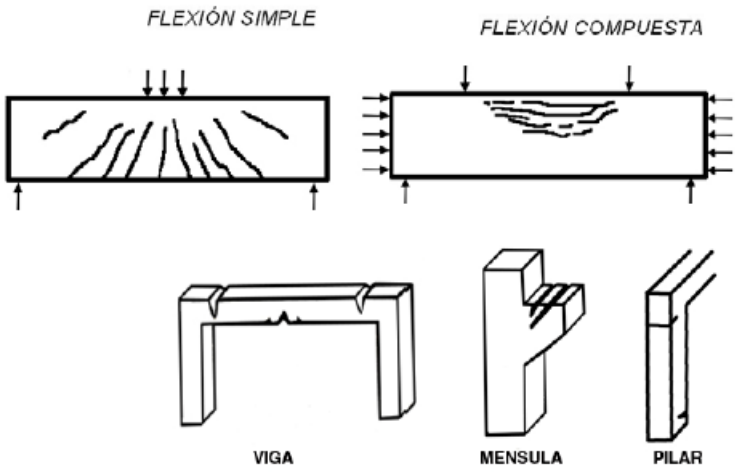


Ilustración 25. Fisuras por flexión. Fuente: Bedoya, 2010

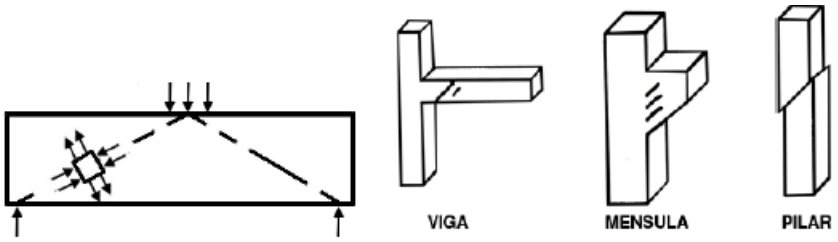


Ilustración 26. Fisuras por cortante. Fuente: Bedoya, 2010

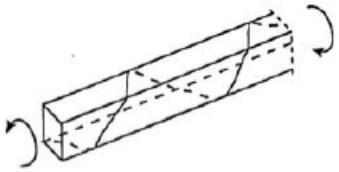


Ilustración 27. Fisuras por torsión. Fuente: Bedoya, 2010

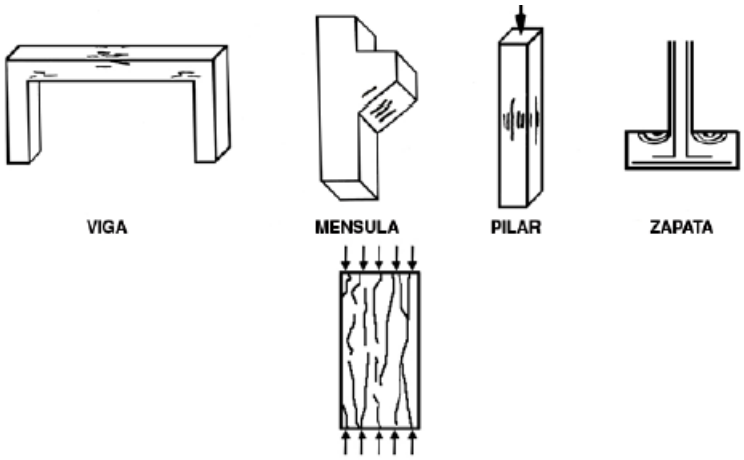


Ilustración 28. Fisuras por compresión simple. Fuente: Bedoya, 2010

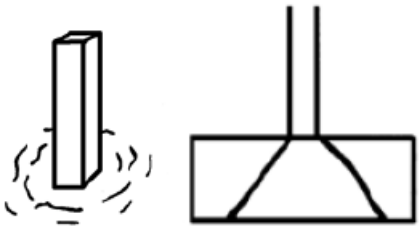


Ilustración 29. Fisuras por punzonamiento. Fuente: Bedoya, 2010

- **Fisura por corrosión:** Se genera cuando el acero de refuerzo esta corroído, las fisuras que se generan son paralelas a la posición del acero y forman manchas de oxido a lo largo de estas. Este tipo de fisuras hacen que la velocidad de la corrosión sea mayor, por lo cual es necesario actuar de forma rápida y acertada para corregirlas.

2.5.2. Reparación de fisuras

Existen varios métodos de reparación de fisuras, dependiendo de las características que esta tenga, resulta necesario el curado de las fisuras ya que gracias a las aberturas que se generan se podría llegar a corroer el acero de refuerzo dentro del hormigón. Es importante determinar el origen, las características y el estado de la fisura, es decir, si es una fisura viva o muerta, las *fisuras muertas* son las que ya no tienen ningún tipo de crecimiento, se mantienen estables en el estado en el que están, y las *fisuras vivas* son aquellas que siguen ocurriendo, aumentan su longitud y tamaño conforme pasa el tiempo.

Al corregir las fisuras se busca aumentar la impermeabilidad del hormigón, mejorar el aspecto que tiene, alargar su vida útil, recuperar la adherencia que existía entere el concreto y el acero, recobrar la rigidez en elementos estructurales y restaurar la resistencia a tracción del hormigón. (Bedoya, 2010)

2.5.2.1. Cicatrización

Es el cierre de las fisuras muertas, el proceso completo dura alrededor de 90 días, es un proceso que se da por si solo gracias a las fuerzas de adherencia que se originan a causa de la carbonatación del óxido e hidróxilo cálcico del cemento por la acción del anhídrido carbónico del aire y del agua. (Bedoya, 2010)

2.5.2.2. Oralización

Se utiliza un gas de tetrafluorsílice, el cual se introduce a presión en las fisuras con un espesor menor a 2 cm, este gas es el que reaccionara con la cal que fue liberada del cemento formando un fluorsilicato cálcico insoluble que cierra la fisura de forma ascendente hasta la superficie. (Bedoya, 2010)

2.5.2.3. Grapado

Como su nombre lo indica es básicamente la colocación de grapas echas de acero entre las dos partes del hormigón que se encuentran divididas por una fisura, pero para que la fisura se estaque además se debe realizar un sellado. Las grapas que serán colocadas deben estar en diferentes direcciones y ambas deben ser situadas en las zonas sometidas a esfuerzos de tracción. Para que la grapa no logre moverse se coloca una resina epóxica o un mortero sin retracción. (Bedoya, 2010)

2.5.2.4. Inyecciones

Se logran a base de una formulación epoxi la que suelda el hormigón cuando se produce un contacto con el mismo, suele aplicarse a fisuras muertas y con espesores mayores a 0.1 mm. También es bastante común la utilización de resinas de poliuretano, resinas acrílicas y poliéster insaturados, siempre buscando que sea cual sea el material por usar, este penetre y se adhiera con facilidad en el hormigón, además debe ser impermeable y debe resistir el ataque de álcalis del cemento.

Cuando la fisura está viva es recomendable utilizar formulaciones epoxi flexibles que trabajan como sellantes impidiendo que el agua, la humedad o en su defecto agentes agresivos pasen al interior del hormigón (Bedoya, 2010)

2.5.2.5. Inyecciones con pasta de cemento y morteros

Al igual que el tipo anterior estas buscan sellar la fisura, pero en este caso se utilizan lechadas o morteros que tengan una baja relación agua/cemento, para que así no se generen retracciones y se aumente al mismo tiempo la resistencia. Se utilizan únicamente en fisuras muertas y de grandes espesores. (Bedoya, 2010)

2.6.Mecanismos de Daño

Existen grupos de acciones en relación a la capacidad de servicio que se llega a ver afectada, en especial en relación con la durabilidad del concreto:

2.6.1. Acciones Físicas en la Estructura

Las acciones físicas son los cambios de tipo volumétricos tanto en estado fresco como en endurecido que puede tener el hormigón, estos se producen por lo general gracias a alteraciones producidas por la humedad y/o variaciones de temperatura o por la presencia de fuego en la estructura; además las acciones físicas también consideran los cambios o variaciones de masa como alteraciones en su peso unitario, su porosidad y su permeabilidad, los cuales son producto de contracción por carbonatación, por expansión, por ataques de sulfatos o por hinchazón del acero de refuerzo por corrosión. (Sánchez de Guzmán, 2006)

Este tipo de acciones tienen como resultado fisuras, grietas o calcinaciones, los cuales se producen por la poca resistencia a la tracción que posee el hormigón, lo que causa que los movimientos que tendrá el material se manifiesten como deformaciones que pueden ser intrínsecas o extrinsecas. (Sánchez de Guzmán, 2006)

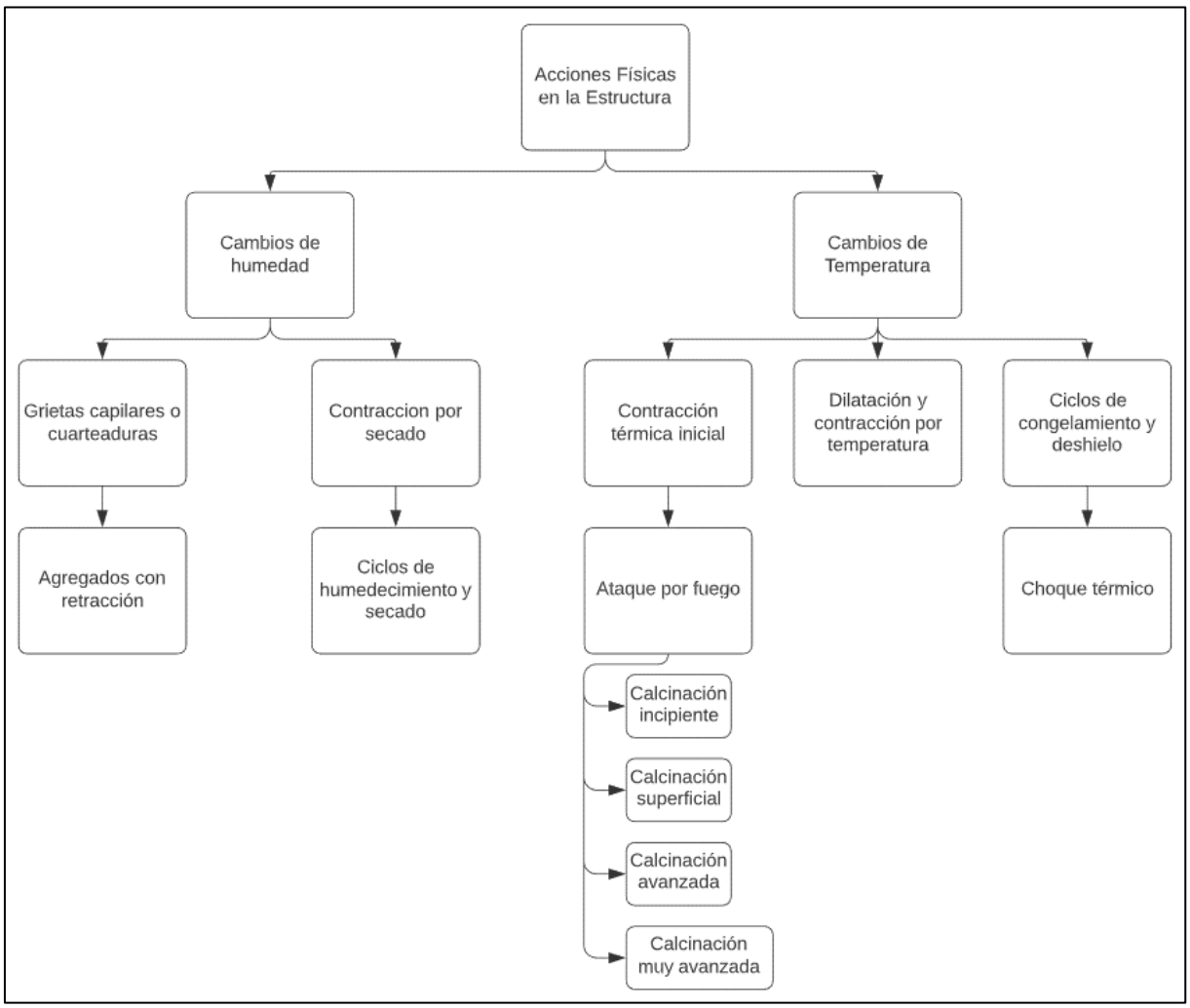


Figura 5. Acciones físicas. Fuente: Sánchez de Guzmán, 2006

2.6.1.1. Cambios de Humedad

- **Grietas capilares o cuarteaduras:** Se generan en una distribución hexagonal, pueden darse tanto antes o después que el hormigón halla fraguado, se forman por la segregación del concreto o por el avance agua, material fino y cemento hacia la

superficie por el aplanamiento de la mismo. Cuando este material llega a la superficie se seca de forma rápida lo que causa esfuerzos de tensión, que a su vez producen grietas y fisuras; estas se producen en los primeros días de vida la estructura generalmente entre el día 1 y 15. (Pazos, 2018)



Ilustración 30. Grietas capilares o cuarteaduras. Fuente: http://fisurasdecalza.blogspot.com/2016/06/

- **Contracción por secado:** Es la reducción del volumen en el hormigón que se encuentra expuesto a un ambiente húmedo no saturado, o también por falta de humedad, para evitarlo es necesario reducir al mínimo la cantidad de agua de mezclado, considerando claro está la consistencia y trabajabilidad del concreto, para que así no se genere un gran impacto al darse la contracción producida por la tensión capilar del agua al momento que el hormigón pierda agua durante su proceso de fraguado.

  La contracción final del hormigón suele estar entre 0.2 mm y 0.7 mm por cada metro lineal y suele ser común en muros, pisos y pavimentos los cuales se encuentran expuestos a la atmosfera. (Pazos, 2018)



Ilustración 31. Contracción por secado. Fuente: IMCYC, 2012

- **Agregados con retracción:** Cuando los agregados a ser utilizados son compactos, con una rugosidad correcta y una adecuada resistencia el hormigón a ser colocado en obra no tendrá mayor tipo de problemas, pero si estos no cumplen con las especificaciones correctas y sobre todo son absorbentes y malos pueden generar retracciones considerables. (Pazos, 2018)

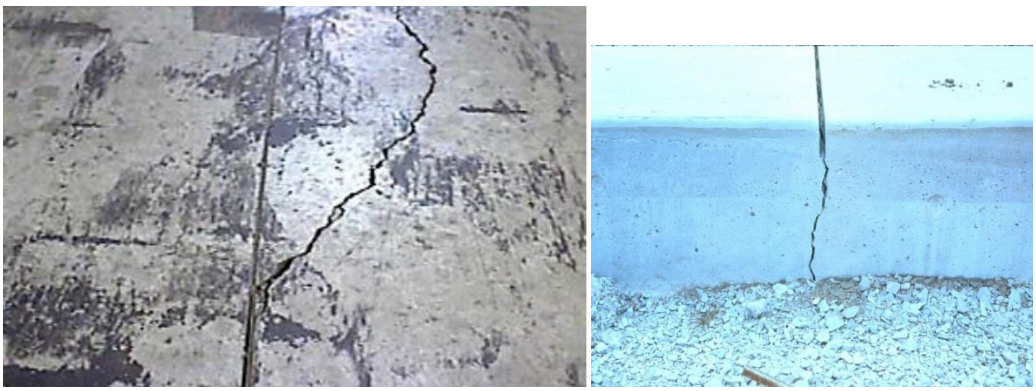


Ilustración 32. Efecto de agregados con retracción. Fuente: Pazos, 2018

- **Ciclos de humedecimiento y secado:** Suelen darse más comúnmente en estructuras hidráulicas, en donde sus elementos están expuestos a agua la mayor

parte del tiempo, cuando el elemento que se encuentra en contacto con agua comienza a secarse, se da el ciclo de humedecimiento y secado lo cual puede afectar a la corrosión del acero, agrietamiento del concreto, degradación de la pasta superficial por erosión o a la perdida de material por descomposición química. (Pazos, 2018)



Ilustración 33. Efecto de ciclos de humedecimiento y secado. Fuente Mejia, 2013

2.6.1.2.Cambios de Temperatura

- **Contracción térmica inicial:** Se da por el calor de hidratación generado por la hidratación del cemento, ya que el concreto puede producir temperaturas más altas que el ambiente, se llegan a formar microfisuras en los 5 primeros días de fraguado porque existe una temperatura en la superficie diferente a la temperatura en el núcleo del concreto. Lo que causa que el enfriamiento superficial sea más rápido que el enfriamiento dentro del hormigón, las fisuras que se forman durante este proceso pueden acentuarse por contracción por secado. (Pazos, 2018)



Ilustración 34. Fisura por contracción térmica inicial. Fuente: https://www.patologiasconstruccion.net/2014/01/fisuras-en-el-hormigon-retraccion-hidraulica-causas/

- **Dilatación y contracción por temperatura:** La alteración volumétrica que se da cuando las temperaturas aumentan o disminuyen pueden generar fisuración, lo que a la larga causará el agrietamiento del hormigón, si este fenómeno se lo combina con la contracción por secado existe un incremento del riesgo para la estructura. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 35. Fisuras por dilatación y contracción por temperatura. Fuente: Mejía, 2013

- **Descascaramiento y delaminación:** Se lo visualiza por ser desprendimientos superficiales generalmente en lugares donde existe la presencia de altas temperaturas pero a su vez existe humedad persistente en el hormigón lo que produce la pérdida de masa y descarbonatación avanzada en el material. (Pazos, 2018)
- **Ciclos de congelamiento y deshielo:** Se produce en lugares donde las temperaturas frías son extremas, es decir hay presencia de grandes heladas, lo que produce que el agua dentro de los poros el hormigón al congelarse aumenten su volumen en aproximadamente un 9% lo que producirá grandes esfuerzos de tracción además de que se crearan cristales en los agregados, lo que produce que el hormigón se fracture generando fisuras. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 36. Efecto de ciclos de congelamiento y deshielo, Fuente: Mejía, 2013

- **Desintegración por fatiga:** se produce en zonas donde existe descarbonatación evidente del material y además de una desintegración de la masa del concreto. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 37. Efectos de desintegración por fatiga. Fuente: https://www.rtarquitectura.com/carbonatacion-en-el-hormigon-causas-y-efectos/

- **Calcinación:** Existen diferentes tipos de calcinación: incipiente, superficial, avanzada y muy avanzada, las cuales van variando dependiendo de la gravedad de la calcinación y conforme esta va aumentando se produce una mayor desintegración del hormigón. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 38. Efecto de calcinación. Fuente: http://www.imcyc.com/revistacyt/ago11/arttecnologia.html

2.6.2. Acciones Químicas en la Estructura

El sílice y la cal son de los elementos principales del cemento con el que se realiza el hormigón, los cuales son vulnerables y se ven afectados con la presencia de cualquier tipo de ácido causando deterioro, principalmente desintegración y degradación del hormigón, su efecto está ligado principalmente a la exposición y al microclima como se ha mencionado en secciones previas. (Sánchez de Guzmán, 2006)

Se genera una reacción entre los compuestos cálcicos del cemento como con el hidróxido de calcio, el silicato cálcico hidratado y el aluminato cálcico hidratado, y los ácidos, lo que forma sales cálcicas acido actuantes, su intensidad depende del pH de la disolución de cada uno de los ácidos, mas no de la concentración que estos tengan, es decir su agresividad será fuerte si el pH es menor a 4.5, será medio si el pH esta entre 5.5 y 4.5 y será débil si el pH de la disolución del ácido esta entre 6.5 y 5.5. Además se considera que a mayor solubilidad de la sal cálcica resultante existirá una mayor velocidad de deterioro. (Bedoya, 2010)

Las acciones químicas se pueden producir por sustancias relativamente comunes que se encuentran en el medio ambiente como son:

- Combustibles que posean gases sulfurosos, que junto con la presencia de humedad puedan llegan a producir ácido sulfúrico.
- Aguas industriales, residuales o negras que ya de por si contengan ácidos.

- Turbas, que tengan sulfuro de hierro que en contacto con el oxígeno se oxiden produciendo ácido sulfúrico.
- Aguas de regiones montañosas que contengan bióxido de carbono libre suelto o ácidos orgánicos.
- Industrias manufactureras o de procesamientos y ensilajes agrícolas ya que estos producen ácidos orgánicos .

2.6.2.1. Ataques de Sulfatos

El ataque que producen los sulfatos de sodio, magnesio, calcio y potasio generan deterioro en el concreto por dos reacciones químicas, la primera es la mezcla de sulfatos con hidróxido de calcio que producen sulfato de calcio y la segunda es la mezcla de yeso con aluminato hidratado de calcio formando sulfoaluminato de calcio. Esta se puede apreciar con la visión de una exudación casi blanca y con un agrietamiento progresivo en el hormigón, lo que causa que se vuelva suave y quebradizo, además aumenta el volumen del hormigón solido hasta en un 18%. (Bedoya, 2010)

Se presentan en aguas freáticas, ya que suelen estar en los suelos, en el caso que el ataque por sulfatos se genere por la presencia de agua, se tiene una mayor agresión cuando el agua se encuentra en movimiento ya que se lavará el concreto de forma más rápida. Generalmente el ataque por sulfatos causa daños como: cambios de color, microfisuras y fisuras, reducción de resistencia mecánica por la pérdida de cohesión en el cemento, delaminación y desagregación del hormigón. (Bedoya, 2010)



Ilustración 39. Efecto del ataque por sulfatos. Fuente: https://slideplayer.es/slide/12654969/

2.6.2.2. Ataque de Ácidos

Es la reacción que se genera entre un vapor o un líquido acido con los compuestos cálcicos del concreto, estos producen las sales cálcicas, que son sustancias solubles que afectan al hormigón. No existen hormigones resistentes a los ácidos por lo cual estos deben ser recubiertos por barreras impermeables cuando su exposición a ácidos es inminente. Producen en mayor parte fisuras y desprendimientos de pedazos de hormigón. (Pazos, 2018)



Ilustración 40. Efecto del ataque de ácidos. Fuente: https://slideplayer.es/slide/12654969/

2.6.2.3. Reacción Álcali-Agregados

Se generan tomando en cuenta algunas condiciones del medio ambiente las cuales favorecen a que los álcalis que vienen del cemento, agregados o agentes externos produzcan un tipo de gel que generará expansiones y degradaciones en el hormigón; dentro de este proceso los agregados más reactivos son: vidrios volcánicos, riolitas, latitas, areniscas, calizas dolomíticas y filitas, y de igual manera los minerales potencialmente reactivos son el cuarzo, el ópalo, la calcedonia, la tridimita, la cristobalita, la andesita y la dolomita. Los daños que se den en el hormigón variaran dependiendo del contenido de álcalis de cementos, la dosificación del cemento, el tamaño y cantidad de los agregados, la porosidad del concreto, la presencia de agua o humedad y el contenido de álcalis en el agua de amasado. Existen diferentes tipos de reacciones: (Bedoya, 2010)

- **Álcali-sílice:** Esta reacción provoca que los hidróxidos alcalinos del hormigón al unirse con los agregados que poseen sílice formen silicatos alcalinos en el gel de cemento, causando expansiones, fisuras y desintegración, ya que se produce una gran absorción de agua mediante osmosis lo que genera grandes presiones en los poros del hormigón, se suelen manifestar entre los dos y cinco primeros años de edad de la estructura. Se caracteriza principalmente por la lixiviación de productos cristalinos, hinchamiento de zonas locales y fisuraciones, así mismo como perdida de resistencia en el hormigón y disminución del módulo de elasticidad. (Sánchez de Guzmán, 2006)

- **Álcali-silicato:** Esta reacción es bastante lenta y se da en algunos tipos de rocas silíceas con los álcalis del hormigón, especialmente aquellas que presentan un gran contenido de minerales de arcilla. (Sánchez de Guzmán, 2006)
- **Álcali-carbonato:** Se producen en los agregados de tipo dolomita y los álcalis del hormigón los cuales forman brucita, estos con la presencia de humedad aumentan su volumen y generan esfuerzos de tracción, lo que a su vez también producen fisuras y fatiga. Se suele dar en edades tempranas, desde los 2 meses hasta el primer año de vida de la estructura. (Bedoya, 2010)



Ilustración 41. Efecto de reacción Álcali-Agregados. Fuente: https://slideplayer.es/slide/12654969/

2.6.2.4. Aguas blandas o puras

Se denominan aguas blandas a aquellas que tienen pocas impurezas disolviendo así a los compuestos cálcicos del hormigón, lo que genera la descomposición, porosidad y lixiviación de la pasta de cemento (proceso en el cual un disolvente liquido se transporta a través de un sólido para producir la disolución de uno o más componentes solubles del solido). Estas aguas en su mayoría provienen de aguas de deshielos, lluvias en zonas no industriales, de plantas de desalinización de agua o de destilación. (Bedoya, 2010)



Ilustración 42. Efecto de aguas blandas o puras. Fuente: http://libertadintegral.net/causas-de-la-degeneracion-del-concreto/

2.6.2.5. Carbonatación

Es una reacción que afecta directamente a la durabilidad del hormigón, se da cuando el dióxido de carbono o el anhidrido carbónico presente en el aire o del suelo entra por difusión en los poros del hormigón, logrando que el pH del hormigón disminuya despasivando al acero de refuerzo, además se produce una disminución del volumen del concreto lo que se denomina contracción por carbonatación. Por lo general se genera una mayor carbonatación cuando se tiene un menor tiempo de curado.

Como acción secundaria se produce una mayor resistencia superficial en el hormigón ya que se reduce la porosidad de este porque el CaCo3 ocupará un mayor volumen que el Ca(OH)2 al cual estará reemplazando.

La agresividad de la carbonatación se ve afectada dependiendo de la cantidad de CO2 en el medio ambiente, la utilización de hormigones permeables, la presencia de temperaturas altas o de humedades entre 65% y 98%. En el caso en el que el hormigón siempre se

mantenga seco o siempre saturado no existirá carbonatación, pero este escenario es casi imposible. (Bedoya, 2010)



Ilustración 43. Carbonatación del hormigón. Fuente: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/carbonatacion-del-concreto-como-detectarla

El avance que tiene la carbonatación no se da de forma lineal, esto por la presencia del agregado grueso, lo que se presenta en su fórmula:

$$x = k\sqrt{t}$$

Ecuación 2. Profundidad del frente de carbonatación

Donde: x: profundidad del frente de carbonatación, mm

k: coef. de carbonatación que depende de la relación agua cemento, mm/año

t: tiempo transcurrido en años

Esta ecuación no podrá ser utilizada si existen variación de humedad; La velocidad que tiene la penetración de la carbonatación en su etapa inicial es rápida, alcanzando algunos

milímetros cada año de vida de la estructura, pero esta conforme pase el tiempo se vuelve cada vez más lenta hasta entrar a los 5 cm cada 100 años si el hormigón presenta buenas condiciones. (Bedoya, 2010)

2.6.2.6. Corrosión

Según la ASTM se define: “La corrosión es la reacción química o electroquímica entre un material, usualmente un metal y su medio ambiente que produce un deterioro del material y de sus propiedades”

La corrosión es un problema bastante grande ya que se produce cuando existe una reacción entre el metal de refuerzo y alguna sustancia de medio ambiente que produzca una oxidación destructiva del metal, lo cual produce dos tipos de corrosión, la química y la electroquímica, *La corrosión química* se da por el ataque de sistemas no electrolíticos, como por ejemplo: gases y vapores que se encuentran a temperaturas que no permiten su condensación en superficies metálicas o por líquidos no conductores de corriente y la *corrosión electroquímica* se da en el acero de fuerzo embebido en el hormigón ocurriendo cuando existe una transferencia de electrones y iones bajo la presencia de un medio acuoso.



Ilustración 44. Corrosión del hormigón. Fuente: https://civilgeeks.com/2011/11/02/evaluacion-de-la-corrosion-en-las-estructuras-de-concreto-armado-i/

De manera general la corrosión puede ser descompuesta en dos procesos individuales, el anódico y el catódico, el primero se da cuando existe una oxidación del hierro, bajo la siguiente reacción $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$, y el segundo se produce cuando existe un exceso de electrones en el acero, los que se combinan en el cátodo con el agua y el oxígeno formando oxidrilo, bajo la siguiente reacción $2e^{-} + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow 2(OH^{-})$. (Bedoya, 2010)

Ahora la corrosión electroquímica puede tener varios tipos:

- **Corrosión Uniforme:** se genera como consecuencia de la perdida de la película pasivadora gracias a una diminución del pH a causa de la carbonatación, gran presencia de iones de cloruro o por lixiviación de la pasta de cemento, causando

herrumbre y aumentos de masa y volumen, lo que generará tensiones internas en el hormigón.

- **Corrosión Localizada:** Ocurre en ciertos lugares únicamente, gracias a que el oxígeno accede discontinuamente.
- **Corrosión por Picaduras:** Es un tipo de corrosión localizada, se muestra en forma de picaduras estrechas y profundas ya que será la consecuencia de una zona anódica corroída donde la película pasivadora se ha destruido ya sea por heterogeneidades, diferencia de la composición del metal o por la concurrencia de iones de cloruro.
- **Corrosión bajo esfuerzo:** Se produce bajo esfuerzos de tracción en el acero en contacto con un medio agresivo, es común en hormigones presforzados, este tiende a iniciar como una picadura que progresivamente aumenta gracias a las tensiones elevadas permanentes, lo que a la final fisurará el acero y producirá una falla frágil a la que se denomina corrosión figurante bajo tensión.
- **Corrosión Galvánica:** También llamada corrosión bimetálica se da cuando dos metales diferentes se encuentran embebidos en el mismo medio electrolítico, se suele dar en los siguientes casos: cuando el acero está en contacto con otros conductores, cuando solo una sección de las varillas se ha corroído por el ataque de cloruros o cuando se altera la película pasivadora y esta actúa como un ánodo con el resto del material.

- **Corrosión Biológica:** Se produce por la presencia de microrganismos los cuales actuaran de forma sinergética. (Sánchez de Guzmán, 2006)

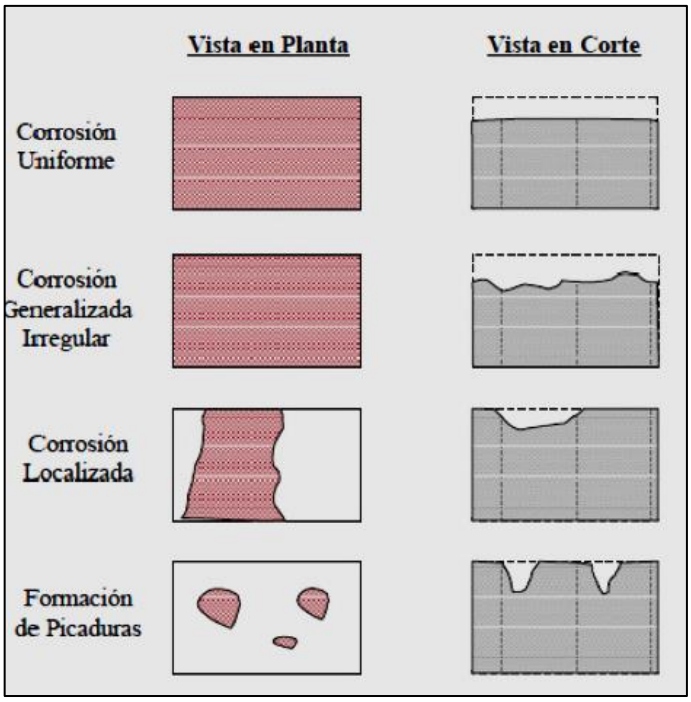


Ilustración 45. Tipos de Corrosión. Fuente: C. Andrede 1988 Manual de Inspección de obras dañas por corrosión de las armaduras

Generalmente un hormigón en buen estado da a la armadura que contiene una correcta protección contra la corrosión mediante dos formas: el primer caso se da bajo el proceso de pasivación del acero, la cual radica en la formación de una capa de oxido en torno del elemento de acero es decir de la armadura, esto por la presencia de la alcalinidad que tendrá el hormigón y del oxígeno, y el segundo caso obstruirá la inserción de agentes agresivos que puedan causar corrosión.

La presencia de corrosión en el hormigón causa la expansión del acero, fisuración interna y externa del concreto, disminución de la resistencia mecánica del hormigón, reducción de la adherencia que existe entre el acero y el hormigón, y la reducción de la sección de acero a causa de los descascaramiento y formación de vacíos.

Algunos de los factores que incurren en la corrosión son:

- Ataque por cloruros
- Perdida de alcalinidad en el hormigón
- Permeabilidad del recubrimiento
- Espesor del recubrimiento
- Despasivación en el area de las fisuras (Bedoya, 2010)

Los daños que causa la corrosión se suelen clasificar en cuatro niveles:

- **Nivel A:** La pérdida que se produce en la sección de las varillas de acero es de 1x100. Se generan fisuras de tipo longitudinal ubicadas en esquinas, las que coinciden con la ubicación de las varillas no transversales en relación con el plano que se encuentran los estribos .
- **Nivel B:** La pérdida que se produce en la sección de las varillas de acero es de 5x100. Se da desprendimiento del hormigón en las esquinas de pilares y vigas, y aparecen fisuras en el plano que se encuentran los estribos, el hormigón comienza

a perder adherencia por la formación de la capa de herrumbre que se da en las varillas principales.

- **Nivel C:** La pérdida que se produce en la sección de las varillas de acero es de 25x100. El concreto en el área de estribos se separa y estará a la intemperie, se pierde anclaje y se debilita como consecuencia de la corrosión.
- **Nivel D:** Se da la rotura de los estribos, mientras que las varillas principales se pandean y dejan de trabajar a tracción. (Bedoya, 2010)

2.6.3. Acciones Mecánicas en la Estructura

Las acciones mecánicas se producen por una gran cantidad de factores como: la deformación lenta (fluencia), sobrecargas, deformaciones impuestas, impactos, vibraciones excesivas, acciones de abrasión como frotamiento, rozamiento, rapado, percusión, erosión, aplastamientos y cavitación, los cuales están relacionados con el uso y la actividad que se le da a la edificación. (Sánchez de Guzmán, 2006)

Las acciones mecánicas juegan un papel muy importante, ya que se verá afectada la manera en que la estructura funciona produciendo como resultados deformaciones permanentes, grietas estructurales, fallas por cizalladura, colapsos, fracturas, desgastes y erosiones. (Sánchez de Guzmán, 2006)

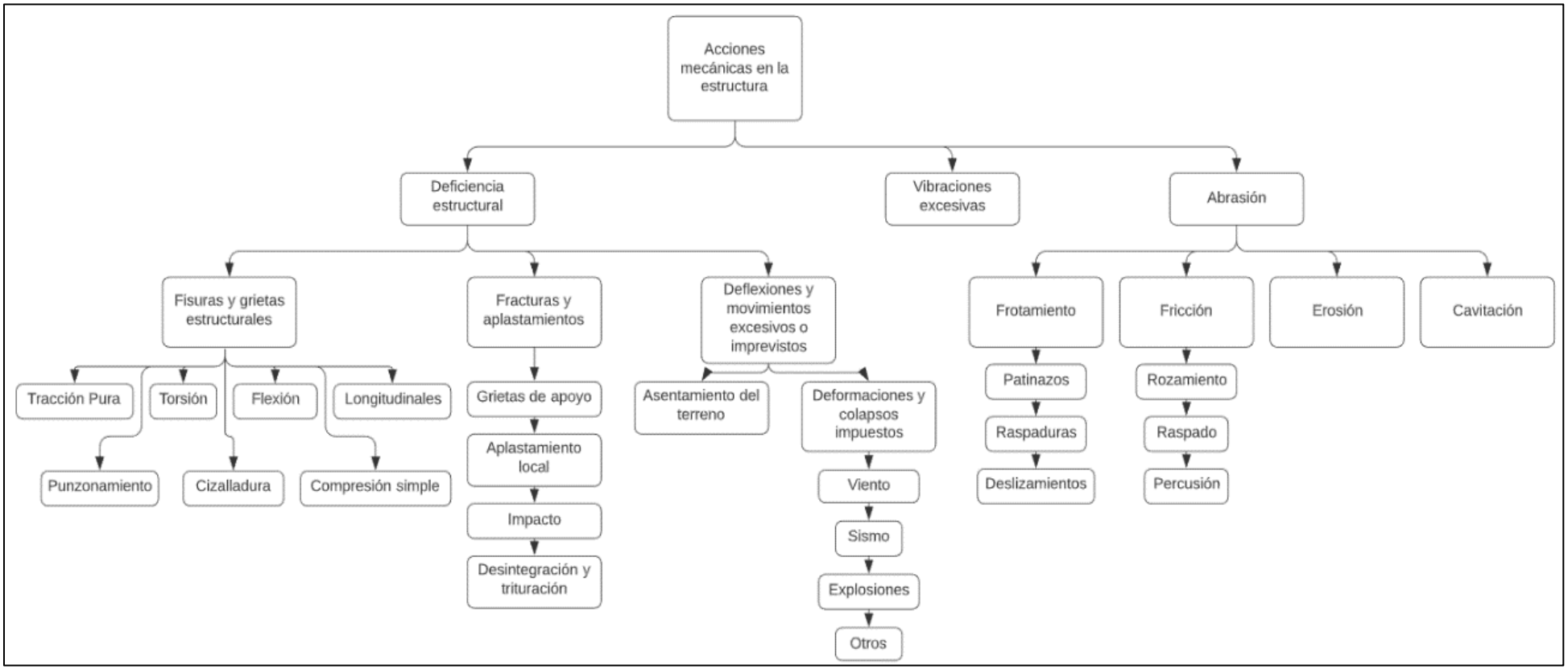


Figura 6. Acciones mecánicas. Fuente: Sánchez de Guzmán, 2006

2.6.3.1. Deficiencia Estructural

Suceden cuando se sobrepasa la capacidad resistente del material ya sea por precargas o por sobrecargas, lo que ocasiona deflexiones y movimiento excesivos o imprevistos, lo que se manifestará en la estructura en forma de microfisuras, fisuras y/o el colapso de la estructura dependiendo de la magnitud del mecanismo de acción. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.6.3.2. Vibraciones excesivas

El realizar un diseño para cargas dinámicas es clave para la estructura, asegurando así que la frecuencia natural de la estructura de apoyo de la fuente vibrante sea diferente a la frecuencia perturbadora.

Si llegase a existir una vibración acumulativa, las grietas preexistentes de la estructura continuaran desarrollándose mientras pasa el tiempo. La interacción que se da entre la frecuencia natural de la estructura y la frecuencia de la fuerza trastornarte estará en un rango de 0.5 – 1.5. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.6.3.3. Abrasión

La resistencia a la abrasión en una estructura está definida como la capacidad de la superficie de resistir el desgaste que produce el frotamiento, la fricción, la erosión de materiales abrasivos o la erosión por cavitación. Esta acción resulta bastante complicada de medir porque la acción perjudicial cambia dependiendo del origen del daño, esta es la

razón por la cual generalmente se asocia la resistencia a la abrasión con la resistencia a la compresión. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 46. Efecto de la abrasión. Fuente: https://esp.sika.com/content/spain/main/es/sikasmart-redirect/solutions-for-projects/soluciones-sika-plantas-aguas-residuales/proteccion-erosion-abrasion.html

2.6.4. Acciones Biológicas

Las superficies del hormigón y de los morteros tiene una alta biorreceptividad que se produce por el decremento del pH, lo cual permite el paso a la formación de colonias de microrganismos tanto animales como vegetales, los cuales a largo plazo afectan a la durabilidad del hormigón. De manera centrada existen cuatro tipos de degradación ambiental que una estructura puede sufrir: biofísico y biomecánico que afectan directamente a la permeabilidad, resistencia y rigidez del hormigón y bioquímico y biológico que causan una alteración en los compuestos del cemento endurecido y/o en los agregados que forman el hormigón. (Sánchez de Guzmán, 2006)

2.6.4.1. Cultivos Biológicos

Se dan por la biorreceptividad del concreto, estas pueden llegar a proliferar microorganismos, se caracterizan porque mantienen húmeda la superficie del concreto lo que causa que los mecanismos de deterioro actúan de manera más drástica. (Pazos, 2018)



Ilustración 47. Presencia de cultivos biológicos en el hormigón. Fuente: Pazos,2018

2.6.4.2.Bacterias

Son microorganismos que se encuentran dentro del tamaño de las micras o menos, existen varios tipos: bacterias heterotróficas, bacterias sulfo-oxidantes y bacterias sulfo-reductoras. Estas al combinarse con los químicos que se hallan en el concreto permiten el ataque de sulfatos y la corrosión del acero. (Pazos, 2018)



Ilustración 48. Decoloración en el hormigón por presencia de bacterias. Fuente: Pazos,2018

2.6.4.3.Hongos

Se las halla en presencia de materia orgánica, siendo estos los organismos que proliferan a mayor velocidad y dependen de las condiciones atmosféricas. Pueden causar daños de tipo mecánico afectando directamente a la microestructura que tiene el concreto, además producen manchas, decoloración y mal olor. (Pazos, 2018)



Ilustración 49. Presencia de hongos en hormigón. Fuente: https://es.123rf.com/photo_62107402_primer-plano-de-la-humedad-y-los-hongos-en-la-pared-de-hormig%C3%B3n-gris-con-muchos-rasgu%C3%B1os-en-estilo-sucio.html

2.6.4.4. Algas y Musgos

La humedad es el principal elemento que propicia su colonización, están dentro del orden de las plantas ya que se encuentran provistas de clorofila. Afectan al hormigón captando el calcio y el magnesio, ambos elementos que provienen del cemento, lo cual causará hendiduras en las superficies. (Pazos, 2018)



Ilustración 50. Presencia de algas y musgos en hormigón. Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/superficie-losa-hormigon-viejo-cubierta-musgo-o-algas_4143044.htm

2.7.Defectos y/o Daños de una Estructura

Se puede crear un símil entre un ser vivo y una estructura, si hablamos de un ser vivo se tienen las etapas de concepción , nacimiento, infancia, adolescencia, joven adulto, adulto, senectud, agonía y fallecimiento, mientras que en el caso de una estructura se tendrán las etapas planeación y diseño, construcción, operación, deterioro por vejez, degradación y colapso estructural, lo que demuestra que al igual que cualquier ente vivo este comienza a madurar y envejecer presentando deterioros con el paso del tiempo. (Sánchez de Guzmán, 2006)

El deterioro en una estructura puede ser de tres tipos:

2.7.1. Congénitos

Los daños congénitos son aquellos que tienen su inicio desde la construcción de la edificación, generalmente están relacionados con errores en el diseño, los cuales suelen provenir de errores humanos, ya sea en el uso de las normativas o en la realización de cálculos, es decir básicamente se producen por malas prácticas constructivas, sea por interpretaciones, errores de códigos o especificaciones, escasos controles de calidad, olvido o negligencia en la realización de cálculos, mano de obra no capacitada, mala calidad de los materiales usados, entre otros. (Bedoya, 2010)

2.7.2. Adquiridos

Como su nombre lo indica son daños que se adquieren con el paso de su vida útil, se generan por agente externos, como aquellos presentes en el medio ambiente, el incorrecto uso de la estructura, la falta de mantenimientos e intervenciones o simplemente el envejecimiento de esta. (Bedoya, 2010)

2.7.3. Accidentales

Son daños que suceden de manera inesperada, no se tiene un plan para ellos ni fueron considerados cuando la estructura fue creada, estos pueden presentarse tanto en la etapa constructiva como en la etapa de operación de la edificación, en su mayoría a este tipo de daños se los atribuye a fenómenos naturales, los cuales son imprevisibles y generalmente

son considerados dentro de los factores de seguridad al momento de realizados los diseños. (Bedoya, 2010)

2.7.4. Deterioro de la apariencia de una estructura

Como se ha mencionado previamente la acción del microclima tiene mucha relevancia en la durabilidad de los materiales, por lo que existen tres factores referentes este concepto que afectan la apariencia y estética de las estructuras:

2.7.4.1. Polución del medio Ambiente

Habla de la presencia de partículas contaminantes proveniente de actividades industriales o biológicas que se transportan en los vientos y contaminan las estructuras, dentro de esta categoría existen dos subdivisiones, el polvo fino y el polvo grueso, el primer concepto habla de partículas que van desde 0.01 hasta 1 micra, las cuales tienen gran facilidad para adherirse a superficie rugosas y micro rugosas, cubriendo amplios espacios por su relación superficie/volumen, mientras que el polvo grueso son partículas que van de 1 micra a 1 mm las cuales no se adhieren con tanta facilidad, a pesar que cuando se tiene presencia humedad durante largos periodos de tiempo las partículas lograran cubrir algunas superficies.

La polución del medio ambiente genera depósitos de polvo en las estructuras, en el caso del hormigón que tiene una alta porosidad, estas partículas llenaran estos pequeños espacios lo cual producirá un escurrimiento diferencial del agua proveniente de lluvias en

la supervise de las estructuras, lo cual da una apariencia sucia y de vejez a la estructura. (Sánchez de Guzmán, 2006).



Ilustración 51. Hormigón sucio por smog. Fuente:https://es.123rf.com/photo_76775184_viejo-muro-de-hormig%C3%B3n-sucio-textura-de-fondo.html

2.7.4.2. Cultivos Biológicos

La presencia de cultivos biológicos se da gracias a la biorreceptividad que tiene el hormigón, (concepto mencionado previamente) especialmente cuando este tiene una superficie rugosa, pero la presencia de microorganismos no solo afecta la apariencia que tendrá el hormigón produciendo manchas o cambios de color, su principal característica es el hecho que mantiene húmeda la superficie del concreto, lo cual como ya se describió genera deterioro en la estructura. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 52, Cultivos Biológicos. Fuente: https://www.yura.com.pe/blog/patologias-del-concreto/

2.7.4.3.Eflorescencias

La eflorescencia son depósitos formados de sales de calcio como carbonatos y sulfatos o de metales alcalinos como sodio y potasio, usualmente de un color blanquecino que se encuentran adheridos en la superficie de materiales como el hormigón o morteros, se producen por la evaporación del agua que las transportó o por la interacción que tendrán con el dióxido de carbono de la atmosfera. La presencia de estos compuestos en el hormigón produce decoloración, su presencia puede ser reducida cuando se realiza un curado en aire seco, y caso contrario cuando el curado se realiza en aire húmedo existe un mayor riesgo que se produzcan. (Bedoya, 2010)

> Varias investigaciones coinciden en que un curado de uno o dos días de 80 a 95% de humedad relativa y 20° C de temperatura son suficientes para dar buena protección contra la formación de florescencias. Si se usa menos del 65% de humedad relativa, el tiempo de curado necesario deberá hacerse durante varias semanas. (Sánchez de Guzmán, 2006, p.90)

Una vez generadas las eflorescencias estas pueden ser eliminadas usando cualquier tipo de ácido orgánico débil junto con un lavado a base de agua.



Ilustración 53. Eflorescencias. Fuente: http://elmaestrodecasas.blogspot.com/2011/06/las-eflorescencias.html

2.7.5. Mecanismos de deterioro

Los mecanismos de deterioro destruyen el hormigón gracias a la acción de los mecanismos de daños por acciones físicas, química, mecánicas o biológicas, y las más comunes son:

2.7.5.1. Meteorización

Es la modificación física, mecánica o química que sufre el hormigón a causa de la intemperie y sus elementos como el sol, el viento, la lluvia, el hielo, entre otros, además se encuentra influenciado de gran manera por las alteraciones en temperatura, humedad y presión del medio ambiente que lo rodea, en la actualidad suele darse en mayor cantidad

por la presencia de polución, la cual es cada vez más común en los centros urbanos. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 54. Meteorización del hormigón. Fuente: https://www.arqhys.com/construccion/grietas-formacion.html

2.7.5.2. Manchado o decoloración

Es un resultado de la meteorización, de eflorescencias, de los lapsos de asoleamiento, de secado y humedecimiento, de la aglomeración de polvo, del lavado por la lluvia y del escurrimiento de agua, este se aprecia como la amortiguación del color o la eliminación de este en la superficie del hormigón. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 55. Decoloración del hormigón. Fuente: http://www.toxement.com.co/media/3420/decoloracio-n_concreto.pdf

2.7.5.3. Lixiviación

"Descomposición y lavado de los compuestos de la pasta de cemento, como consecuencia de las reacciones químicas que experimenta el concreto por acción de ácidos, aguas blandas, ataques de sales o ataques de sulfatos o reacciones álcali-agregado" (Sánchez de Guzmán, 2006, p 91)

La lixiviación suele notarse gracias a que se exhiben los agregados, esto ya que se pierde pasta superficial. Además existe presencia de eflorescencias de carbonatación, retención de polvo y alto riesgo de proliferación de colonias de bacterias e incluso hongos. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 56. Lixiviación. Fuente: https://civilsnapshot.com/rust-prevention-of-steel-bars/

2.7.5.4. Reacciones deletéreas

Se los percibe generalmente como manchas de corrosión, huecos o protuberancias en la superficie del hormigón producidas por reacciones dañinas de la transformación de productos de tipo ferrosos que se llegan a encontrar en los agregados. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 57. Reacciones deletéreas. Fuente: https://e-struc.com/2014/12/29/la-importancia-del-recubrimiento-de-las-armaduras-en-el-hormigon/

2.7.5.5.Expansión

Se producen por el ataque de sulfatos o por las reacciones álcali-agregado y se presentan como la expansión de la masa del hormigón, es decir como un aumento de volumen lo cual llega a producir microfisuras y fisuras aleatorias en la masa del hormigón, descascaramiento, ablandamiento, reducción de resistencia y rigidez, existen casos en los que se produce una expansión generalizada de la masa lo que causa fracturas superficiales, profundas y aleatorias en estructuras masivas, y en el caso de elementos delgados se producen fracturas ordenadas. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 58. Expansión química del hormigón. Fuente: http://www.anfapa.com/es/divulgacion/595/causas-quimicas-del-deterioro-del-hormigon

2.7.5.6. Disgregaciones

Son rompimientos originados desde el interior del concreto producidos por esfuerzos internos de tracción, se dan gracias a la corrosión del acero, deformaciones grandes, congelamiento de agua presente en los poros del hormigón, etc. (Bedoya, 2010)

2.7.5.7. Desagregaciones

Es la degradación el cemento, cuando este ya no funciona como un aglomerante causa que los agregados del hormigón queden libres, este daño se da mediante un proceso lento que incluye: el cambio de la coloración del hormigón, formación de fisuras entrecruzadas, desprendimiento y desintegración del hormigón, además se produce por la presencia de sulfatos y cloruros. (Bedoya, 2010)



Ilustración 59. Desagregación del hormigón. Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=qsG2groVfCQ

2.7.5.8. Despasivación del acero de refuerzos

Se denomina capa protectora o pasivadora al recubrimiento de hormigón que existe por sobre el acero de refuerzo de una estructura armada, esta capa busca proteger al acero de sustancias o elementos que produzcan corrosión o deterioro en el acero, cuando se usa el termino despasivado se refiere al momento en que esta ya no brinda protección, fallando en alguna de sus características, sea su densidad, su compactación o su espesor.

Este proceso se puede dar por la presencia de carbonatación el cual permite el acceso de agua, oxigeno u otros elementos al acero de refuerzo, también puede darse por la penetración de iones de cloruros por procesos de difusión, impregnación o absorción capilar del agua con cloruros. (Sánchez de Guzmán, 2006)



Ilustración 60. Despasivación del acero de refuerzos. Fuente: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto/corrocion-del-acero-de-refuerzo

CAPÍTULO 3: Inspecciones y Ensayos

La característica principal al realizar las inspecciones y los ensayos en esta estructura, es la realización de actividades no destructivas, lo que significa que no se tomarán partes significativas del material, y sobre todo se buscará preservar el estado que tiene cada uno de los elementos, ya que la estructura forma parte del patrimonio cultural de la ciudad, de esta forma, las pruebas no destructivas combinan las siguientes ventajas: conservación íntegra del objeto, información global del estado de la estructura y la capacidad de proporcionar datos cualitativos y cuantitativos, en cuanto a su estado patológico.

3.1 Inspección Preliminar

Para la realización de la inspección preliminar se han utilizado planos arquitectónicos y estructurales, los cuales fueron proporcionados respectivamente por el Director Técnico Murillo el día 22 de enero del 2020 y por el Instituto de Patrimonio el día 08 de enero del 2020, de éstos, los más relevantes se adjuntan en la sección de anexos.

Mediante el uso de los planos se recorrieron espacios dentro del teatro para comprobar que lo descrito en ellos se sustente con lo que realmente sucede en la estructura y de no ser así poder llevar un registro de los lugares o elementos que cuentan con algún tipo de anomalía, es así como esta inspección se la dividió en 5 diferentes espacios: planta subsuelos, planta luneta baja, plana primera de palcos, planta segunda de palcos y planta luneta alta.

3.1.1 Planta Subsuelos

En esta planta se encuentra la oficina del Dir. Ramiro Murillo, el salón de ensayos que se utiliza actualmente como bodega, la plataforma móvil junto con los cuartos de máquinas, la bodega de instrumentos y la bodega de sillas, los cuales fueron inaccesibles por cuestiones de seguridad, de estos es importante recalcar que la plataforma móvil cuenta con una estructura de acero como se puede observar en las fotografías en la sección del ensayo visual. En los espacios de las bodegas y cuartos de máquinas, la sala de ballet, la bodega de material eléctrico, la bodega de escenografía y la sección de utilería del escenario no se puede identificar visualmente algún tipo de elemento estructural y en los planos en uso no se presenta ningún tipo de especificaciones estructurales de las secciones mencionadas, es decir no se hallan columnas o vigas, lo cual llama la atención, pero como se mencionó en la sección de historia del teatro, en este lugar durante la última intervención se realizaron perforaciones con el fin de colocar un sistema de pilotaje para reforzamiento estructural de su cimentaciones, además de mecanismos de consolidación de muros, siendo así que se crean estas áreas debajo del escenario.

Por otro lado la sección denominada cafetería es utilizada como un patio exterior donde su ubican materiales de carpintería, en este lugar se encuentra el antiguo muro de mampostería y piedra que muestra la estructura original del teatro, pero que en la actualidad no cumple con ningún objetivo estructural, solo se lo conserva como un adorno y muestra de la historia del teatro. La sección de la antigua carnicería y bodegas, son

utilizadas tal y como se menciona, dentro de la antigua carnicería se encuentra como ya se mencionó los restos de la estructura en mampostería que se utilizaba como bebedero para los animales cuando funcionaba en este lugar la Plaza de las Carnicerías, en este sector si se identifican las columnas descritas en el plano estructural de la cimentación del bloque oeste, además en este mismo plano se detalla el uso de zapatas y vigas de cimentación, además en el mismo se especifica el uso de anclajes para la unión de la nueva estructura, con la antigua, bajo la acción de un pegante para unir hormigones de diferentes edades.

3.1.2 Planta Luneta Baja

En esta planta en el ala este, se encuentra la entrada para los empleados del teatro, junto con la guardianía, una sala de espera/VIP, los transformadores tanto de la zona como del teatro, el cuarto de bombas, escaleras para acceder a las oficinas de los empleados, el vestidor de los empleados, el acceso vehicular y primeros auxilios, de los cuales exceptuando el acceso vehicular y los primeros auxilios la estructura que conforman el resto de espacios es de tipo mixta, donde vigas y columnas son de madera, mientras que las paredes divisorias están elaboradas en mampostería, según lo especificado en los datos sobre la reconstrucción de 2003 esta parte también es nueva, ya que en este sector solía funcionar un teatro experimental que se encontraba en decadencia y un patio interior.

En la parte posterior de esta planta se encuentra la recepción, un hall que da acceso a los nuevos camerinos y al patio interior de la planta de subsuelos, sectores donde la vista y el

acceso a las columnas y vigas es bastante fácil, estas se encuentran a lo largo del corredor y en los camerinos tal y como se establece en los planos estructurales y arquitectónicos.

Además en esta planta se encuentra en ingreso al escenario para los artistas y a la luneta baja de butacas, las cuales son las butacas ubicadas a nivel del piso del teatro, en el escenario encontramos columnas/arcos, las cuales conforman parte de la estructura original del teatro según la información investigada; en la zona de luneta baja se encuentra un total de 10 columnas repartidas simétricamente, las cuales sostienen a los pisos superiores de palco, en los planos no existe información sobre el material utilizado en ellas.

En la zona oeste se encuentra el bloque de camerinos (camerinos 1, 2 y 3) con sus respectivas baterías sanitarias, en este sector a lo alto de la de construcción se observa la misma distribución de espacios para cada uno de los pisos, es decir conserva su verticalidad, y en los planos estructurales de esta zona se identifica que los elementos estructurales se encuentran ubicados correctamente.

3.1.3 Planta Primera de Palcos

En esta planta se encuentra en la parte frontal del teatro el acceso que da a la Plaza del Teatro, donde se encuentra la fachada del teatro, el foyer del lugar, boletería, recaudaciones, información y recepción, lugares que durante el momento de la visita se encontraban ocupados por los empleados del lugar, razón por la cual una inspección más detallada no fue posible. En el ala este únicamente se encuentran las gradas de acceso a

oficinas, mientras que en la parte posterior y ala oeste se encuentra la segunda planta de camerinos (camerino 4, 5, 6, 7 y 8) con sus respectivas baterías sanitarias, la cuales como se mencionan en la sección anterior mantienen su verticalidad y cumplen a simple vista con los planos arquitectónicos y estructurales, en la zona de palcos se observa como la losa y vigas están elaboradas en madera, utilizando yeso como recubrimiento y en adornos arquitectónicos, en los tres pisos correspondientes a palcos se observa la utilización de columnas de acerco en perfil circular las cuales sostienen a los pisos superiores, estas se encuentran ancladas a las losas mediante el uso de placas y pernos.

3.1.4 Planta Segunda de Palcos

En esta planta se pudo acceder al área de camerinos (camerinos 9, 10 y 11), las áreas de lavado y costura las cuales fueron renovadas y se utilizan actualmente como la oficina de sonido, pero que mantienen la misma distribución del piso inferior y a la zona de palcos, mientas que las áreas correspondientes a oficinas, bodegas, cocina, restaurante, área de espera y área de bar, no fue posible acceder ya que era necesario una autorización; además de estas a excepción de las oficinas, no se posee información estructural, ya que no se cuentan con los planos correspondientes.

3.1.5 Planta Luneta Alta

Se tuvo acceso a la zona del taller de pintura y montaje, a la oficina de producción y la terraza este, lugares donde la identificación de columnas se volvió más complicada ya que se tratan de terrazas y en la mayoría de casos la verticalidad del elemento se interrumpía

o porque habían sido escondidas dentro de las paredes divisorias, pero con el uso del plano arquitectónico se pudo identificar cuales llegaban hasta este sector, de forma general en ninguno de estos lugares se encontró alguna característica fuera de lo común que llamara la atención, por otra parte la zona de luneta alta que da al escenario fue inaccesible.

3.2 Descripción del Sistema Estructural

Se busca identificar el sistema estructural de resistencia, el cual, de forma general se encuentran elementos como columnas, vigas, placas, amarres, conexiones, diafragmas, muros de cortantes y cimentaciones, esto, se verificará con los planos estructurales de la edificación.

3.2.1 Características Estructurales

Como se puede apreciar en los planos estructurales y además se ha mencionado en varios puntos, el teatro cuenta con sistemas estructurales diferentes, donde se pueden diferenciar 5 grandes divisiones, la primera es la estructura central y delantera la cual consta del escenario, lunetas, los diferentes palcos, el área de boletería, recepción y el foyer, en estos la característica principal es que sus elementos estructurales como columnas y paredes son elaboradas en mamposterías, es decir su material es el material original con el que el teatro fue elaborado. En varias de las visitas realizadas y después de algunas entrevistas tanto con el Director Técnico Murillo como con el Sr. Nicolas García Borja quien es guía turístico del teatro/auxiliar de eventos, se me informó que a estas columnas al ser de mampostería se las recubrió con hormigón armado para así buscar una mejor resistencia

y estabilidad, afirmación que será revisada posteriormente con la aplicación de los ensayos.

La segunda sección corresponde al techo del escenario el cual cuenta con una cubierta en forma de cercha elaborada en acero (Ver anexo 10).

La tercera y cuarta sección corresponde al bloque de camerinos los cuales se ubican en la parte sur y oeste del teatro respectivamente, estas son estructuras aporticadas, es decir cuenta tanto con columnas y vigas banda las cuales fueron elaboradas en hormigón armado y sus paredes en mampostería, además cuentan con losas alivianadas, su cimentación (Ver anexo 1) lleva vigas de cimentación, zapatas, cadenas y muros de sostenimiento, estas columnas "nuevas" pertenecientes a este sector se anclaron al muro existente del teatro utilizando un pegante para unir hormigones de diferentes edades, estas dos áreas se encuentran divididas entre si ya que en su cimentación no se hallan uniones, además se presentan diferentes planos estructurales para cada uno de los sectores, esto a pesar que en sus materiales y forma de construcción se hallen características similares, como la geometría de las columnas y la utilización de un hormigón con un f'c de 210 kg/cm2; pero a pesar que la cimentación no haya sido construida o concebida al mismo tiempo, se genera una unión entre los elementos de la antigua estructura con la nueva, es decir no se evidencian juntas de separación entre elementos, las paredes de ambos sectores se encuentran completamente en contacto.

Además algo que también llama la atención de estas secciones es que en el plano estructural se describe la presencia de un muro perimetral en los bordes del teatro en hormigón armado, pero del cual no se tiene ningún tipo de especificación ya sea del tipo de hormigón usado o del armado que este tiene (Ver ilustración 8, fotografía 6).

La quinta y última sección corresponde al sector este del teatro, aquí se encuentran las entradas de los artistas y una entrada vehicular, además se encuentran las oficinas del personal que labora en el teatro, esa sección cuenta con una estructura, es decir vigas y columnas en madera, y sus paredes están elaboradas en mampostería; en la zona posterior de este sector, en la zona del acceso vehicular se cuenta con parte de la estructura original de teatro mencionada en la primera sección.

Considerando los planos tanto estructurales como arquitectónicos se obtiene la siguiente imagen en la cual se resalta el perfil que tiene el teatro y además los diferentes tipos de columnas, dependiendo de su material y de sus respectivas locaciones; de esta forma mediante el uso de colores se determina que:

(rojo) : Columnas pertenecientes a las secciones tres y cuatro, es decir el bloque sur y bloque oeste, elaboradas de hormigón armado, sus especificaciones se pueden revisar en los anexos.

(rosa): Columnas pertenecientes a la sección uno, elaboradas de la mampostería original de teatro y recubiertas de hormigón armado (esta información ha sido mencionada en varias ocasiones por personal del teatro), están ubicadas en los extremos del escenario.

(anaranjado): Columnas pertenecientes a la sección uno, elaboradas de la mampostería original de teatro y recubiertas de hormigón armado (esta información ha sido mencionada en varias ocasiones por personal del teatro), están ubicadas en los pasillos para ingresar a los palcos y en el ingreso al foyer del teatro.

(morado): Columnas ubicadas en los palcos, elaboradas de acero con un diámetro de 12 cm aprox., estas son las columnas originales del teatro, es decir no han sido reemplazadas desde su construcción original.

(azul): Columnas ubicadas en luneta baja, elaboradas en mampostería y recubiertas de hormigón armado (esta información ha sido mencionada en varias ocasiones por personal del teatro), sostienen toda la sección de palcos.

(verde): Columnas ubicadas en la quita sección, en la zona de oficinas, elaboradas en madera.

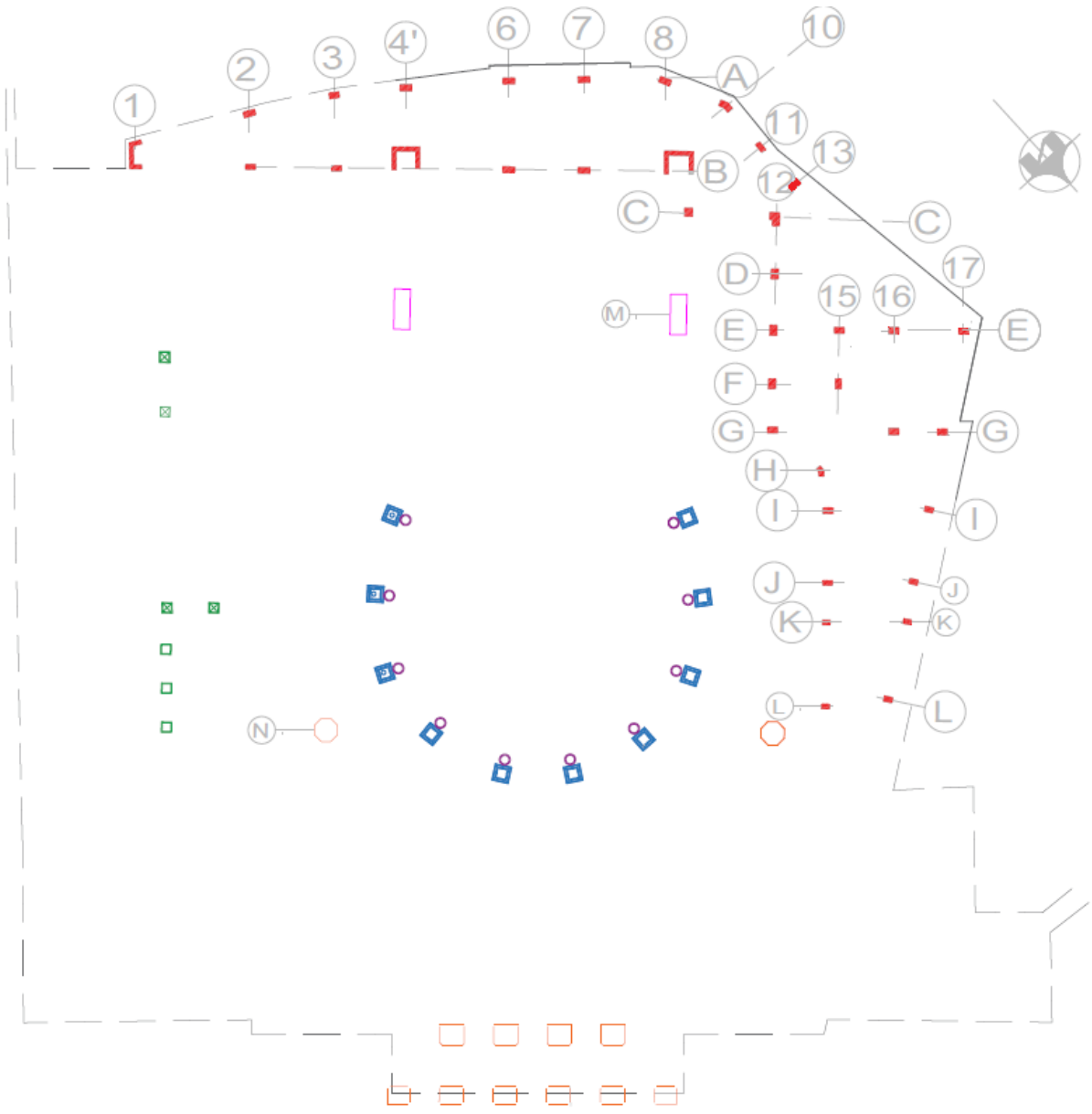


Ilustración 61. Ubicación de los tipos de columnas

A continuación se muestra la distribución de espacios del teatro distribuido por pisos, se coloca únicamente los planos de los 3 primeros pisos ya que el 4to y 5to mantienen la verticalidad y están distribuidos de igual forma que los demás, es decir se muestra la

implantación que tiene cada uno de estos, resaltando la ubicación real de cada tipo de columna:

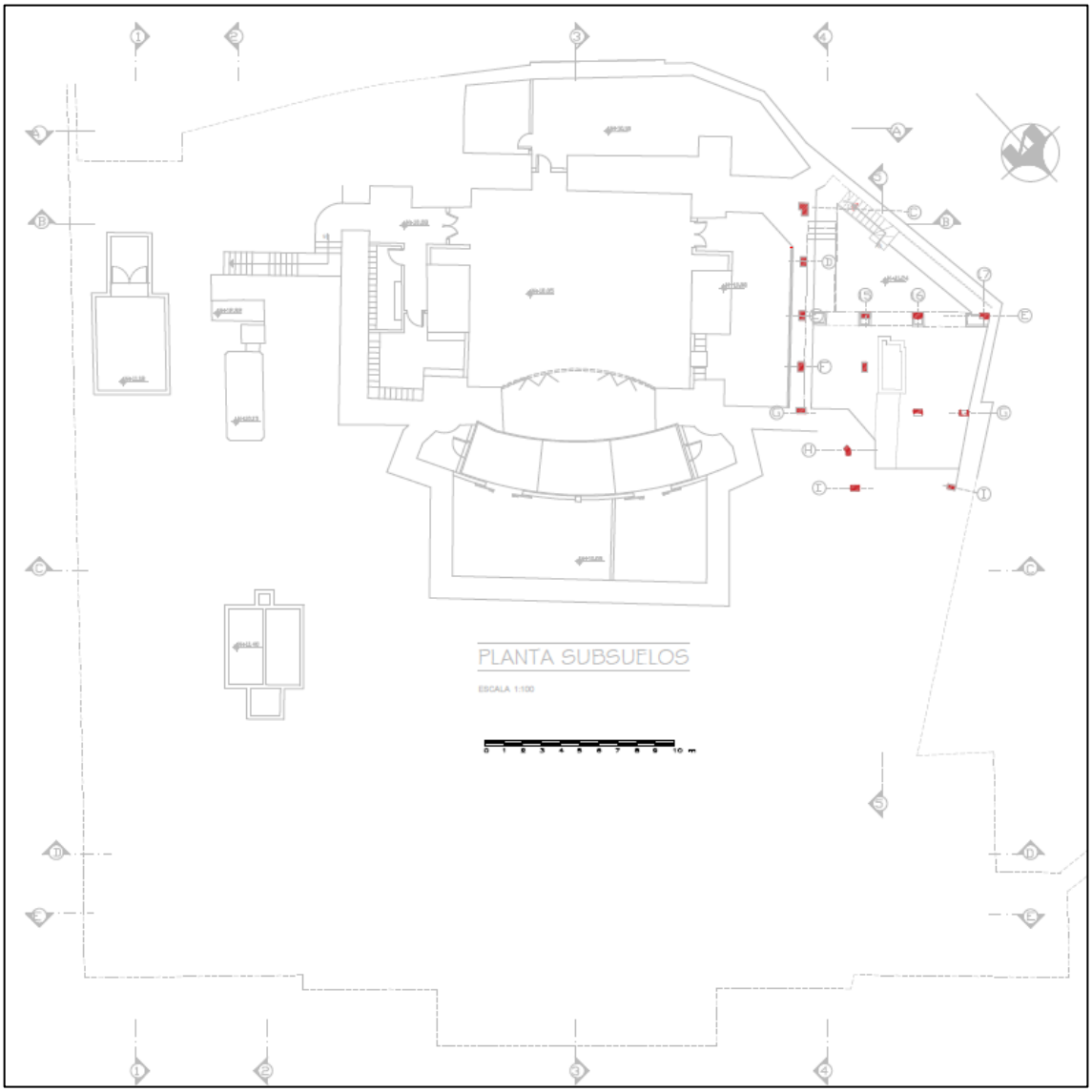


Ilustración 62. Ubicación de columnas en la planta subsuelos

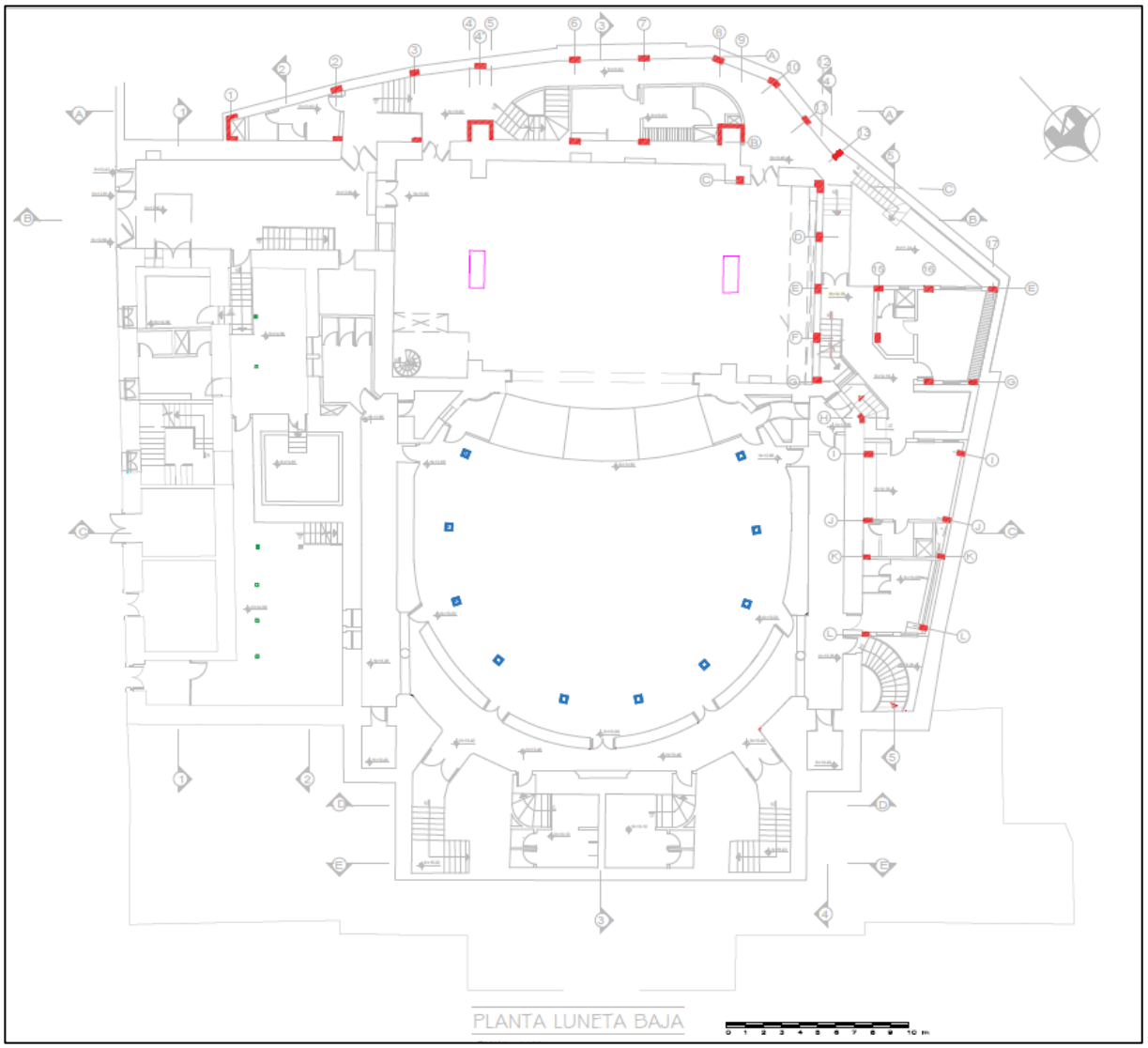


Ilustración 63. Ubicación de columnas en la planta luneta baja

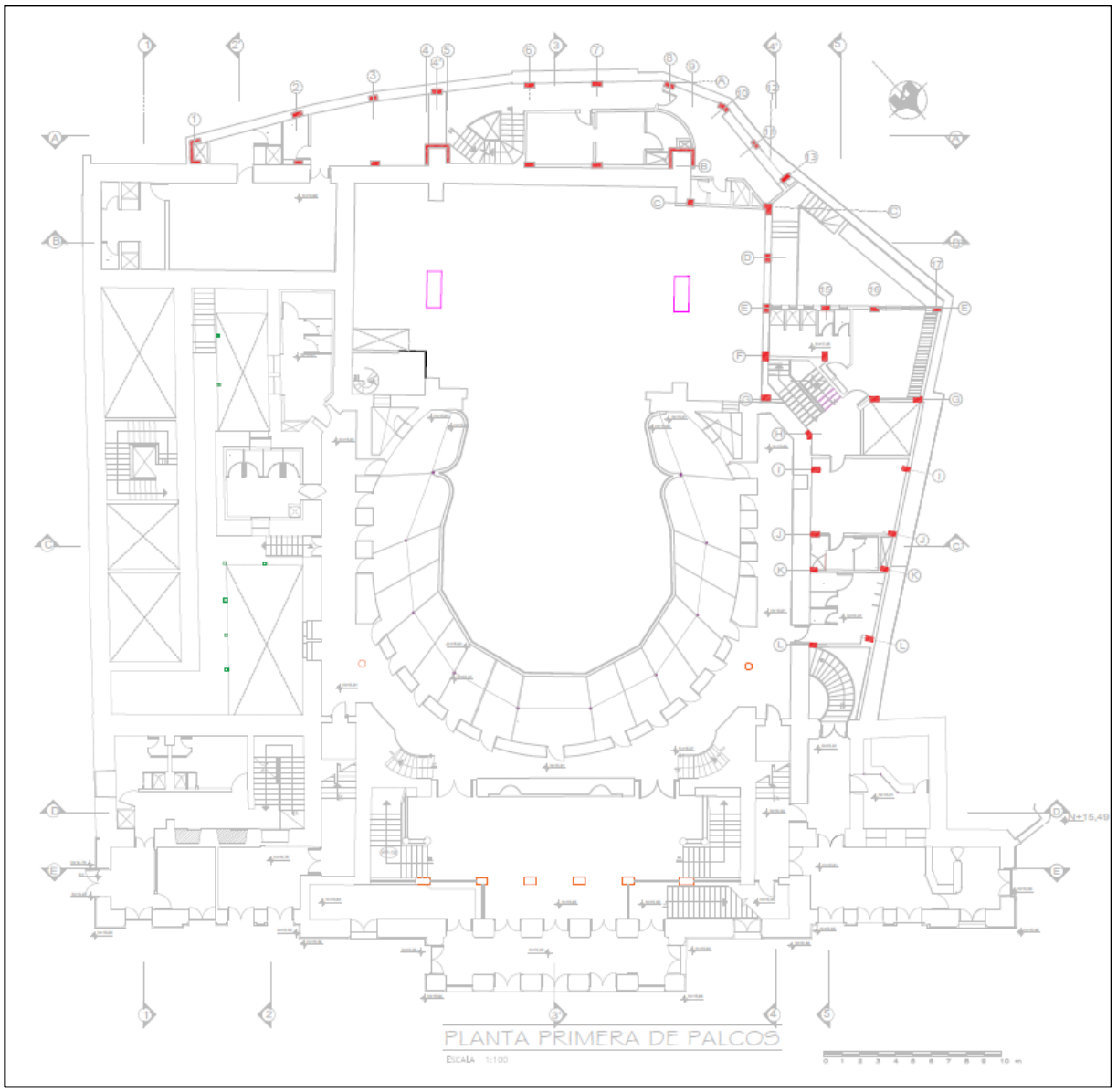


Ilustración 64. Ubicación de columnas en la planta primera de palcos

3.3 Ensayos

Los ensayos que se realizan tienen el objetivo de identificar el estado actual de los materiales que conforman la estructura del teatro Nacional Sucre, realizando un enfoque en la funcionalidad y estado físico de los mismos, donde se obtendrá información para corroborar con la bibliografía encontrada al respecto, es decir se analizarán: la resistencia y uniformidad que tiene el hormigón, el armado en sus elementos estructurales y la calidad de estos.

La determinación del módulo de elasticidad del hormigón y su módulo de Poisson a pesar de que serían de gran ayuda, no será posible obtenerlas ya que para esto es necesario la toma de muestras lo cual al ser un estudio independiente no es factible con relación a permisos, aun así se buscará dar la mayor cantidad de información posible para determinar un diagnóstico y su respectivo tratamiento.

Considerando que el módulo de elasticidad de hormigón está directamente relacionado con el módulo de elasticidad del agregado y por la relación volumétrica del agregado en el hormigón, este se consigue usando el diagrama de esfuerzo-deformación unitaria; además la relación de Poisson es la que se genera entre la deformación lateral y la deformación longitudinal cuando a una muestra de hormigón se la somete a una carga uniaxial.

Previamente es importante determinar el concepto de la resistencia del hormigón, y para evitar confusiones se definen también esfuerzo y deformación:

- **Resistencia:** Capacidad del hormigón para resistir y oponerse a esfuerzos y fuerzas por solicitaciones a corte, flexotracción, tracción o compresión, sin que este llegue a presentar fallas, rupturas, deformaciones permanentes o presentar deterioro de cualquier tipo; depende de varios factores entre los cuales están: el material del elemento, la geometría que posee, la cohesión entre diferentes elementos, etc.
- **Esfuerzo:** Es la intensidad que tienen las fuerzas o a su vez las componentes internas que se encargan de resistir un cambio en la geometría de un cuerpo
- **Deformación:** El esfuerzo se considera la causa y la deformación es el efecto, la deformación es el cambio de la dimensión por unidad de longitud en una dimensión lineal de un cuerpo.

La realización del Ensayo de Carbonatación a pesar de que se la consideró y planeó, no fue posible ser realizada a los elementos seleccionados; la carbonatación es un proceso común en el hormigón y este incide principalmente en el deterioro de su estructura, se produce gracias a la reacción de hidróxido de calcio con el dióxido de carbono que se encuentra presente en el aire, formando carbonato cálcico y agua. Entre los principales efectos que produce esta acción química es la reducción de la alcalinidad del concreto produciendo perdidas en las capas de recubrimiento, afectando a su vez a la armadura de refuerzo con corrosión y en el endurecimiento excesivo del hormigón.

El ensayo de carbonatación permite determinar la profundidad y la extensión que tiene las zonas de hormigón que necesitan ser reparadas es decir las que se encuentran afectadas por este fenómeno, así, ya que este ensayo es medianamente intrusivo y resulta necesaria la toma de pequeñas muestras de los elementos, es la razón por la cual los permisos obtenidos no amparaban su realización.

Para la realización de los ensayos con equipos se consideran un total de 15 columnas, lo que representa el 10% del total de elementos, las cuales se seleccionan de forma aleatoria considerando el acceso a las mismas, lo cual da como resultado la utilización de las siguientes columnas, basados en los nombres dados en la ilustración 61, se seleccionaron únicamente los elementos verticales ya que las vigas no se encuentran a simple vista, estas están ocultas con las losas y su identificación no fue posible..

# Columna	Nombre General	Planta	# En Planta
1	A-4	Luneta Alta	1
2	B-4	Luneta Alta	2
3	A-8	Luneta Alta	3
4	C-9	Luneta Alta	4
5	C-12	Luneta Alta	5
6	B-2	2° de Palcos	1
7	A-2	2° de Palcos	2
8	B-3	2° de Palcos	3
9	A-8	1° de Palcos	1
10	I-17	1° de Palcos	2
11	E-16	1° de Palcos	3
12	G-16	Subsuelos	1
13	A-10	Luneta Baja	1
14	N	Luneta Baja	2
15	M	Luneta Baja	3

Tabla 8. Grupo de elementos a ser ensayados

3.3.1 Análisis visual para Edificios de Carácter Patrimonial

El análisis visual se realizará según parámetros y características presentes en los documentos pertenecientes a REHABEND 2014. Latin American Congress, el cual recopila información relacionada con construcción, patologías, rehabilitación, tecnología y manejo de la herencia, es decir es aplicado para edificaciones con interés patrimonial como lo es el teatro Nacional Sucre del Distrito Metropolitano de Quito.

Además estos se complementan con bibliografía destinada a la realización de ensayos no destructivos y especialmente visuales, de modo que se realizará una recopilación de la información correspondiente a la estructura en estudio, para elaborar una ficha de evaluación.

3.3.1.1 Equipo

Ya que este es un ensayo visual, el equipo a ser utilizado no corresponde a una maquina en especial, si no a materiales necesarios para realizar el registro de las anomalías o características encontradas, por lo que se utilizan como equipo: cámaras fotográficas, linterna, regletas, planos y el listado de características encontradas.

3.3.1.2 Procedimiento

Al realizar ese ensayo se buscan localizar los siguientes defectos:

- Deformaciones excesivas en elementos horizontales.
- Fisuraciones o grietas en elementos estructurales.

- Cambios de aspecto superficial del hormigón.
    - Rugosidades superficiales
    - Formación de una película superficial
    - Cambio de coloración del hormigón
    - Exfoliaciones
    - Disgregaciones
    - Descantillados
    - Eflorescencias
    - Fisuraciones en elementos no estructurales

3.3.1.3 Interpretación de Resultados

Al ser un primer nivel de análisis se valorará la importancia de los defectos encontrados

- **Daño alto:** fallas o lesiones que requieren apuntalamiento de forma inmediata
- **Daño moderado:** fallas o lesiones que muestran una reducción de la seguridad o durabilidad de la estructura
- **Daño bajo o despreciable:** no hay fallas o lesiones aparentes, aunque será necesario una comprobación con un seguimiento periódico. (Lopez, 2004).

La visita para la realización del análisis visual se realizó el jueves 19 de diciembre del 2019, en esta visita ya que se había recorrido el teatro previamente, se buscó identificar fallas visibles en los materiales del teatro, visitando las diversas áreas y salas que se describen en los planos arquitectónicos presentados en las ilustraciones, 13, 14, 15 y 17,

se realizó la visita sin acompañamiento del personal del teatro lo cual limito los lugares a accesibles. Se tuvo como como primer objetivo la comprobación de la fidelidad de los planos con los espacios reales del teatro, de esta forma los espacios se consideraron de la forma que están presentados los planos: planta subsuelos, planta luneta baja, planta primera de palcos, planta segunda de palcos, planta luneta alta.

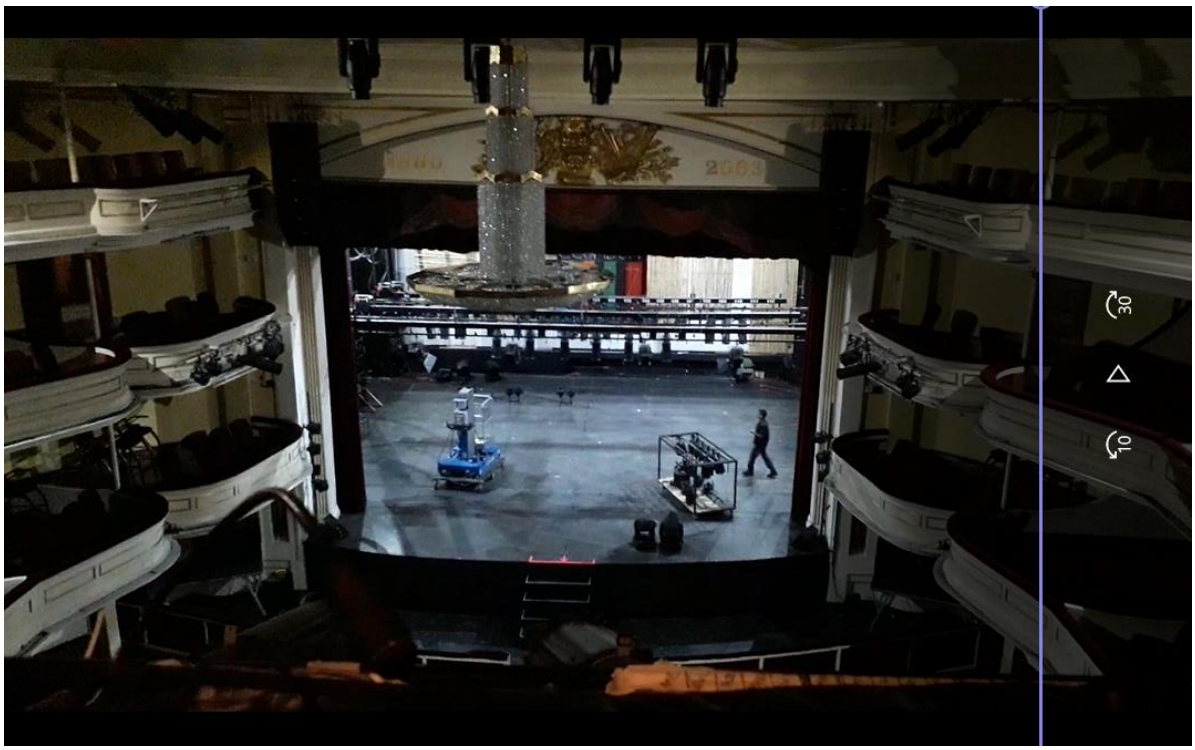


Ilustración 65. Vista desde Luneta Alta

3.3.2 Ensayo de Ultrasonido (ASTM C 597)

El ensayo no destructivo de Ultrasonido se fundamenta en la reflexión de ondas acústicas cuando se hallan discontinuidades en su propagación, mediante la utilización de un transductor electroacústico busca proveer un impulso de vibración longitudinal para que

mediante un segundo transductor reciba la señal generada por el primero, tomando en consideración el tiempo y velocidad de tránsito de la señal bajo la utilización de un circuito electrónico; este, brinda información sobre la calidad que tiene el concreto, la presencia de fisuras o huecos, resistencia a la compresión del hormigón mediante el uso de curvas de calibración (de ser posible), datos sobre carbonatación, acción del fuego o heladas, ataques de sulfatos, etc. (Donini, 2017, p.415)

Su utilización conllevara varias ventajas como lo son la aplicación sobre cualquier tipo de elemento y cualquier espesor siempre y aun cuando el elemento estructural tenga una sola cara accesible. Este ensayo es sencillo, rápido y relativamente económico, además con su uso resulta muy sencillo el conocer o localizar los defectos presentes en la estructura, aunque puede presentar variaciones en el resultado dependiendo de la humedad del concreto y de los niveles de armado de este.

Los resultados pueden presentar variaciones de precisión por las siguientes razones:

- La humedad que tenga el equipo, mientas mayor humedad posea el hormigón se obtendrán mayores velocidades de onda, si el hormigón estuviese saturado la velocidad del puso aumenta en un 5%
- Temperaturas extremas, ya sean muy calientes o frías.
- Movimientos innecesarios al realizar el ensayo, o una mala sujeción de los transductores.

- Pobre contacto de los traductores con el hormigón, para esto se coloca vaselina en el hormigón y en los traductores.
- Armaduras cercanas de forma paralela a la dirección de propagación de la onda, cuando esto ocurre se obtiene una velocidad de onda mayor.

3.3.2.1 Equipo

La máquina está formada por transductores que son los elementos a ser colocados directamente en el concreto, un generador de pulsaciones con frecuencias de 10-150 Hz, un amplificados, un circuito que mide el tiempo y una pantalla donde se muestra el tiempo o la velocidad que toma a las pulsaciones de las ondas longitudinales el trasladarse entre los transductores.

Este equipo cuenta con una precisión de +-10% cuando es usado por un operador con experiencia y además se ha realizado una calibración directa, si no se ha realizado la calibración, la precisión con la que trabaja el equipo es será de +-25%.



Ilustración 66. Equipo para el Ensayo de Ultrasonido



Ilustración 67. Calibración del Equipo

3.3.2.2 Procedimiento

1. Se inicia por calibrar el equipo como se ve en la ilustración 67.
2. Se elige el elemento a ser ensayado.
3. En caso de ser necesario se debe retirar el acabado que tenga el hormigón ya sean pinturas, cementos o yesos se realiza una limpieza de la superficie y se la pule con piedra pómez.
4. Se coloca vaselina para generar un acoplamiento de los transductores con la superficie del hormigón.
5. Se colocan lo transductores fijos y firmes hasta que la lectura sea definida, en relación con la transmisión que se haya elegido previamente, existiendo tres tipos: directa, semidirecta o indirecta.

   Directa: esta colocación da una máxima sensibilidad y la longitud de trayectoria estará bien definida.

   Semidirecta: Se lo mide considerando que las trayectorias tienen una forma diagonal usando el teorema de Pitágoras.

   Indirecta: Es la colocación menos minuciosa ya que da velocidades de pulso que estarán afectadas por las capas exteriores del hormigón, además se toma en cuenta la distancia que existe entre los centros de los transductores como su trayectoria.

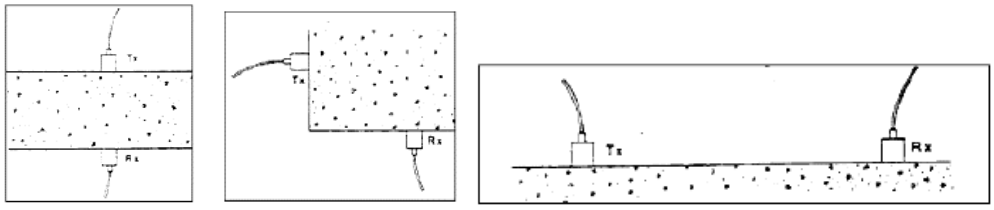


Ilustración 68. Colocación Directa, Semidirecta, Indirecta. Fuente: Bedoya, 2010

6. Se ubican los transductores a una distancia determinadas entre centro y centro, considerando lo especificado en la normativa.
7. Se consigue la velocidad de propagación de la onda.
8. Si llegara a haber una fisura, podrá ser determinada su profundidad haciendo diversas tomas, colocando a 5cm y 10 cm de la fisura.
9. Se toma notas de la lectura dada por el aparato.

3.3.2.3 Interpretación de Resultados

Se tomarán tres datos, de los cuales se obtendrá un promedio para identificar el valor de Vd (velocidad promedio de la onda). El equipo empleado es de marca Proceq el cual da directamente el resultado de la velocidad de onda (Vd), pero dependiendo del equipo a ser utilizado se deberán realizar cálculos, ya que existen equipos en los cuales se determina el tiempo, mas no la velocidad, además en estos se deberá realizar una multiplicación extra dependiendo del tipo de trayectoria utilizada con su respectivo factor, de la siguiente manera:

$$v = \frac{l}{t}$$

Ecuación 3. Velocidad

Donde: v: velocidad

l: distancia entre los transductores

t: lectura de tiempo

Se obtendrá la velocidad de onda promedio a partir de las lecturas obtenidas en campo (en este ejemplo son dos).

$$v_{prom} = \frac{vd_1 + vd_2}{2}$$

Ecuación 4. Velocidad promedio

Una vez obtenidas las velocidades, se obtiene v(i-t) las cuales son velocidades de onda dadas por el factor α.

$$\mathrm{v(i\text{-}t)} = \mathrm{vd} * \alpha$$

Ecuación 5. Velocidades de onda dadas por el factor α

Donde: v (i-t): velocidad de onda dada por el factor α.

α: factor para la corrección de la velocidad dependiendo del tipo de transmisión

Factor para la corrección de la velocidad dependiendo del tipo de transmisión	
Tipo de Transmisión	**Factor α**
Directa	1
Semidirecta	1.795
Indirecta	1.558

Tabla 9. Factor para la corrección de la velocidad dependiendo del tipo de transmisión. Fuente: Fabricante del Equipo

Con las velocidades obtenidas se obtiene la velocidad promedio:

$$v(i-t)_{prom} = \frac{v(i-t)_1 + v(i-t)_2}{2}$$

Ecuación 6. V(i-t) promedio

Donde: v (i-t)1: velocidad uno de onda dada por el factor α.

v (i-t)2: velocidad dos de onda dada por el factor α.

Finalmente para analizar los resultados se consideran las siguientes tablas, donde Leslie y Cheesman, fueron los desarrolladores de la técnica para este ensayo, y a ellos se les atribuye la primera tabla la cual se basa en intervalos de valores para clasificar la medición de la velocidad ultrasónica:

Clasificación de la calidad del hormigón por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman	
Velocidad de la onda longitudinal m/seg	**Condición del hormigón**
> 4570	Excelente
3650 - 4570	Buena
3050- 3650	Regular/Dudosa
2130 - 3050	Pobre
< 2130	Muy Pobre

Tabla 10. Clasificación de la calidad del hormigón. Fuente: Bedoya, 2010

Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval y otros	
Velocidad de pulso m/seg	**Condición del hormigón**
> 3000	Buena
2500 - 3000	Regular
< 2130	Pobre

Tabla 11. Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval y otros. Fuente: Bedoya, 2010

3.3.3 Escaneo magnético (BS 1881 parte 204)

El uso de escaneo magnético es aplicado principalmente para la estimación de la posición, profundidad y tamaño de la armadura de refuerzo dentro del hormigón, su uso es característico ya que permite obtener información sobre edificaciones de las cuales no se tiene información o datos relacionados con el diseño del armado. Además, este permite obtener información sobre cualquier otro tipo de elemento que responda a propiedades magnéticas y que se encuentre dentro del concreto de la estructura.

Básicamente su uso es mediante la aplicación de un campo electromagnético que se produce a partir de la cabeza de búsqueda del equipo, cuando la armadura de refuerzo o cualquier otro material de metal se encuentra con este campo, las líneas de fuerza se distorsionan produciendo un cambio en el campo de fuerzas del aparato. (British Standard, BS 1881 : Part 204 : 1988)

Este ensayo puede ser utilizado para generar un control de calidad, es decir asegurar la ubicación correcta y la cobertura de las barras de refuerzo después de la colocaciones del hormigón, para investigación de miembros cuyos registro no están disponibles o deben ser verificados, para reconocer su ubicación al momento de realizar una extracción de núcleos o para determinar la ubicación de objetos ferromagnéticos enterrados en el hormigón que no sean refuerzos, como tuberías de agua, viguetas de acero o canales de iluminación.

3.3.3.1 Equipo

Esta máquina está compuesta por una pantalla digital la cual indica los datos geométricos de las varillas a ser encontradas, la que cuenta con un plano cartesiano el cual indicará cuan cerca está la varilla o si se está sobre esta, Siendo el elemento que se coloca contra el hormigón el que cuenta con un mecanismo magnético para lograr encontrar las varillas y con 4 ruedas que ayuda a su desplazamiento.

Este equipo puede llegar a brindar datos no muy fidedignos en especial cuando las varillas están a profundidades muy grandes, de modo que en ese caso se recomendaría realizar una gammagrafía, el cual tiene un costo más grande pero sus resultados son más confiables.



Ilustración 69. Equipo para el escaneo magnético

3.3.3.2 Procedimiento

Su realización no requiere de mayor preparación, ya que solamente se debe mover la sonda/cabeza del equipo por sobre el concreto considerando que se deben reconocer tanto las varillas del armado, como los estribos, con la ayuda de un lápiz se irá marcando señales en la columna cada que el indicador digital señale que se está sobre una varilla, las que después se medirán con la ayuda de un flexómetro considerando profundidades y distancias entre varillas.

3.3.3.3 Interpretación de Resultados

La interpretación de resultados se la realiza mediante dibujos en los cuales se muestra la vista en planta y lateral del elemento, donde se especifica la ubicación de los aceros encontrados y su tipo. En este caso ya que se tiene bibliografía que respalda el armado de los elementos, se realizará una comparación entre los resultados obtenidos y lo especificado en los planos estructurales, con lo que se determinará la fidelidad de la construcción a las especificaciones técnicas en los planos, y en el caso de existir algún tipo de irregularidad en cualquiera de los dos, se lo documentará.

3.3.4 Esclerométrico por Punto (ASTM C 805)

Estas pruebas se encargan de medir un índice de rebote mediante la aplicación del Martillo Schmidt el cual es colocado contra la estructura de hormigón armado, se lo presiona generando un impulso para para que la aguja quede en contacto directo con el elemento estructural y así, pueda llegar a medir el número de rebote del elemento, el que puede ser afectado mediante correlaciones para obtener la resistencia a la compresión. Su utilización se encuentra normado por la ASTM C 805 con el nombre de “Estándar Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”. (Donini, 2017, p.415)

Este es un ensayo no destructivo por lo cual se puede asegurar la integridad del elemento estructural, su costo en el mercado es económico, ya que con la adquisición del equipo correspondiente es posible realizar la cantidad de ensayos que se necesiten sin afectar la funcionalidad, resistencia o incluso estética del elemento; pero a pesar de presentar tantos

beneficios existen varias consideraciones en su uso que deben ser tomadas en cuenta como lo es la superficie de aplicación, es decir que su aplicación debe ser realizada únicamente en superficies lisas y completamente fundidas, también requiere de calibraciones previas a su utilización, y aun así, los resultados pueden variar dependido del punto de aplicación ya que este mecanismo únicamente mide la resistencia en los primeros 3 centímetros superficiales del elemento estructural. (Donini, 2017, p.415)

Los resultados de este ensayo pueden llegar a presentar alteraciones por algunas razones:

- En el caso que las varillas estén situadas cerca de la superficie del hormigón.
- Tipo de cemento utilizado.
- Dosificación usada para la obtención del cemento.
- Superficie del hormigón.
- Tipo de compactación realizada.
- Humedad que tiene en elemento, si este se encuentra húmedo los datos del esclerómetro se presentan más bajas de lo original.
- Huecos o fisuras en el interior del hormigón.

3.3.4.1 Equipo

El equipo consiste en una especie de martillo que posee una masa determinada cargada con un resorte el cual tiene una cantidad default de energía que se obtiene cuando el resorte llega una determinada colocación con la extensión del resorte a una posición fija, lo que

se consigue al comprimir el émbolo de la maquina presionando contra la superficie del hormigón. Al momento de ser soltado la masa rebota del émbolo estando aún en contacto con la superficie del hormigón. Lo que da como resultado la distancia que la masa recorre la cual se expresa como el porcentaje de la longitud inicial de extensión resorte y se denomina número de rebote.

Este martillo en las mejores condiciones es decir siendo usado por un operador con experiencia y con una calibración directa cuenta con una precisión de +- 10%, en el caso que no se realice una calibración contara con una precisión de +- 25%. Es por esta razón que no se lo usa para identificar su característica numérica en cuanto a la resistencia del concreto, pero para comprobar que el concreto de una determinada estructura posea resistencias similares, y en el caso que esto no ocurriera poder tomar medidas de estas incongruencias.



Ilustración 70. Equipo para el ensayo Esclerométrico por punto

3.3.4.2 Procedimientos

El equipo se basa en curvas de calibración para obtener la resistencia del hormigón, pero únicamente de las secciones superficiales del concreto. Es importante recordar que este ensayo no reemplaza al ensayo de compresión de núcleos.

1. Se realiza la calibración del equipo en la cual se obtiene que el factor de corrección corresponde a 1.03.
2. Se elige el elemento a ser ensayado, el cual debe tener al menos un espesor de 10 cm, debe estar completamente estable y firme.
3. De ser necesario frotar la superficie del elemento con una piedra pómez tomando en cuenta que el ensayo debe ser realizado siempre sobre una superficie completamente lisa.
4. Es recomendable determinar el número de rebote en algunas zonas con una separación mínima de 2.5 cm y en un área no mayor a 30x30 cm3
5. El embolo de la maquina debe estar siempre en posición perpendicular a la superficie de hormigón a ser ensayada, la posición afectará el número de rebote a obtener ya que la gravedad modificará el recorrido que tendrá la masa del equipo.
6. Se harán mínimo nueve disparos, se debe tomar nota de cada una de las lecturas

3.3.4.3 Interpretación de Resultados

Una vez obtenidas las lecturas, estas deberán ser corregidas con el uso de factores de corrección, los cuales serán el factor de corrección por calibración y por carbonatación,

en el caso del factor de corrección por calibración, se lo obtiene en base a 80 golpes en un yunque, y para el factor por carbonatación se lo obtendrá en el caso de haber realizado el ensayo de carbonatación a los elementos, pero como ya se explicó previamente la toma de muestra o la alteración de espacios dentro del teatro no fue posible, por esta razón no se aplicará este factor, ambos factores serán multiplicados por la lectura original que proporciona el martillo, lo que dará como resultado la Lectura corregida.

$$Lectura\ Corregida = Lectura * F.Correc * F.Carb$$

Ecuación 7. Lectura Corregida

Una vez corregida la lectura se utiliza el cuadro de resistencia a la compresión que se presenta a continuación, proporcionado por el fabricante donde se obtendrá la resistencia en MPa, para el resultado final se utilizará la media de las lecturas hechas como la resistencia de cada uno de los elementos, tanto en MPa como Kg/cm2.

0°		90°		-90°	
Valor de Rebote	**Resitencia MPA**	**Valor de Rebote**	**Resitencia MPA**	**Valor de Rebote**	**Resitencia MPA**
20	5.00	20	12.00	20	6.0
21	8.00	21	14.00	21	7.0
22	10.80	22	15.00	22	8.0
23	11.80	23	16.00	23	9.0
24	12.70	24	17.00	24	10.0
25	13.70	25	18.00	25	12.0
26	15.50	26	20.00	26	13.0
27	16.20	27	21.00	27	14.0
28	17.70	28	22.00	28	15.0
29	18.60	29	23.00	29	16.0
33	24.50	33	29.00	33	23.0
34	26.50	34	30.00	34	24.0
35	27.50	35	32.00	35	25.0
36	28.40	36	33.00	36	28.0
37	30.40	37	35.00	37	29.0
38	31.40	38	36.00	38	30.0
39	33.30	39	37.00	39	32.0
40	34.30	40	39.00	40	35.0
41	36.30	41	40.00	41	36.0
42	37.30	42	42.00	42	37.0
43	39.20	43	44.00	43	39.0
44	41.20	44	45.00	44	40.0
45	42.20	45	47.00	45	42.0
46	44.10	46	48.00	46	43.0
50	50.50	50	55.00	50	50.0

Ilustración 71. Correlación entre la lectura corregida y la resistencia del hormigón en el ensayo del esclerómetro
Fuente: Laboratorio de materiales de construcción PUCE

CAPÍTULO 4: Cálculos y Resultados (Diagnóstico y Tratamiento)

4.1 Análisis visual para Edificios de Carácter Patrimonial

4.1.1 Procedimiento

4.1.1.1 Planta Subsuelos:



Ilustración 72. Estado de las paredes con desportillamiento y grietas del salón de ensayos, Planta Subsuelos



Ilustración 73. Estado de la base de las paredes afectadas por humedad y con agujeros de separación entre la losa del suelo y la pared del salón de ensayos, Planta Subsuelos





Ilustración 74. Piso con protuberancias del salón de ensayos, Planta Subsuelos



Ilustración 75. Estado de pared del salón de ensayos afectada por desportillamiento y humedad, Planta Subsuelos



Ilustración 76. Estado de pared del salón de ensayos afectada por humedad, Planta Subsuelos



Ilustración 77. Estado de pared del salón de ensayos afectada por humedad, Planta Subsuelos



Ilustración 78. Vista de la plataforma móvil y de la bodega de instrumentos, Planta Subsuelos



Ilustración 79. Vista de la plataforma móvil y del cuarto de máquinas, Planta Subsuelos



Ilustración 80. Apertura del techo falso Planta Subsuelos



Ilustración 81. Losa en deck que da al piso superior, Piso Subsuelos



Ilustración 82. Losa en deck que da al piso superior, Piso Subsuelos



Ilustración 83. Pared junto a la entrada a la bodega de escenografía afectada por agujeros. Planta Subsuelos



Ilustración 84. Grietas que conforman la antigua estructura en mampostería del teatro. Planta Subsuelos



Ilustración 85. Elementos que conforman la antigua estructura en mampostería del teatro. Planta Subsuelos

4.1.1.2 Planta Luneta Baja:



Ilustración 86. Estructura mixta de madera y bloque. Planta Luneta Baja



Ilustración 87. Base de las columnas de madera. Planta Luneta Baja



Ilustración 88. Antiguas entradas al teatro experimental. Planta Luneta Baja

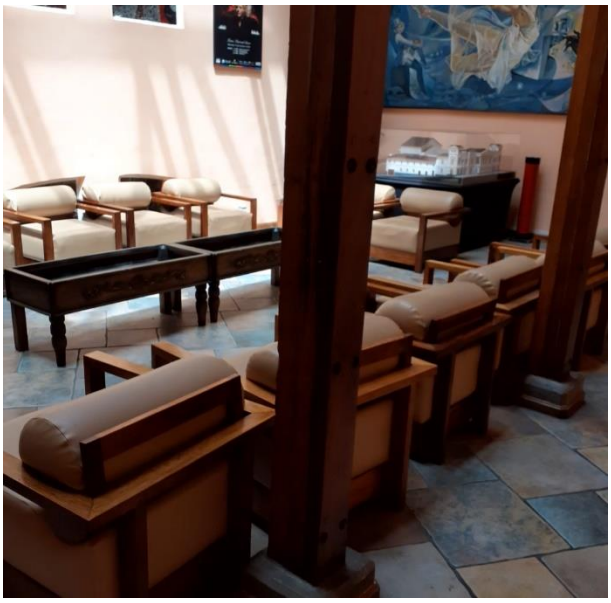


Ilustración 89. Sala de espera/VIP. Planta Luneta Baja



Ilustración 90. Presencia de humedad en paredes de Planta Luneta Baja



Ilustración 91. Cuarto de bombas de cisternas. Planta Luneta Baja

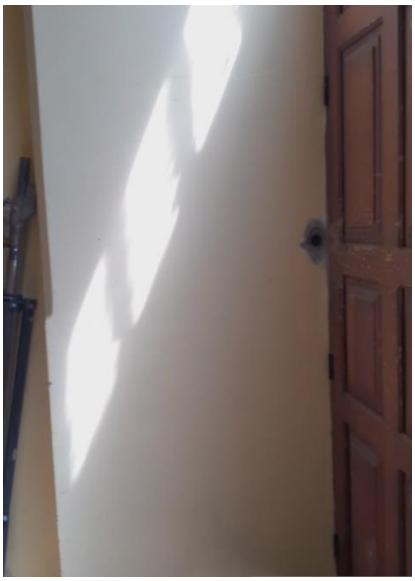




Ilustración 92. Columna en el acceso vehicular, donde su asume se tomó una muestra de hormigón para ensayos. Planta Luneta Baja



Ilustración 93. Acceso a cámara del generador. Planta Luneta Baja







Ilustración 94. Alcantarillado dentro del teatro para evitar inundaciones. Planta Luneta Baja



Ilustración 95. Presencia de humedad en las paredes. Planta Luneta Baja



Ilustración 96. Columnas dentro del escenario donde se hallan espacios para la colocación de cajetines. Planta Luneta Baja

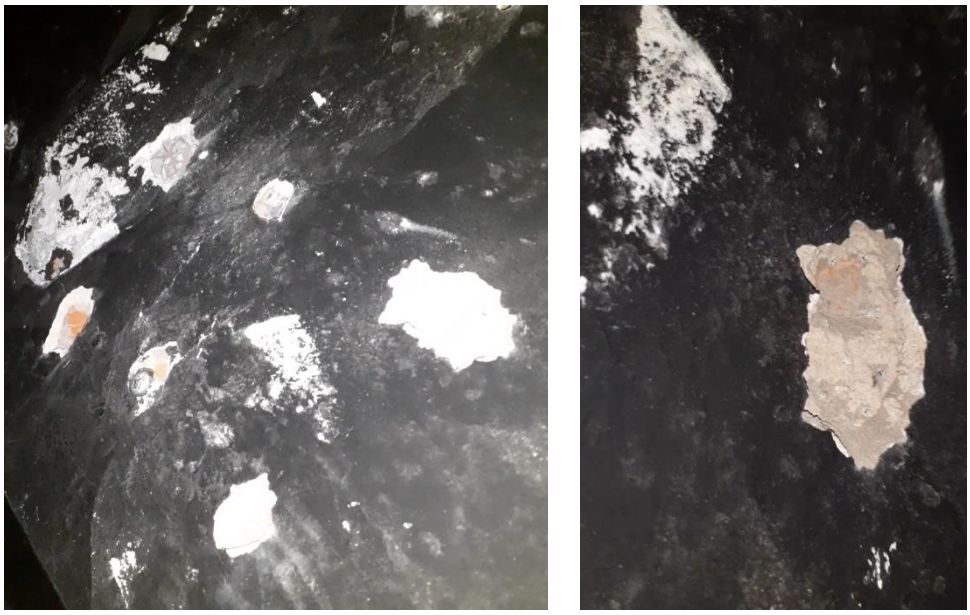


Ilustración 97. Huecos en las columnas del Escenario. Planta Luneta Baja



Ilustración 98. Huecos en las columnas del Escenario. Planta Luneta Baja



Ilustración 99.Huecos en las columnas del Escenario. Planta Luneta Baja



Ilustración 100. Huecos en las columnas del Escenario. Planta Luneta Baja



Ilustración 101. Columnas en la Platea las cuales sostienen a todos los palcos. Planta Luneta Baja



Ilustración 102. Entradas a los antiguos camerinos ubicados detrás del escenario. Planta Luneta Baja





Ilustración 103. Grietas y desprendimiento s en columnas originales, en el sector de entrada a luneta baja. Planta Luneta Baja

4.1.1.3 Planta Primera de Palcos:



Ilustración 104. Sección de la fundición del muro antiguo de mampostería con la estructura nueva de camerinos. Planta Primera de Palcos



Ilustración 105. Presencia de humedad en columna en los pasillos fuera de los palcos, parte de la estructura original del teatro. Planta Primera de Palcos



Ilustración 106. Presencia de humedad en columna en los pasillos fuera de los palcos, parte de la estructura original del teatro. Planta Primera de Palcos



Ilustración 107. Columnas en Palcos, elaboradas en acero, no hay sido cambiadas desde su creación, además existen separación de esta y la mampostería. Planta Primera de Palcos



Ilustración 108. Grietas en las losas superiores en palcos. Planta Primera de Palcos





Ilustración 109. Grietas en los elementos que forman la primera de palcos. Planta Primera de Palcos

4.1.1.4 Planta Segunda de Palcos:



Ilustración 110. Fisura en la losa superior. Planta Segunda de Palcos



Ilustración 111. Fisura en la pared de la sección de palco. Planta Segunda de Palcos



Ilustración 112. Unión de columnas de palcos a losa superior, donde se nota la pérdida de un perno. Planta Segunda de Palcos



Ilustración 113. Placa de unión de las columnas. Planta Segunda de Palcos



Ilustración 114. Piso en los palcos elaborado en madera.



Ilustración 115. Vestigio de las escaleras que dan a la Planta Luneta Alta. Planta Segunda de Palcos



Ilustración 116. Vestigio de las escaleras elaboradas en cabulla y madera. Planta Segunda de Palcos

4.1.1.5 Planta Luneta Alta



Ilustración 117. Presencia de cultivos biológicos en terraza



Ilustración 118. Eflorescencias en el hormigón en la parte interna de la cubierta del escenario

4.1.1.6 Otros

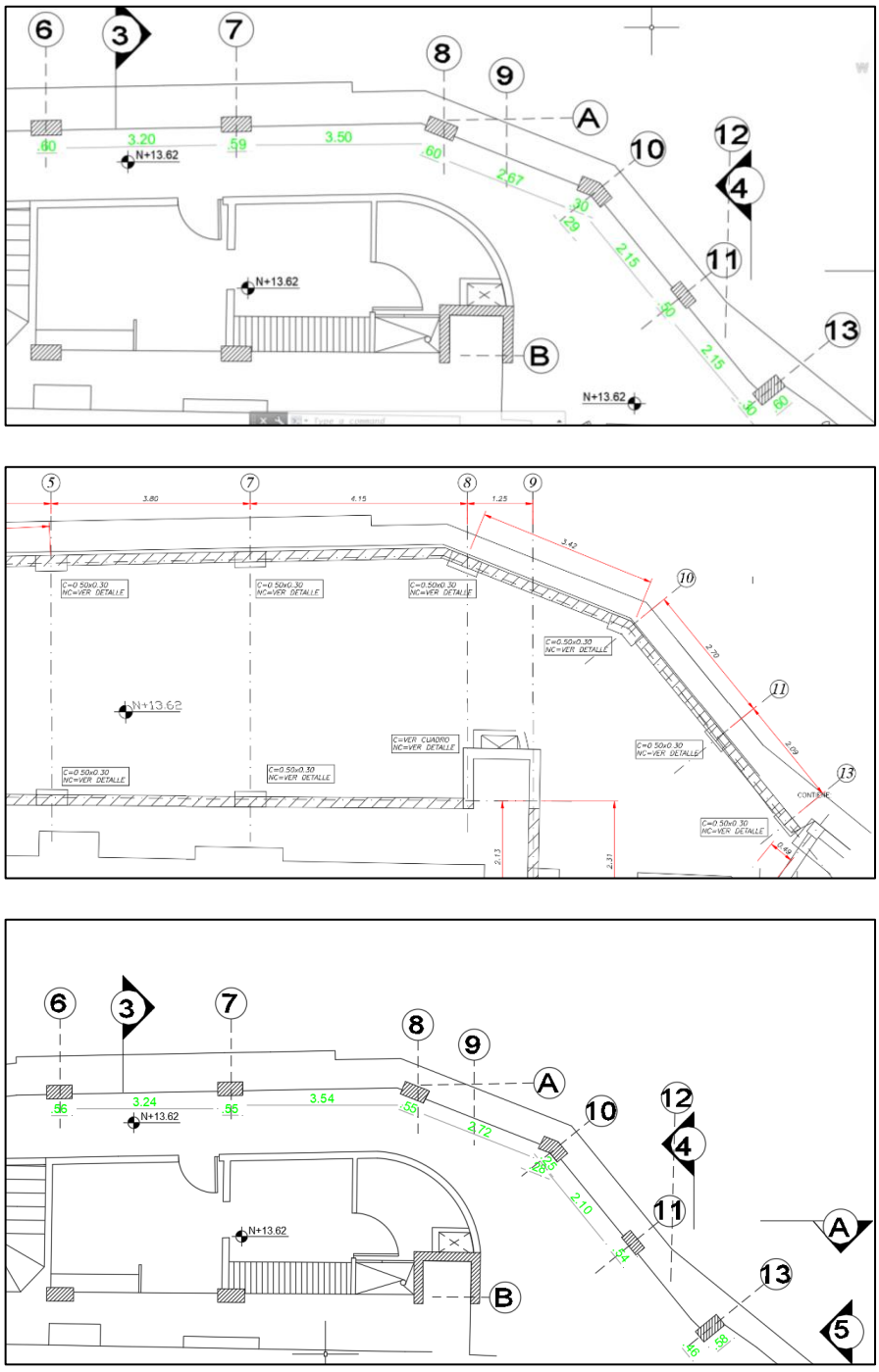


Ilustración 119. Variación de las medidas de las columnas en los diferentes planos y en la realidad (plano arquitectónico, plano estructural, medidas in situ)

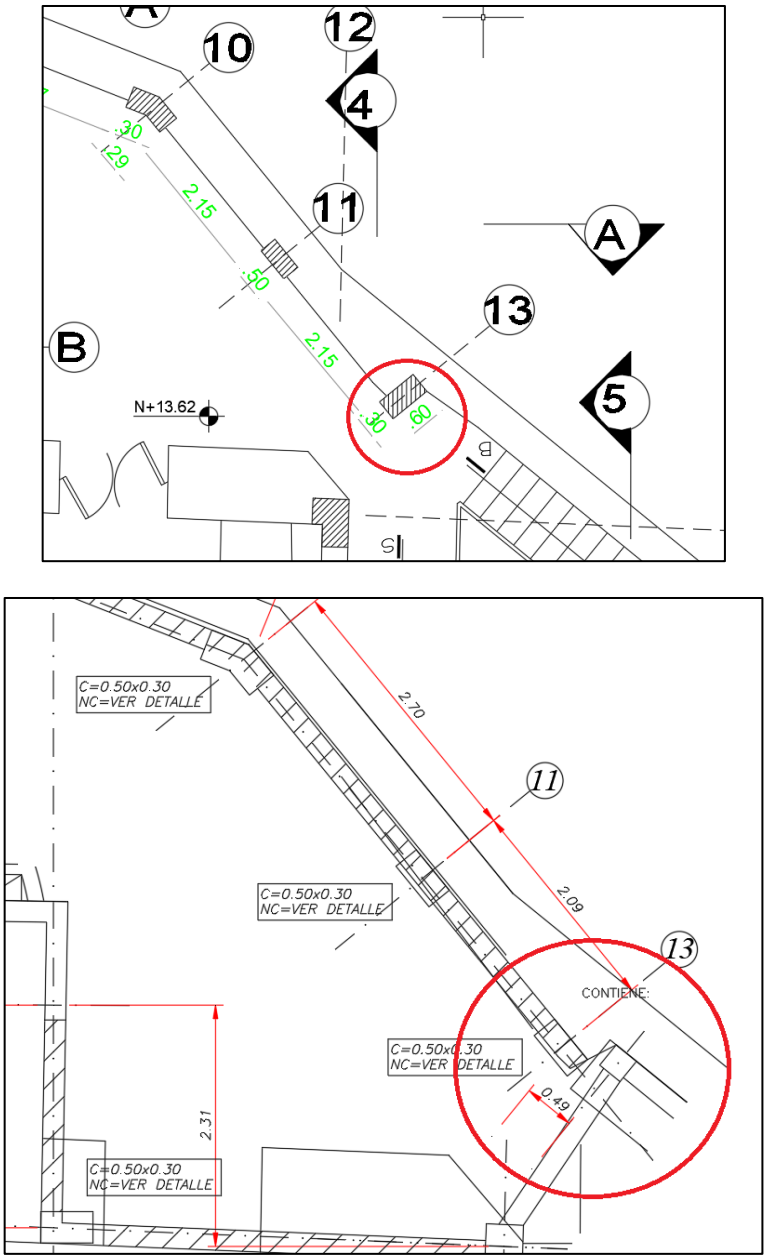


Ilustración 120. Diferente posición de la columna 13 en los diferentes planos (plano arquitectónico, plano estructural)

4.1.2 Resultados

Piso	Anomalía	Características	Ilust #	Importancia
Planta Subsuelos	Disgregaciones	Existe formación de fisuras, desprendimiento y desintegración del hormigón.	72 73 75	Moderado/Bajo Moderado/Bajo Moderado/Bajo
	Presencia de huecos	En las bases de las paredes en la unión con la losa del suelo existen agujeros que sugieren descaramiento por presencia de humedad.	73 83	Bajo Bajo
	Manchado/ Decoloración	Producido por humedad y acumulación de polvo.	73 75	Moderado/Bajo Moderado/Bajo
	Eflorescencias	La mayoría de las secciones del piso presenta eflorescencias en la parte inferior.	73 76 77	Bajo Bajo Moderado/Bajo
	Cultivos biológicos	Al tacto existen secciones donde se da presencia de hongos y moho.	73 77	Bajo Moderado/Bajo
	Dilatación de madera en suelos	Dentro de la sección denominada sala de ensayos a lo largo de la superficie del suelo que cuenta con madera como material directo, existen protuberancias a causa de la humedad presente en este piso, destacan dos protuberancias, en especial la primera con un alto de 6 cm y un ancho de 70cm y la segunda con un alto de 2 cm y un ancho de 62 cm.	74	Moderado

	Oxidación	Presencia de oxido en la plataforma móvil de la orquesta ubicado junto a la denominada sala de ensayos, esto se puede producir por presencia de humedad que es un factor común en la zona.	78 79	Moderado/Bajo Moderado/Bajo
	Fisuras	Presencia de fisuras en el elemento perteneciente a la cimentación original (mampostería), los cuales pueden haberse originado por movimiento durante la construcción de la nueva estructura del teatro.	84 85	Bajo Bajo
Planta Luneta Baja	Incompatibilidad de materiales	Se produce cuando existe la unión de diferentes materiales en la misma sección de una estructura, en este caso es la mezcla de elementos de madera tanto con la sección antigua de mampostería del teatro con la sección nueva de camerinos elaborada en hormigón armado.	86 89	Moderado/Alto Moderado/Alto
	Humedad	En zonas bajas de las paredes se ven protuberancias de la pintura y del elucido a causa de la humedad.	90 91 95	Bajo Bajo Bajo

	Hueco de extracción de muestras	En la primera pared a mano derecha entrando por el acceso vehicular se puede observar un hueco el cual según sus características geométricas parece ser producto de una toma de muestras para la realización de ensayos, a pesar de que en este sector no se puede observar algún tipo de armado y no se tienen planos estructurales que indiquen si este sector cuenta con hormigón armado o con mampostería recubierta.	92	Bajo
	Reciclado de elementos	En varios sectores del teatro se pueden encontrar entradas a los espacios antiguos con los que contaba la estructura, como es el caso del teatro experimental o la entrada a los antiguos camerinos detrás del escenario, lo que da como dato que estos elementos han sido reutilizados para la creación de los nuevos espacios y únicamente fueron sellados en sus entradas o ventanas.	88 102	Bajo Bajo
	Sistemas de alcantarillados	Se optó por la creación de un sistema de alcantarillado propio para la recolección de agua lluvia y freática, la cual se recolecta y se transporta al alcantarillado municipal, el teatro ha contado con varias emergencias de	94	Moderado/Bajo

		inundaciones, razón por la cual se decidió tomar esta medida.		
	Disgregaciones	Se presentan en las columnas ubicadas en el escenario, las cuales se encuentran elaboradas en mampostería y se encuentran recubiertas con hormigón, en más de una ocasión se mencionó que este recubrimiento era de hormigón armado, pero en las imagines en varias secciones se puede observar que no hay presencia de acero, es decir únicamente se tiene hormigón como recubrimiento, el cual se está disgregando y además existen pedazos faltantes de los ladrillos que se alcanzan a ver.	96 97 98 99 100	Moderado Moderado Moderado/Alto Moderado/Alto Moderado/Alto
	Fisuras y Disgregaciones	En las columnas ubicadas en la entrada a las butacas de luneta baja, al igual que las del escenario están constituidas por ladrillos en su interior y se encuentras recubiertas de hormigón armado, lo que se comprobará con los ensayos posteriores, la fisura aparece en la zona superior de la columna en donde se separa la columna y el adorno de arco unido a esta, en cuanto a la disgregación se puede ver en la parte	103	Moderado/Bajo

		inferior de la columna donde se observa los ladrillos que la conforman dentro.		
Planta Primera de Palcos	Mal fundición, vista de agregados y espacios con huecos	Se presenta en la sección donde se une al muro que rodea al teatro con el vestigio de la cimentación antigua, y de donde nace la nueva estructura de hormigón armado que alberga a los camerinos.	104	Bajo
	Hongos y Cultivos biológicos	En las columnas del corredor a la entrada de palcos, aquellas que son ortogonales de mampostería por dentro y recubiertas de hormigón existe la presencia de hongos blanquecinos.	105 106	Bajo/Moderado Bajo/Moderado
	Eflorescencias	También presentes en las columnas mencionadas previamente (las que son elaboradas en mampostería de la estructura antigua y recubiertas de hormigón y están ubicadas en los pasillos de entradas a los palcos).	105 106	Bajo/Moderado Bajo/Moderado
	Fisuras	Fisuras en las esquinas de las losas que corresponden al piso superior en la zona de palcos, no se puede determinar si estas forman parte únicamente del yeso, que es el material en el que se encuentran elaborados los adornos arquitectónicos o si estas fisura está afectando al material de mampostería	107 108 109	Bajo Bajo Bajo

		por dentro, para su determinación se deberá indagar retirando el material de recubrimiento.		
Planta Segunda de Palcos	Fisuras	Fisuras entre la losa del piso superior y en las paredes, estas últimas deberán ser investigadas para identificar si pertenecen a la pared o son solamente parte del enlucido.	110 111	Bajo Bajo
	Pérdida de elementos	En las placas de acero que unen las columnas de acero de los palcos a las losas superiores se puede observar la falta de pernos.	112	Bajo
	Incompatibilidad de materiales	El piso en los palcos está elaborado en madera, que se recubre con yeso, este sistema está unido a las paredes en mampostería antiguas del teatro, y además los balcones están soportados por columnas en acero, unidas mediante pernos y placas las losas tanto inferior como superior. Las escaleras que suben al último piso por la entrada a los palcos en la parte posterior cuentan con el vestigio de la escalera original del teatro elaborada en cabulla y madera, no se puede	114 115 116	Bajo/Moderado Bajo/Moderado Bajo/Moderado

		identificar el mecanismo de unión que estas tienen al resto de materiales y estructura.		
Planta Luneta Alta	Cultivos Biológicos	En las paredes y columnas de la terraza oeste, se puede apreciar una gran cantidad de cultivos biológicos, pequeñas plantas que se adhieren al hormigón y enlucido que tiene este lugar.	117	Moderado/Bajo
	Eflorescencias y Manchas de humedad	Eflorescencias y manchas en el hormigón en la parte interna de la cubierta del escenario.	118	Bajo/Moderado
Otros	Variación de medidas	Al comparar los planos estructurales con los planos arquitectónicos del teatro, ambos proporcionados por fuentes fidedignas previamente mencionadas, se puede identificar que las medidas que se presentan en ambos planos no coinciden las unas con las otras, para ello se evaluó las columnas que se encuentran a la vista en el corredor sur del teatro, en el plano arquitectónico se determinan medidas de 0,60 cm en sus lados más largos, mientras que en el caso del plano	119	Bajo/Moderado

		estructural se especifican que las columnas deberán tener medidas de 0,50 cm, además se toma la iniciativa de realizar una medición manual in situ donde se comprueba las medidas en los elementos del teatro no coinciden ni con los planos estructurales o los arquitectónico, teniendo medidas variables como se muestra en la imagen de 0,55 cm y 0,54 cm.		
	Variación de elemento en planos	Igual que en el caso anterior al comparar ambos planos salta la diferencia producida por la columna ubicada en el eje #13, ya que está en el plano estructural cuenta con una posición vertical, pero en el plano estructural será horizontal en comparación al plano de la pared, en la cual estará ubicada, ya in situ este elemento se encuentra ubicado como el plano arquitectónico lo indica y de igual manera como en el caso anterior esta no cuenta con las medidas especificadas en el plano, en el cual se describe que será de 0.50x0.30 cm, y en realidad las medidas tomadas fueron de 0.58x0.46 cm.	120	Bajo/Moderado

Tabla 12. Resultados del análisis visual

4.1.3 Diagnóstico y Tratamiento

El problema más grande y recurrente en toda la estructura del teatro es la incompatibilidad de materiales, es decir la manera en que la estructura central se une a las nuevas secciones del teatro, ya sea la unión con elementos de madera, acero, mampostería (ladrillos) u hormigón armado. Desde la perspectiva de un análisis estructural esto puede generar problemas en la forma que los materiales se comportan, especialmente cuando existen movimientos de la estructura considerando los diferentes modos de vibración que tendrán las secciones, lo cual se complementa con lo ya mencionado, la falta aparente de una junta constructiva la cual permitiría un mejor desempeño de las estructuras al verse afectadas por sismos o alteraciones de esa índole, ya que la junta permitirá que no existan golpes o roces entre elementos que puedan causar roturas o derrumbamientos.

La presencia de humedad es notable físicamente tanto en paredes y columnas, incluso llega a ser posible la identificación de olores o texturas causadas por la presencia de agua ya que al ingresar a algunos de los sectores afectados se puede distinguir el olor a húmedo tan característico, incluso el olor a estancamiento de aguas, así también como se observan en varias de las fotografías existe la presencia de eflorescencias, manchas, cambios de color y cultivos biológicos, lo cual es una clara demostración del efecto que tiene la humedad en la estructura; con respecto a esto será necesario realizar estudios a fondo, ya que puede ser que estas afectaciones únicamente estén a nivel de enlucido y pintura, pero en un escenario pesimista puede existir afectación del hormigón que a su vez puede llegar a afectar al acero de fuerzo generando corrosión y pérdida de resistencia.

Así también la presencia de fisuras y disgregaciones llama la atención principalmente en los balcones que conforman el área de palcos, lugar donde se pueden notar fácilmente la presencia de fisuras tanto en las paredes separadoras de espacios, en los elementos de arquitectura que adornan el lugar e incluso en las columnas ortogonales que se ubican en los pasillos de entrada, pero visualmente además de llamar la atención no se puede determinar mucho más, estas deberían ser estudiadas para poder determinar si son fisuras vivas o muertas, es decir si se encuentran en desarrollo o pararon ya de formarse, además de forma reiterante se menciona el realizar un estudio de si estas fisuras, para identificar si pertenecen únicamente a la parte exterior de los elementos es decir si las fisuras corresponden únicamente al enlucido o al yeso que se utiliza en la arquitectura, esto se lo realiza retirando el material o picando las zonas afectadas y viendo afectivamente si los elementos de mampostería están afectados, ya que como se especificará a continuación la presencia de fisuras en mampostería elimina cualquier tipo de resistencia del elemento, así resultará necesario diferenciar si las fisuras que se lleguen a encontrar ha sido generadas a flexión o a corte, para a partir de ello poder determinar cuál será la mejor solución a tomar.

Con esto se propone un tratamiento con pronóstico optimista de reparación/rehabilitación/reforzamiento, ya que primero deberán ser realizados estudios de inspección a los elementos antes de llegar a determinar que algo debería ser derrocado o reparado, realizando mantenimientos curativos y correctivos, se plantean estos ya que mediante la aplicación de este ensayo visual surge la duda de cuan graves son las

afectaciones vistas, y de si estas necesitan intervención, mas no se puede llegar a asegurar nada hasta que especialistas en el tema realicen estudios.

4.2 Ensayo de Ultrasonido (ASTM C 597)

4.2.1 Procedimiento



Ilustración 121. Aplicación Ultrasonido columnas 1-2-3



Ilustración 122. Aplicación Ultrasonido columnas 4-5-6

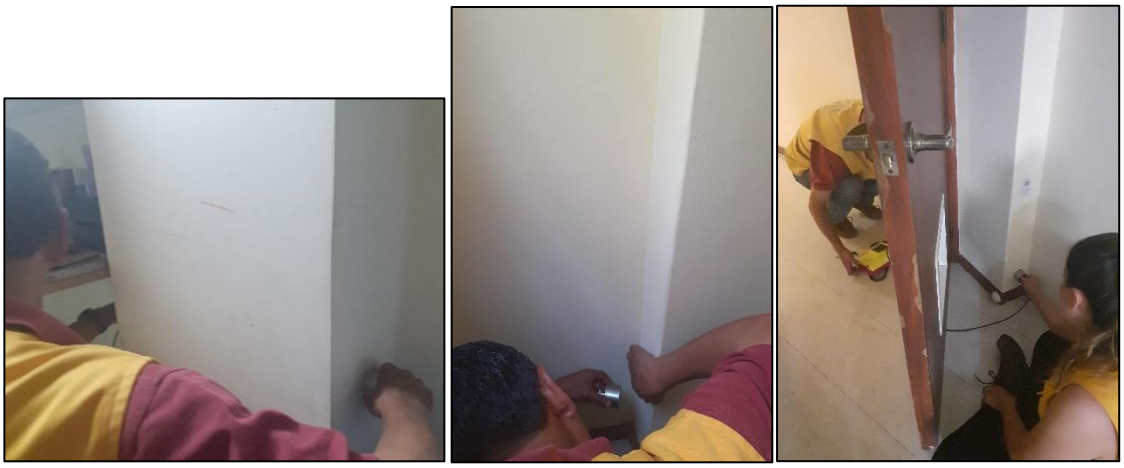


Ilustración 123. Aplicación Ultrasonido columnas 7-8-9

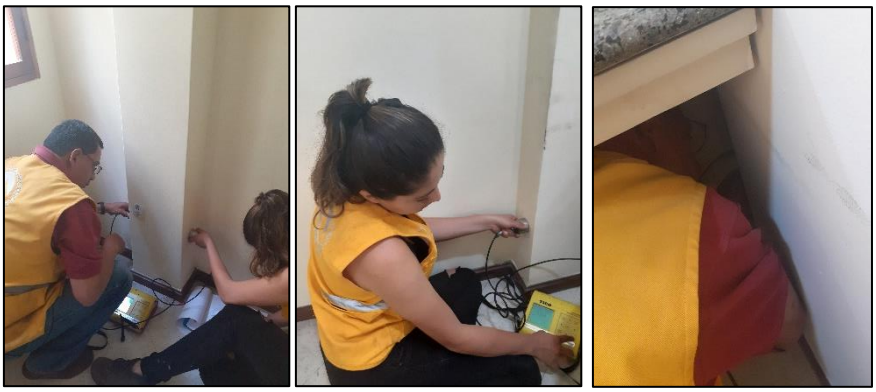


Ilustración 124. Aplicación Ultrasonido columnas 10-11-12

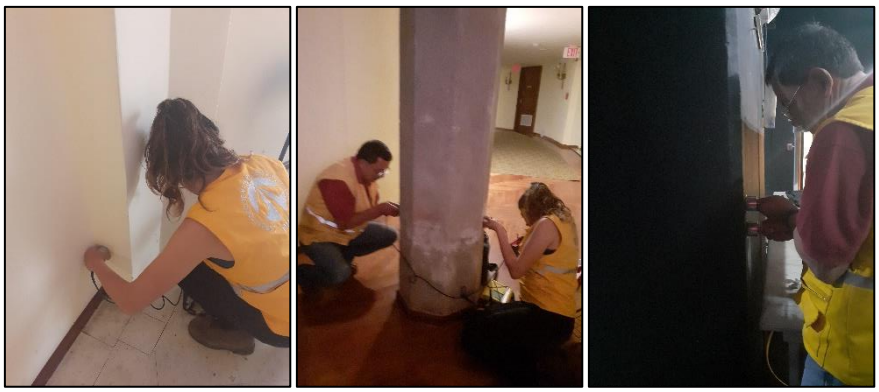


Ilustración 125. Aplicación Ultrasonido columnas 13-14-15

4.2.2 Cálculos y Resultados

PUNTO 1	**Elemento**		Columna 1					
	Descripción		A-4 Luneta Alta					
RECUBRIMIENTO	Si							
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie							
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros	
vd1	vd2	vd3						
3850	3390	3410	**3550**	50	Directa	Regular o Dudoso	Buena	

PUNTO 2	**Elemento**		Columna 2					
	Descripción		B-4 Luneta Alta					
RECUBRIMIENTO	Si							
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie							
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros	
vd1	vd2	vd3						
2840	2750	2490	**2693**	10	Indirecta	Pobre	Regular	

PUNTO 3	**Elemento**		Columna 3					
	Descripción		A-8 Luneta Alta					
RECUBRIMIENTO	Si							
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie							
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros	
vd1	vd2	vd3						
2740	2790	2630	**2720**	10	Indirecta	Pobre	Regular	

PUNTO 4	**Elemento**		Columna 4					
	Descripción		C-9 Luneta Alta					
RECUBRIMIENTO	Si							
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie							
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros	
vd1	vd2	vd3						
3440	3120	3450	**3337**	10	Indirecta	Regular o Dudoso	Buena	

PUNTO 5	**Elemento**		Columna 5					
	Descripción		C-12 Luneta Alta					
RECUBRIMIENTO	Si							
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie							
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros	
vd1	vd2	vd3						
4170	4410	4410	**4330**	10	Indirecta	Bueno	Buena	

PUNTO 6	Elemento	Columna 1					
	Descripción	B-2 2° de Palcos					
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			Velocidad Promedio (m/s)	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
4070	4090	3870	**4010**	10	Indirecta	Bueno	Buena

PUNTO 7	Elemento	Columna 2					
	Descripción	A-2 2° de Palcos					
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			Velocidad Promedio (m/s)	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
3210	3290	3290	**3263**	50	Directa	Regular o Dudoso	Buena

PUNTO 8	Elemento	Columna 3					
	Descripción	B-3 2° de Palcos					
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			Velocidad Promedio (m/s)	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
3350	3390	3410	**3383**	50	Directa	Regular o Dudoso	Buena

PUNTO 9	Elemento	Columna 1					
	Descripción	A-8 1° de Palcos					
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			Velocidad Promedio (m/s)	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
3140	3150	3150	**3147**	50	Directa	Regular o Dudoso	Buena

PUNTO 10	Elemento	Columna 2					
	Descripción	I-17 1° de Palcos					
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			Velocidad Promedio (m/s)	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
3150	3150	3220	**3173**	25	Directa	Regular o Dudoso	Buena

PUNTO 11	Elemento	Columna 3					
	Descripción	E-16 1° de Palcos					
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			Velocidad Promedio (m/s)	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
3230	3250	3270	**3250**	50	Directa	Regular o Dudoso	Buena

PUNTO 12	**Elemento**		Columna 1				
	Descripción		G-16 Subsuelo				
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
3130	3110	3090	**3110**	55	Directa	Regular o Dudoso	Buena

PUNTO 13	**Elemento**		Columna 1				
	Descripción		A-10 Luneta Baja				
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
3380	3400	3410	**3397**	50	Directa	Regular o Dudoso	Buena

PUNTO 14	**Elemento**		Columna 2				
	Descripción		N Luneta Baja				
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
2580	2570	2580	**2577**	48	Directa	Pobre	Regular

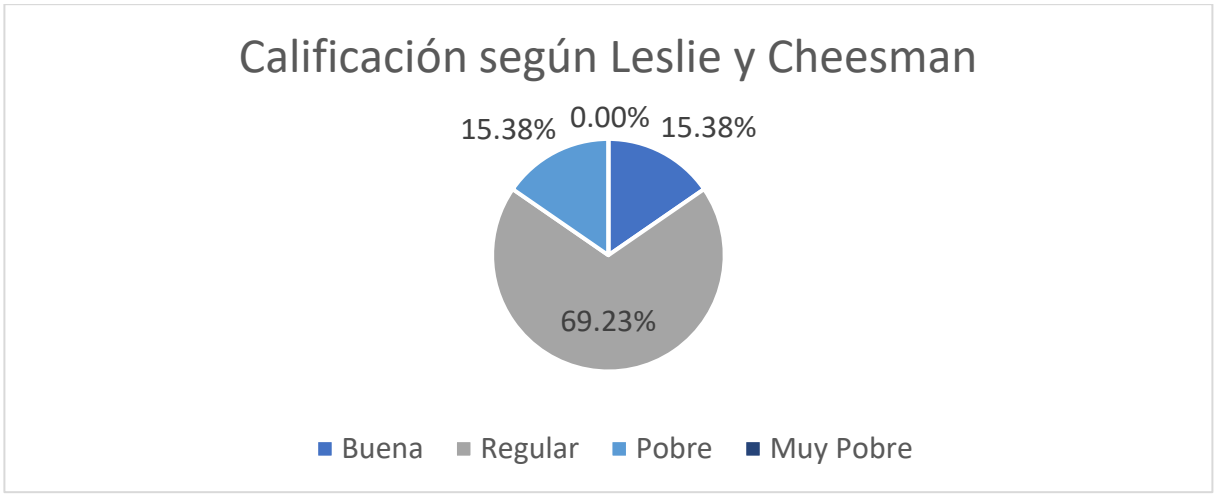
PUNTO 15	**Elemento**		Columna 3				
	Descripción		M Luneta Baja				
RECUBRIMIENTO	Si						
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie						
Lecturas de Velocidades (m/s)			**Velocidad Promedio (m/s)**	Distancia (m)	Tipo de Lectura	Calificacion según Leslie y Cheesman	Calificacion según Agraval y otros
vd1	vd2	vd3					
1905	1972	2080	**1986**	10	Indirecta	Muy Pobre	Pobre

Tabla 13 Resultados del Ensayo de Ultrasonido .

4.2.3 Diagnóstico y Tratamiento

Al analizar los resultados del ensayo de velocidad ultrasónica y al aplicar las tablas cualitativas de Leslie-Cheesman y de Agraval-Otros únicamente en las columnas que se tiene la seguridad que estan elaboradas en hormigón armado, es decir las 13 primera columnas ignorando a las columnas en el escenario y en los pasillos de ingreso al teatro las cuales se tiene entendido se encuentran encamisadas con hormigón armado, se obtiene con la primera tabla se un 15,38% de elementos en una buena condición, 69.23% en

regular, 15.38% en pobre y 0.00% en muy pobre, mientras que con la segunda tabla de comparación obtiene que el 84.62% de elementos ensayados poseen una calidad buena, 15.38% de ellos regular y 0,00% pobre.



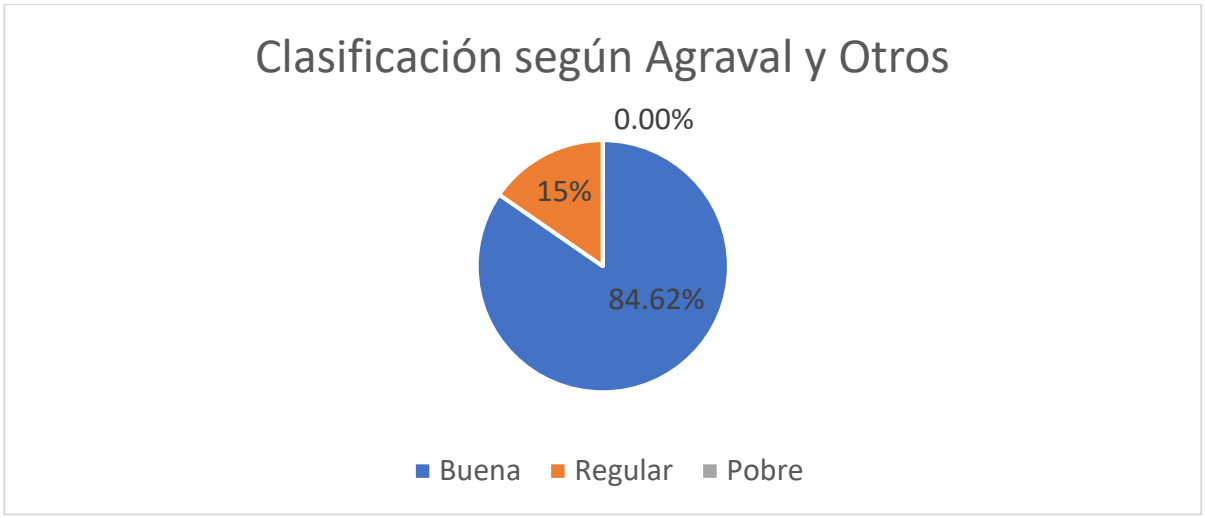


Ilustración 126. Resultados del Ensayo de Ultrasonido

Ya que en el primer caso el 69.23% de elementos tiene una condición regular y en el segundo caso el 84.62% tiene una condición buena, se demuestra que el hormigón posee

una calidad relativamente aceptable y que posiblemente presenta alteraciones en su composición interna, lo cual usualmente se produce por errores de tipo constructivas es decir, sea por un curado erróneo del elemento cuando este comenzaba a endurecerse o un vibrado deficiente durante la colocación del hormigón.

Una característica importante a resaltar es la comparación del elemento ensayado #3 con el elemento #9, ya que verticalmente estos corresponden a la misma columna, la A-8, con la única diferencia que el elemento #3 está ubicado en el último piso en Luneta Alta, en la terraza oeste del teatro y con una velocidad de ultrasonido de 2720 m/s, clasificado como pobre/regular, mientras que el elemento #9 forma parte del primer piso llamado primera de palcos, forma parte del camerino 6 y tiene una velocidad de ultrasonido de 3147 m/s, la que se clasifica como regular/buena; esta variación se puede presentar por diversos factores, como:, la construcción por etapas, ya que a pesar que las columnas en verticalidad no deberían presentar variaciones, la practica constructiva se la realiza por pisos o niveles, lo cual permite que se presenten variaciones en cuanto a la homogeneidad, resistencia, uniformidad, etc. entre los diferentes niveles de una misma columna e incluso en la misma columna, también esta variación se puede generar por la variación del contenido de humedad, por la presencia de alguna fisura interna, vacíos u otras imperfecciones.

De igual forma se identifican las columnas que presentan relativamente calificaciones más bajas la #2, la #3, la #14 y la #15, donde es importante considerar que estas dos últimas no pertenecen a la sección nueva del teatro así que se las debe juzgar por separado, pero

en el caso de las columnas #2 y #3 donde ambas presentan una calificación de pobre/regular y están ubicadas en las terrazas del teatro, la columna #2 tiene forma de C y la columna #3 es de tipo rectangular, lo cual es realidad no crea ningún correlación entre ambas más que el hecho que ambas fueron construidas en la última etapa al tratarse del último piso y que ambas están expuesta al medio ambiente, es decir no son columnas interiores.

Las columnas #14 con una calificación de pobre/regular y la columna #15 con muy pobre/pobre, son columnas con un núcleo de mampostería y supuestamente recubiertas en hormigón armado, es por ello que al realizar análisis y porcentajes de los resultados estas se ven excluidas ya que si se las tomara en cuenta el grupo de muestra se vería afectado ya que no cuentan con características físicas o mecánicas iguales.

Frente a este diagnóstico se puede determinar un pronóstico optimista de reparación/preservación y con un mantenimiento preventivo, ya que a pesar del uso de las tablas cualitativas de clasificación del hormigón, este ensayo no da como resultado a ciencia cierta lo que está sucediendo en los materiales estructurales, se basa principalmente en la continuidad que tiene el concreto en una misma estructura, en otras palabras con la aplicación únicamente de este ensayo no se puede determinar exactamente la calidad del material, sería necesario completarlo con extracción de probetas en las cuales se pueda realizar ensayos de compresión y la determinación del peso específico del material. Según los resultados obtenidos los materiales no presentan necesidad de intervención inmediata es por ello se aconseja un pronóstico de preservación, pero de

llegarse a aplicar ensayos más completos y complejos como extracción de probetas, resistencia a la compresión y determinación del módulo de elasticidad (ASTM 39 y ASTM C42), así dependiendo de los resultados y hallándose algún tipo de problema ya sea físico o químico, se recomienda un pronóstico de reparación con la aplicación de un mantenimiento preventivo.

Para esto se propone la aplicación de estudios referentes a la determinación de solicitaciones a las cuales se encuentra expuesto la estructura del teatro, es importante la determinación de estos para si poder realizar modelaciones e identificar si los elementos dentro del teatro tienen las características correspondientes para mantener su funcionalidad sin presentar deformaciones excesivas o pandeos, además estos podrían ser complementados con ensayos de vibraciones ambientales y ruidos, dado que se trata de la estructura de un teatro, junto con ensayos de calidades estructurales, los cuales ayudaran a determinar un análisis espectral, una optimización estructural y sistemas de aplicación de carga. (Vizconde, 2017)

4.3 Escaneo magnético (BS 1881 parte 204)

4.3.1 Procedimiento



Ilustración 127. Aplicación Escaneo Magnético Columnas 1-2-3



Ilustración 128. Aplicación Escaneo Magnético Columnas 4-5-6

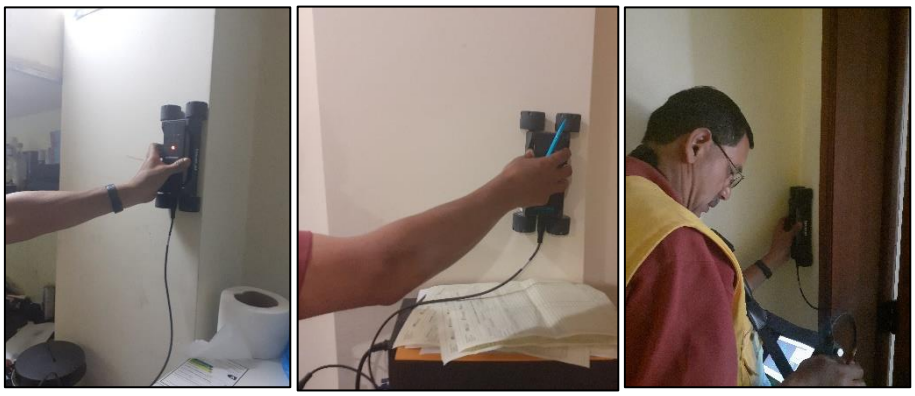


Ilustración 129. Aplicación Escaneo Magnético Columnas 7-8-9

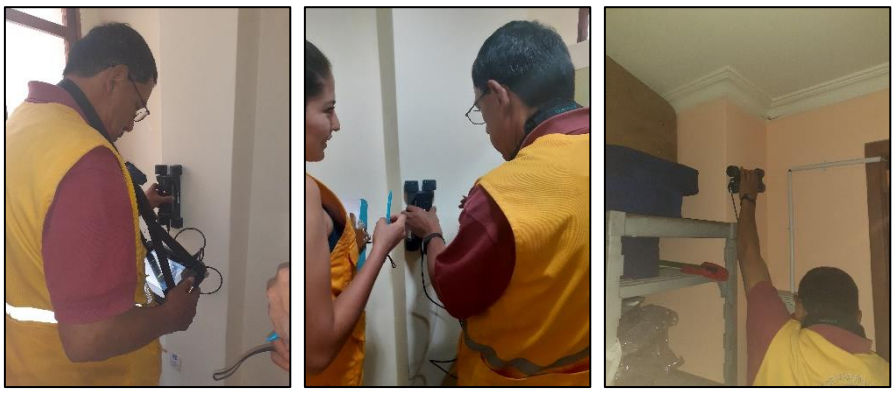


Ilustración 130. Aplicación Escaneo Magnético Columnas 10-11-12

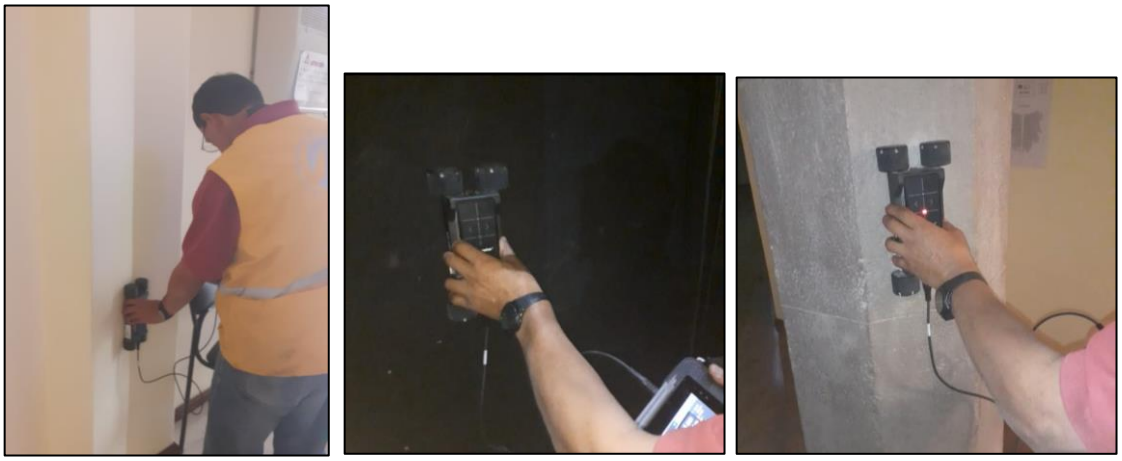
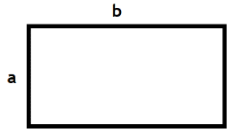


Ilustración 131.Aplicación Escaneo Magnético Columnas 13-14-15

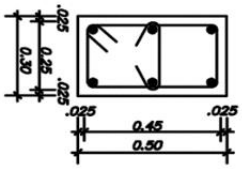
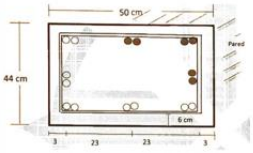
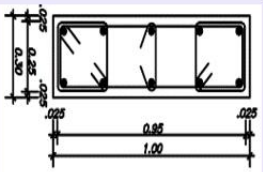
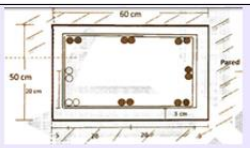
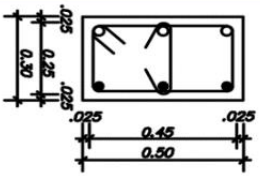
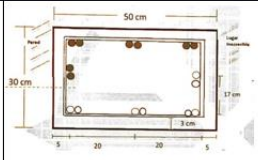
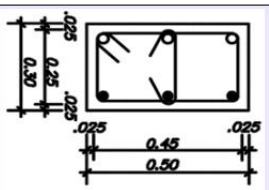
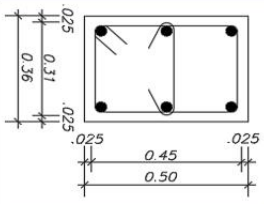
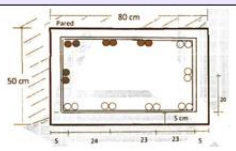
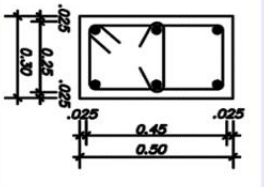
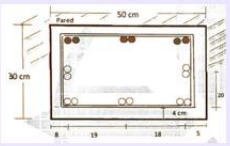
4.3.2 Cálculos y Resultados

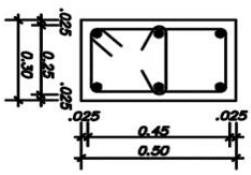
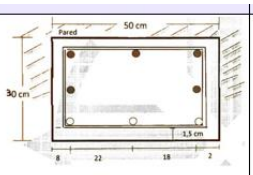
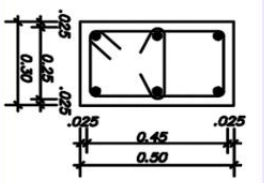
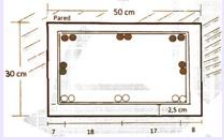
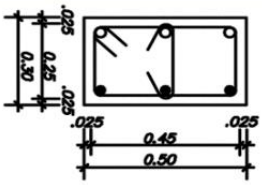
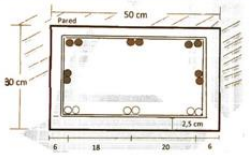
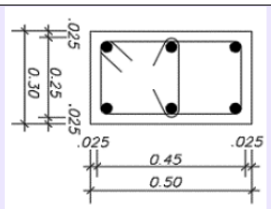
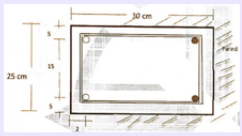
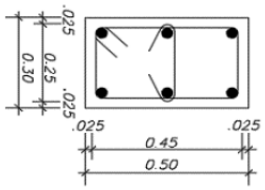
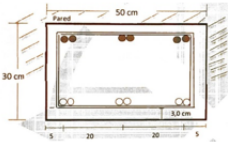
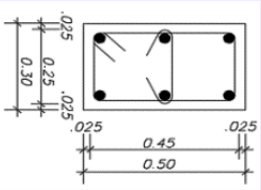
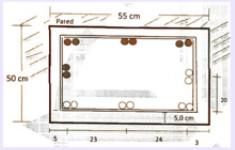
Se considera:



	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11	PUNTO 12	PUNTO 13	PUNTO 14	PUNTO 15
Elemento	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 1	Columna 1	Columna 2	Columna 3
Descripción	A-4 Luneta Alta	B-4 Luneta Alta	A-8 Luneta Alta	C-9 Luneta Alta	C-12 Luneta Alta	B-2 2° de Palcos	A-2 2° de Palcos	B-3 2° de Palcos	A-8 1° de Palcos	I-17 1° de Palcos	E-16 Subsuelo	G-16 Subsuelo	A-10 Luneta Baja	N Luneta Baja	M Luneta Baja
Recubrimiento	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Exposicion Elemento	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie
Φ Longitudinal (mm)	20	20	20	20	20	20	25	20	20	20	20	20	20	-	-
Φ Transversal (mm)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-	-
a (cm)	44.00	60.00	30.00	50.00	50.00	30.00	30.00	30.00	30.00	25.00	30.00	50.00	30.00	52.00	80.00
b (cm)	50.00	100.00	50.00	60.00	80.00	50.00	50.00	50.00	50.00	30.00	50.00	55.00	50.00	20.00	200.00
Recubrimiento en a (cm)	6.00	5.00	3.00	3.00	5.00	4.00	1.50	2.50	2.50	5.00	3.00	5.00	4.00	+ 10.00	-
Recubrimiento en b (cm)	3.00	3.00	5.00	5.00	5.00	8-5	8-2	7-8	6.00	2.00	5.00	5-3	10.00	+ 10.00	-
Espaciamiento varillas en a (cm)	-	-	17.00	20.00	20.00	20.00	-	-	-	15.00	-	20.00	-	-	-
Espaciamiento varillas en b (cm)	23.00	-	20.00	20.00	24-23-23	19-18	22-18	18-17	18-20	-	20.00	23-24	16-14	-	-
Altura Columna (m)	2.60	2.64	2.64	2.64	2.60	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.20	+ 5.00
Ubicación de Estribos	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.7 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.7 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.60 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.7 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.7 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.64 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 2.30 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.30 m a 2.64 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 2.3 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.30 m a 2.64 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 2.00 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.00 m a 2.60 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 1.80 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.80 m a 2.40 m	1 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 1 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 1.80 m 1 e Φ 12@10 cm de 1.80 m a 2.40 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 1.80 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.80 m a 2.40 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.8 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.8 m a 2.10 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.10 m a 2.40 m	1 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.7 m 1 e Φ 12@20 cm de 0.7 m a 1.70 m 1 e Φ 12@10 cm de 1.70 m a 2.40 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.40 m	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.40 m	1 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 2.40 m	1 e Φ 12@15 cm de 0.0 m a 2.20 m	-
Cumple con Plano Estructural	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	-	-
Condición del Armado comparando con los planos	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Sobredimensionado	Igual	-	-

Tabla 14. Resultados del Ensayo de Escaneo Magnético

#	NOMBRE	ESPECIFICACION EN PLANO ESTRUCTURAL		ESPECIFICACION EN ENSAYO DE ESCANEO MAGNÉTICO		
1	A-4		● 6 #18 Est. #10 a.15 Mc 25–45 Vin. #8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.7 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.7 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.60 m
2	B-4		● 10 #18 Est. #10 a.15 Mc 25–95 2 Est. #8 a.15 Mc 25–25 Vin. #8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.7 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.7 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.64 m
3	A-8		○ 3 #18 ● 3 #18 Est. #10 a.15 Mc 25–45 Vin. #8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 2.30 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.30 m a 2.64 m
4	C-9		○ 3 #18 ● 3 #18 Est. #10 a.15 Mc 25–45 Vin. #8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 2.3 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.30 m a 2.64 m
5	C-12		● 6 ø20 Est. ø10 a.15 Mc 31–45 Vin. ø8 a.15 Mc 31–5		20Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 2.00 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.00 m a 2.60 m
6	B-2		● 6 #18 Est. #10 a.15 Mc 25–45 Vin. #8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 1.80 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.80 m a 2.40 m

7	A-2		● 6 ø18 Est. ø10 a.15 Mc 25–45 Vin. ø8 a.15 Mc 25–5		8Φ25 Est. Φ 12	1 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 1 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 1.80 m 1 e Φ 12@10 cm de 1.80 m a 2.40 m
8	B-3		● 6 ø18 Est. ø10 a.15 Mc 25–45 Vin. ø8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.6 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.6 m a 1.80 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.80 m a 2.40 m
9	A-8		○ 3 ø18 ● 3 ø18 Est. ø10 a.15 Mc 25–45 Vin. ø8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.8 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.8 m a 2.10 m 2 e Φ 12@10 cm de 2.10 m a 2.40 m
10	I-17		● 6 ø18 Est. ø10 a.15 Mc 25–45 Vin. ø8 a.15 Mc 25–5		4Φ20 Est. Φ 12	1 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.7 m 1 e Φ 12@20 cm de 0.7 m a 1.70 m 1 e Φ 12@10 cm de 1.70 m a 2.40 m
11	E-16		● 6 ø18 Est. ø10 a.15 Mc 25–45 Vin. ø8 a.15 Mc 25–5		12Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.40 m
12	G-16		● 6 ø18 Est. ø10 a.15 Mc 25–45 Vin. ø8 a.15 Mc 25–5		16Φ20 Est. Φ 12	2 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 0.5 m 2 e Φ 12@20 cm de 0.5 m a 1.90 m 2 e Φ 12@10 cm de 1.90 m a 2.40 m

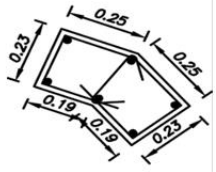
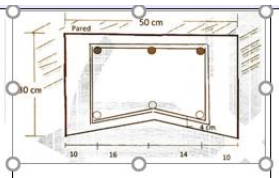
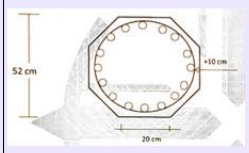
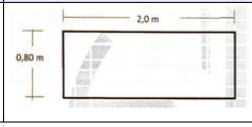
13	A-10		● 6 #18 Est. #10 a.15 Mc 25–30 Vin. #8 a.15 Mc 28–5		6Φ20 Est. Φ 12	1 e Φ 12@10 cm de 0.0 m a 2.40 m
14	M				16Φ- Est. Φ -	1 e Φ 12@15 cm de 0.0 m a 2.20 m
15	N				-	-

Tabla 15. Resultados del Ensayo de Escaneo Magnético con gráficos

4.3.3 Diagnóstico y Tratamiento

Para una mejor compresión de los resultados de este ensayo se recomienda la revisión de los anexos (Ver anexo 26 al 40).

Dentro de los resultados de este ensayo llama la atención algo curioso que muestra mucha incertidumbre, y es que prácticamente en todas las columnas ensayadas el diámetro (Φ) del refuerzo longitudinal da como resultado prácticamente el doble del valor que se especifica en los planos estructurales, es decir al realizar el ensayo se obtiene que los refuerzos longitudinales tienen un Φ40 y las transversales Φ12, lo cual en las hojas de resultados presentadas por el Laboratorio de Resistencia de Materiales de PUCE, se colocan como 2 varillas de Φ20 en cada lugar donde el escaneo magnético dio un diámetro de Φ40, en cuanto al refuerzo transversal en los planos se especifica un diámetro Φ10, valor que se admite como aceptable, además en la mayoría de los resultados se obtiene un

total de 8 grupos de varillas, mientras que en las especificaciones de los planos se puede ver que únicamente correspondería a 6 grupos de varillas.

Ante este resultado se presentaron dudas relacionadas con el equipo utilizado, en cuanto a su calibración y exactitud ya que se repite este patrón, pero algo curioso sucede con la columna #13 denominada A-10, ubicada en la planta de luneta baja, esta es una columna en forma de V la cual mantiene su verticalidad en todo la edificación, los resultados obtenidos con el escaneo magnético en esta columna son bastante similares a lo especificado en los planos la única diferencia que en el ensayo el refuerzo longitudinal tienen un diámetro Φ20 y el transversal un diámetro Φ12, mientras que el plano especifica en longitudinal Φ18 y en transversal Φ10, el cual es un error aceptable dentro de los parámetros considerados, dado que el escaneo magnético suele presentar resultados no tan exactos, estos pueden variar dependiendo de la presencia de algún elemento metálico dentro de los elementos, que no necesariamente sean las varillas de refuerzo o por el espesor de recubrimiento es decir la profundidad que tiene la varilla en la columna, similar característica sucede con la columna #7 y la columna #10 presentando resultados no exactamente iguales pero acatables dentro de los parámetros del ensayos (Ver Tabla 15).

En el caso de la columna #7 ubicada en el piso segunda del palcos, si se comparan los resultados, con los planos existen algunas semejanzas, la más notoria es que en esta el diámetro del refuerzo longitudinales es de Φ25 mas no Φ40 como da en el resto de la columnas y en el plano estructural se especifica un diámetro de Φ18; igual que en el caso anterior este error puede considerarse como aceptable considerando las características

mencionadas previamente, el valor del diámetro en el refuerzo trasversal es de Φ12 cuando en el plano se indica Φ10. La mayor diferencia es la identificación de 3 varillas en cada cara de la columna, cuando en el plano solo se colocan 3 varillas en las caras más grandes y 2 varillas en las caras menores, lo que resulta que la columna esté armada con un total de 8 varillas longitudinales y no con 6 como se presenta en el plano.

Las tres columnas mencionadas anteriormente levantan la mayor cantidad de preguntas y dudas sobre el ensayo, ya que estas muestran prácticamente la cantidad de varillas correctas, variando aceptablemente en el diámetro de los refuerzos, lo cual daría a sospechar que el resto de las columnas de hecho no se encuentran construidas con respecto a las especificaciones de los planos estructurales obtenidos. La duda en cuanto a este ensayo persiste cuando se considera que este fue realizado en dos diferentes días, previo a lo cual se realizó la respectiva calibración del equipo, por lo que existe una baja posibilidad que esta sea la razón de semejantes variaciones entre los resultados y los datos que se tienen del plano estructural.

Con este ensayo se puede finalmente determinar el hecho que la columna #15, llamada N y ubicada en luneta baja en el escenario no cuenta con ningún tipo de armado que el equipo pueda reconocer ni longitudinal o transversalmente, lo cual coincide con las fotografías de las disgregaciones y huecos en la parte baja de la misma en los cuales a pesar de su gran tamaño no se observa ningún tipo de refuerzo con varillas de acero, mientras que la columna #14, llamada M, que se ubica en la entrada a las butacas de luneta baja, la cual se supuso estaba en las mismas condiciones de la columna #15, es decir elaborada por

dentro en mampostería (ladrillo) y con un encamisado de hormigón armado por fuera, se logra comprobar que de hecho es así, los resultados del escaneo magnético muestran un armado circular con su respectivo refuerzo transversal, a pesar que no fue posible determinar el dinámetro de estos debido a al grosor del recubrimiento.

Si se llegan a tomar validos estos resultados, asumiendo que no hubo error por parte del equipo, la estructura se ve en duda ya que resultará que no se puede estar seguros de los planos estructurales que fueron proporcionado y que después de varias investigaciones son los únicos disponibles, siendo esta la razón por la cual se propone un pronóstico de tipo optimista en reparación con un mantenimiento correctivo, al denominarlo optimista, significa que no es necesario la amputación o demolición de elementos, más se los deberá reparar o corregir de ser necesario. Para determinar esto será necesario la aplicación de ensayos más a fondo como: pulso eco ultrasónico, termografías (ASTM D4788), GPR (ASTM D6087), sonido (ASTM D4580) o el más exacto de este tipo que será una gammagrafía la cual es similar al ensayo del mismo nombre usado en la medicina, con la diferencia que en vez de usar rayos X se utilizan rayos gamma que son producidos por elementos radiactivos obteniéndose imagines del interior de la muestra, con este ensayo se determinan las posiciones, diámetros y condiciones del armado, se identifican elementos extraños a la estructura y vacíos, demás se puede obtener información sobre la corrosión en las armaduras. (Lipa, 2018)

4.4 Esclerométrico por Punto (ASTM C 805)

4.4.1 Procedimiento



Ilustración 132. Aplicación Esclerómetro columnas 1-2-3



Ilustración 133. Aplicación Esclerómetro columnas 4-5-6

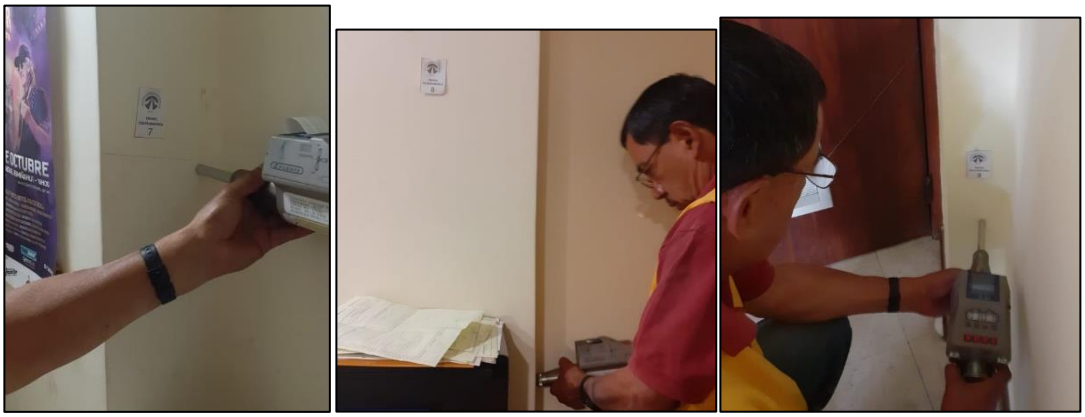


Ilustración 134. Aplicación Esclerómetro columnas 7-8-9



Ilustración 135. Aplicación Esclerómetro columnas 10-11-12



Ilustración 136. Aplicación Esclerómetro columnas 13-14-15

4.4.2 Cálculo y Resultados

PUNTO 1	Elemento	Columna 1								
	Descripción	A-4 Luneta Alta								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	36	35	36	38	36	39	36	39	39	36
Promedio de Lecturas	37									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	37.08	36.05	37.08	39.14	37.08	40.17	37.08	40.17	40.17	37.08
Resistencia Mpa	30.40	28.40	30.40	33.30	30.40	34.30	30.40	34.30	34.30	30.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**31.7**					**323**				

PUNTO 2	Elemento	Columna 2								
	Descripción	B-4 Luneta Alta								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	34	39	37	35	37	39	39	34	36	34
Promedio de Lecturas	36.4									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	35.02	40.17	38.11	36.05	38.11	40.17	40.17	35.02	37.08	35.02
Resistencia Mpa	27.50	34.30	31.40	28.40	31.40	34.30	34.30	27.50	30.40	27.50
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**30.7**					**313**				

PUNTO 3	Elemento	Columna 3								
	Descripción	A-8 Luneta Alta								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	38	34	35	38	33	39	37	37	35	37
Promedio de Lecturas	36.3									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	39.14	35.02	36.05	39.14	33.99	40.17	38.11	38.11	36.05	38.11
Resistencia Mpa	33.30	27.50	28.40	33.30	26.50	34.30	31.40	31.40	28.40	31.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**30.6**					**312**				

PUNTO 4	Elemento	Columna 4								
	Descripción	C-9 Luneta Alta								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	37	33	35	36	34	33	34	34	34	33
Promedio de Lecturas	34.3									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	38.11	33.99	36.05	37.08	35.02	33.99	35.02	35.02	35.02	33.99
Resistencia Mpa	31.40	26.50	28.40	30.40	27.50	26.50	27.50	27.50	27.50	26.50
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**28.0**					**285**				

PUNTO 5	Elemento	Columna 5								
	Descripción	C-12 Luneta Alta								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	38	34	34	38	34	38	36	37	36	35
Promedio de Lecturas	36									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	39.14	35.02	35.02	39.14	35.02	39.14	37.08	38.11	37.08	36.05
Resistencia Mpa	33.30	27.50	27.50	33.30	27.50	33.30	30.40	31.40	30.40	28.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**30.3**					**309**				

PUNTO 6	Elemento	Columna 1								
	Descripción	B-2 2° de Palcos								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	35	38	36	38	34	35	37	35	34	36
Promedio de Lecturas	35.8									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	36.05	39.14	37.08	39.14	35.02	36.05	38.11	36.05	35.02	37.08
Resistencia Mpa	28.40	33.30	30.40	33.30	27.50	28.40	31.40	28.40	27.50	30.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**29.9**					**305**				

PUNTO 7	Elemento	Columna 2								
	Descripción	A-2 2° de Palcos								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	35	38	35	35	38	34	35	37	33	36
Promedio de Lecturas	35.6									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	36.05	39.14	36.05	36.05	39.14	35.02	36.05	38.11	33.99	37.08
Resistencia Mpa	28.40	33.30	28.40	28.40	33.30	27.50	28.40	31.40	26.50	30.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**29.6**					**302**				

PUNTO 8	Elemento	Columna 3								
	Descripción	B-3 2° de Palcos								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	39	38	38	37	39	36	36	36	38	37
Promedio de Lecturas	37.4									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	40.17	39.14	39.14	38.11	40.17	37.08	37.08	37.08	39.14	38.11
Resistencia Mpa	34.30	33.30	33.30	31.40	34.30	30.40	30.40	30.40	33.30	31.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**32.3**					**329**				

PUNTO 9	Elemento	Columna 1								
	Descripción	A-8 1° de Palcos								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	34	32	34	32	33	33	32	32	33	31
Promedio de Lecturas	32.6									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	35.02	32.96	35.02	32.96	33.99	33.99	32.96	32.96	33.99	31.93
Resistencia Mpa	27.50	24.50	27.50	24.50	26.50	26.50	24.50	24.50	26.50	23.30
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**25.6**					**261**				

PUNTO 10	Elemento	Columna 2								
	Descripción	I-17 1° de Palcos								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	32	32	32	32	34	34	31	35	32	35
Promedio de Lecturas	32.9									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	32.96	32.96	32.96	32.96	35.02	35.02	31.93	36.05	32.96	36.05
Resistencia Mpa	24.50	24.50	24.50	24.50	27.50	27.50	23.30	28.40	24.50	28.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**25.8**					**263**				

PUNTO 11	Elemento	Columna 3								
	Descripción	E-16 1° de Palcos								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	32	32	33	33	34	34	33	33	33	33
Promedio de Lecturas	33									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	32.96	32.96	33.99	33.99	35.02	35.02	33.99	33.99	33.99	33.99
Resistencia Mpa	24.50	24.50	26.50	26.50	27.50	27.50	26.50	26.50	26.50	26.50
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**26.3**					**268**				

PUNTO 12	Elemento	Columna 1								
	Descripción	G-16 Subsuelo								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	39	39	33	38	38	35	36	32	39	35
Promedio de Lecturas	36.4									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	40.17	40.17	33.99	39.14	39.14	36.05	37.08	32.96	40.17	36.05
Resistencia Mpa	34.30	34.30	26.50	33.30	33.30	28.40	30.40	24.50	34.30	28.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**30.8**					**314**				

PUNTO 13	Elemento	Columna 1								
	Descripción	A-10 Luneta Baja								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	34	32	34	35	36	32	32	32	32	34
Promedio de Lecturas	33.3									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	35.02	32.96	35.02	36.05	37.08	32.96	32.96	32.96	32.96	35.02
Resistencia Mpa	27.50	24.50	27.50	28.40	30.40	24.50	24.50	24.50	24.50	27.50
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**26.4**					**269**				

PUNTO 14	Elemento	Columna 2								
	Descripción	N Luneta Baja								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	41	35	41	38	35	38	37	39	37	35
Promedio de Lecturas	37.6									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	42.23	36.05	42.23	39.14	36.05	39.14	38.11	40.17	38.11	36.05
Resistencia Mpa	37.30	28.40	37.30	33.30	28.40	33.30	31.40	34.30	31.40	28.40
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**32.4**					**330**				

PUNTO 15	Elemento	Columna 3								
	Descripción	M Luneta Baja								
RECUBRIMIENTO	Si									
EXPOSICION ELEMENTO	Intemperie									
ÁNGULO DE ENSAYO	0°									
Lectura de Rebote	27	29	30	31	28	28	31	33	31	27
Promedio de Lecturas	29.5									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030	1.030
Lectura Corregida	27.81	29.87	30.90	31.93	28.84	28.84	31.93	33.99	31.93	27.81
Resistencia Mpa	17.70	20.60	21.60	23.30	18.60	18.60	23.30	26.50	23.30	17.70
Resistencia Promedio (Mpa)/(kg/cm2)	**21.1**					**215**				

Tabla 16. Resultados del Ensayo Esclerométrico por Punto

4.4.3 Diagnóstico y Tratamiento

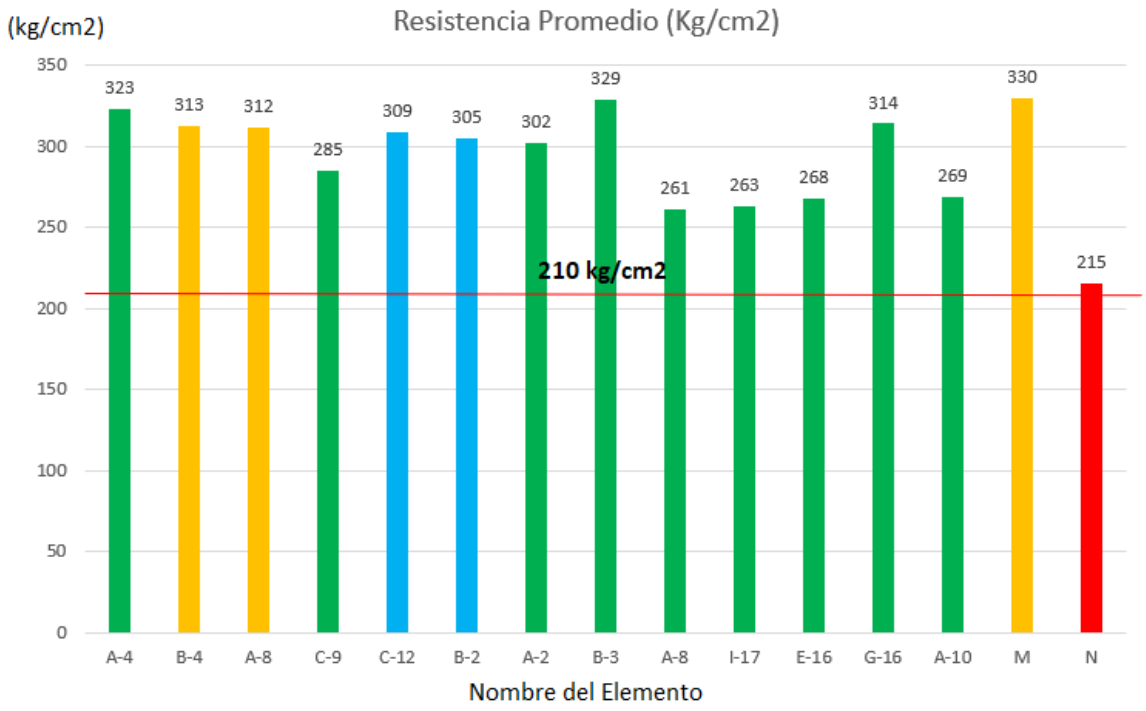


Ilustración 137. Resistencia Promedio obtenida con el ensayo esclerométrico junto con la interpretación de los resultados del ensayo de ultrasonido

Identificación del color	Clasificación de la calidad del hormigón Leslie y Cheesman	Evaluación de la calidad del hormigón Agraval y otros
	Excelente	-
	Buena	-
	Regular/Dudoso	Buena
	Pobre	Regular
	Muy Pobre	Pobre

Tabla 17. Identificación de colores

Los resultados dados por el ensayo esclerómetro se resumen en la gráfica anterior, donde además se genera una identificación mediante colores con los resultados del ensayo de ultrasonido, estos en su mayoría se encuentran en un valor de resistencia promedio de alrededor de 300 kg/cm2, específicamente su media es de 293.2 kg/cm2, del grupo de resultado se obtiene como valor máximo 330 kg/cm2 y como valor mínimo sin considerar la columna #15 que gracias al ensayo de escaneo magnético se muestra que esta no cuenta con armado, es decir corresponde a una columna elaborada en ladrillo y enlucida con hormigón simple, se obtiene un valor igual a 261 kg/cm2.

Si se considera lo especificado en los planos estructurales, el valor de la resistencia del hormigón utilizado debería ser de 210 kg/cm2 lo cual representaría una diferencia entre los resultados del ensayo y lo descrito en planos con una relación de 1.396. Según lo especificado en el código ACI 318 y en la NEC, el valor de mínimo de f’c (resistencia específica a la compresión), en elementos de tipo estructural no debe ser menor de 210 kg/cm2.

Como se nota en la tabla de resultados no se aplica ningún factor de carbonatación al número de esclerómetro obtenido ya que no fue posible la realización de este ensayo por lo que requiere la toma de muestras y no existía la posibilidad de alteración de espacios del teatro, pero de haberlo hecho se aplicaría un factor de corrección por carbonatación, ya que hay que considerar que el elemento se rigidiza al presentar esta patología, es decir cuando existe presencia de carbonatación este se vuelve más duro de lo que en realidad es.

Además como principal recordatorio cabe mencionar que al aplicar este ensayo su resultado no es el valor de la resistencia del elemento, ya que este es encontrado con el uso de correlaciones, es decir el esclerómetro principalmente lo que representa con sus resultados es la uniformidad del hormigón en el elemento estructural y la demostración de si la estructura en particular posee resistencias similares, para ello los números de rebote que se generan en este caso en las columnas no deberán tener una variación exagerada entre ellos, la variación aceptable suele están entre 6 y 7 dígitos entre el mayor valor y el menor valor. (Bedoya, 2010).

Si se juzgan estos resultados por sí solos se puede determinar que el hormigón presente en estos elementos posee una resistencia bastante buena, además de tener una uniformidad regular con características de igual manera regulares, pero como no es posible el asegurarlo únicamente con la aplicación de este ensayo se propone un tratamiento con pronóstico optimista de preservación con un mantenimiento preventivo, de forma que se deberán aplicar ensayos de extracción de probetas, carbonatación, resistencia a la compresión y determinación del módulo de elasticidad (ASTM 39 y ASTM C42), con lo cual se obtendrá un valor cuantitativo real y certero de la resistencia que tiene el hormigón, y así se podrá corroborar lo que se especifica en el plano estructural utilizado o si por el contrario el ensayo esclerométrico realizado en este documento representa las condiciones reales de la estructura.

Finalmente y para una mejor compresión se presenta una tabla donde se muestran un resumen de los resultados numéricos del ensayo de ultrasonido y del ensayo de

esclerómetro, además de la resistencia que se especifica en los planos, de esta manera se puede observar y comparar de mejor manera los resultados en función del elemento en análisis.

# Columna	Nombre General	Planta	Ensayo de Ultrasonido Calificación según Leslie y Cheesman	Ensayo de Ultrasonido Calificación según Agraval y otros	Esclerométrico por Punto Resistencia Promedio (kg/cm2)	Resistencia Especificada en planos (kg/cm2)
1	A-4	Luneta Alta	Regular o Dudoso	Buena	323	210
2	B-4	Luneta Alta	Pobre	Regular	313	210
3	A-8	Luneta Alta	Pobre	Regular	312	210
4	C-9	Luneta Alta	Regular o Dudoso	Buena	285	210
5	C-12	Luneta Alta	Bueno	Buena	309	210
6	B-2	2° de Palcos	Bueno	Buena	305	210
7	A-2	2° de Palcos	Regular o Dudoso	Buena	302	210
8	B-3	2° de Palcos	Regular o Dudoso	Buena	329	210
9	A-8	1° de Palcos	Regular o Dudoso	Buena	261	210
10	I-17	1° de Palcos	Regular o Dudoso	Buena	263	210
11	E-16	1° de Palcos	Regular o Dudoso	Buena	268	210
12	G-16	Subsuelos	Regular o Dudoso	Buena	314	210
13	A-10	Luneta Baja	Regular o Dudoso	Buena	269	210
14	N	Luneta Baja	Pobre	Regular	330	210
15	M	Luneta Baja	Muy Pobre	Pobre	215	210

Tabla 18. Tabla resumen de los resultados de los ensayos de ultrasonido y esclerométrico.

CAPÍTULO 5: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

a) Como se ha podido evidenciar presuntamente existen algunos problemas patológicos en los materiales que conforman la estructura del teatro Nacional Sucre, pero de forma general y puntual la unión de una estructura dúctil con una no dúctil es una de las principales patologías que se pueden encontrar en esta edificación. La mezcla de materiales, es decir la utilización de madera, acero, hormigón armado y mampostería en una misma estructura le resta seguridad; en la Escala Macro Sísmica Europea 1998 (EMS-98), la cual se utiliza como base para evaluaciones de intensidad sísmica en una estructura a nivel europeo, se identifica esta mezcla de materiales como un problema al momento en que una estructura enfrenta la fuerza de un sismo. Un ejemplo extra además de los ya mencionados al respecto de esta característica se encuentra al analizar las fotografías de la parte inicial de este escrito en la ilustración 8, fotografía 8 se ve la construcción de un elemento en acero, la cual no se logra identificar su ubicación, ya que no se tiene ninguna especificación de esta en los planos, lo que aporta aún más a este punto tan importante.

b) Según se indica en los planos estructurales (Ver anexos), se realizó un anclaje para unir la estructura antigua con la nueva lo cual causa ciertas dudas ya que si se toma en consideración la compatibilidad de deformaciones de ambas estructuras en este caso se estaría uniendo algo muy flexible como los antiguos elementos

estructurales en mampostería contra algo que no lo es cuando y en el momento que la parte flexible quiera separarse por algún fallo, vibraciones o por movimientos telúricos se producirá un arrancamiento. Como se menciona en la carta de Venecia al realizar algún tipo de trabajo en elementos o construcciones patrimoniales, la estructura patrimonial debe ser preservada bajo ciertos parámetros, siempre y cuando sea posible su mantenimiento sin realizar afectaciones grandes, caso contrario se buscará preservar la seguridad de los usuarios, para ello debería existir una separación entre los bloques nuevos y antiguos del teatro la cual se analizará considerando el desplazamiento máximo que tendrá la estructura flexible para que no se produzca algún impacto.

c) La mampostería como ya se mencionó es mucho más flexible que los elementos de hormigón armado, por lo cual se producen deformaciones de manera más fácil en comparación; las deformaciones dependiendo de su grado de actividad generan fisuras, y la presencia de fisuras en mampostería elimina la capacidad mecánica del elemento, especialmente en el caso de presentar fisuras de corte, por lo cual en estructuras que cuentan esencialmente con elementos de mampostería como su sistema estructural no se puede permitir tener ningún tipo de fisuramiento. Para esto se debería realizar una evaluación para determinar si las fisuras presentes en las secciones de palcos son fisuras que forman parte del enlucido/yeso o de la mampostería en realidad/material estructural, así la presencia de fisuras por cargas gravitacionales como se asumen que son las fisuras en la parte exterior de los

palcos puede resultar bastante preocupantes de llegar a estar afectadas también la mampostería y no solo los recubrimientos arquitectónicos, ya que eso significa que la estructura tiene problemas incluso sosteniendo su propio peso y las solicitaciones para las que fue construida. De no ser así se debería tomar en consideración la reparación de estas fisuras ya que aunque no llegaran a afectar a la estructura, generan un gran sentimiento de inseguridad en los usuarios.

d) Es importante considerar que existe presencia de agua o humedad en todas las zonas y pisos del teatro, pero su existencia en las zonas donde se encuentran elementos de mampostería es preocupante ya que si estos elementos se llegan a humedecer lo suficiente la presión de poros desaparece y se producirán disgregaciones, lo que podría llegar a ser muy probable debido a los problemas de humedades que tiene el teatro considerando que este fue construido muy cera de ojos de agua; en estructuras de baja ductilidad la humedad es uno de los problemas más grandes. De ser este el caso se deberán tomar medidas como las explicadas en el diagnóstico y tratamiento de la sección del análisis visual, las cuales buscan preservar la vida útil del teatro y sobre todo la seguridad y funcionalidad de este.

e) Irregularidades y diferencias entre planos arquitectónicos y estructurales suelen considerarse común en nuestro medio, pero a decir verdad es algo que a nivel técnico y profesional no se debería generar, y principalmente cuando se trata de los planos pertenecientes a un lugar considerado parte del patrimonio cultural del país, pero de existir variaciones entre el plano estructural y lo construido genera

un conflicto mucho mayor ya que los planos estructurales no fueron cumplidos lo cual representaría una irresponsabilidad profesional por parte de los involucrados, en este caso se deberían considerarse la aplicación de ensayos para una comprobación.

f) En los planos estructurales se puede identificar que alrededor del teatro se especifica la existencia de un muro armado, pero si se observa la ilustración 8, fotografía 6 se puede ver que no se trata de un muro armado en realidad, ya que se observa únicamente un entramillado de aceros con hormigón colocado por encima, y para que este sea un muro de hormigón armado se debe tener esfuerzo longitudinal, ya que no cuenta con estas características se puede mencionar que este es un muro de enlucido únicamente, de ser el caso, además si efectivamente este es un muro de hormigón armado debería contar con su propia cimentación, resistiendo de gran manera a corte, caso contrario no es de ninguna forma un elemento estructural, se debería realizar una investigación al respecto ya que incluso en los planos estructurales no se pueden encontrar especificaciones técnica sobre su armado.

g) Durante el tiempo que tomo la realización de este documento persistió la duda de si las columnas en el escenario y en las zonas delanteras del teatro, es decir si las columnas “originales” contaban con un recubrimiento de hormigón armado como se tenía entendido, y después de este estudio se identifica que las columnas en el escenario no cuentan con tal, es decir únicamente se cuentan enlucidas con

hormigón simple, no tienen ningún tipo de resistencia adicional más que la de la mampostería que está dentro, la que incluso se ve facturada en varias de las fotografías de la inspección visual, razón por la cual se obtienen resultados peculiares en los ensayos, es decir en el ultrasonido se tiene una calidad muy pobre según Leslie-Cheesman y pobre de acuerdo a Agraval, en el escaneo magnético no se encuentra ningún tipo de armado y en el esclerómetro se obtiene una resistencia de 215 kg/cm2 la cual es considerablemente baja en comparación con el resto de resultados, mientras que la columnas en los pasillos de ingreso según los resultados de los ensayos se la ve relativamente en buen estado ya que mediante el ultrasonido se obtiene una calidad pobre y regular según Leslie-Cheesman y Agraval respectivamente, está armada como una columna circular a pesar que no se logró determinar el diámetro de las varillas y tiene una valor de f'c de 330 kg/cm2 según el ensayo de esclerómetro por punto.

h) Los resultados obtenidos en el ensayo de velocidad del pulso ultrasónico, no determinan fielmente la calidad del hormigón en la estructura, a pesar que según Leslie-Cheesman un 69.23% de los elementos ensayado tienen una condición regular y según Agraval el 84.62% de elementos tiene una calidad buena, se considera que para que este ensayo pueda llegar a ser reproducible y que se base esencialmente en las características y propiedades del hormigón ensayado, se deben considerar algunos factores que causen influencia y las correlaciones existentes con varias propiedades físicas del concreto, además para asegurar su

calidad estas deberán ser complementadas con la extracción de núcleos y ensayos de compresión, obteniendo valores reales de la calidad del material, es decir la calidad del concreto debe ser evaluada de forma particular y no de forma general.

i) En el ensayo de escaneo magnético surgen algunas dudas por lo que deberán ser aplicados ensayos exhaustivos en los que se pueda determinar a ciencia cierta lo que sucede con el armado de las columnas, ya que con los datos hallados se estima que un 20% de los elementos posiblemente si cumplen con los planos, mientras que el resto presenta dudas de si lo hace o no.

j) Con respecto al ensayo esclerométrico se obtuvieron resistencias que oscilan entre 330 kg/cm2 y 261 kg/cm2, con una media de 293.2 kg/cm2, lo cual por si solo muestra una buena resistencia del hormigón, pero al igual que el resto de ensayos no destructivos, los resultados puede ser poco exactos, lo que sí se puede concluir con el uso de este ensayo es que el hormigón en cada una de las columnas presenta una uniformidad adecuada, y de manera general el hormigón dentro de esta estructura presenta un grado de similitud bueno, al igual que en el ensayo de ultrasonido este deberá ser completado con ensayos de compresión en probetas para poder determinar un factor de correlación entre los resultados de resistencia con el esclerómetro y la resistencia mediante compresión, además con estos se podrá identificar si de hecho el hormigón cumple con la especificación de f’c 210 kg/cm2 descrita en los planos estructurales.

k) En cuanto a la hipótesis planteada se concluye que esta es aceptada. Los resultados obtenidos demuestran la presencia de diversas patologías relacionadas con la presencia de agua y humedades, con la utilización de diversos materiales a lo largo de la estructura, con la calidad y homogeneidad del hormigón y sus similares y con los procesos constructivos que se llevaron a cabo, lo cual se evidencia en la presencia de fisuras, manchas, disgregaciones, fluorescencias, resultados cualitativos hallados, en la comparación con planos, etc. Pero no se puede determinar el grado de afectación de estas de una manera exacta, ya que resulta necesaria la aplicación de ensayos más complejos y completos previamente explicados que brinden información cuantitativa, para poder realizar una interpretación acertada de los mismos.

5.2 Recomendaciones

a) A quien competa la realización de planos, se deberá realizar una corrección y estudio de los planos existentes, además de la creación de planos as build geométricos utilizando 2D y 3D, donde se pueda obtener las medidas reales de los espacios y elementos que conforman el teatro de forma más rápida y sencilla, además se recomienda la colocación de coordenadas en los puntos exteriores de la edificación para así poder tener una identificación de lugares y referencias.

b) Se deberá realizar una evaluación de vulnerabilidad sísmica del teatro dado las circunstancias del país, para esto se recomienda el uso de normativas visuales como la AS 4117 o el MS 98

c) Desde su última intervención han pasado casi 17 años en los cuales las tecnologías de conocimientos en reforzamiento estructural y de intervención en edificios patrimoniales ha aumentado por lo que se debería comenzar a realizar estudios básicos que lleven, de ser necesario, a una intervención de nivel técnico superior.

d) Al considerar los ensayos con equipos existe una característica importante, y es que en realidad las pruebas no poseen una interpretación clara y concisa si son analizadas por sí solas, por lo que deben ser interpretadas conforme a la experiencia.

e) En el ensayo de ultrasonido, la utilización de la tabla cualitativa por parte de Leslie-Cheesman, se advierte que esta fue establecida originalmente sobre la base de pruebas de concreto normal con una densidad aproximada de 2400 kg/m3, pero

que en la actualidad esta característica suele ser pasada por alto y se procede a utilizarla como una tabla universal.

f) Los resultados presentados se recomiendan que sean utilizados como una guía para la realización de posteriores estudios patológicos en el teatro, mas no como una declaración del estado del estado real del teatro, es importante recordar que estos tienen una calidad de cualitativos y para un correcto diagnostico deberán ser complementados con ensayos cuantitativos.

g) Es importante la realización de un análisis de costos vs. beneficio, para así poder determinar la mejor solución para los problemas que se llegasen a presentar, considerando tanto el área constructiva y económica, además parar ello se recomienda la realización de un plan de inspección donde se detalle los procedimientos a seguir para poder verificar que cada uno de estos se cumpla, siendo necesario que los estudios y posibles tratamientos tengan un link con las tendencias, técnicas, equipo y materiales de última generación.

BIBLIOGRAFÍA

Alemán , Á., Escandón, P., Freire, S., Guerrero, P., Márquez, D., & Mora, G. (2012). *Tomo 1: Sube el Telón.* Quito: Fundación Teatro Nacional Sucre.

Bedoya, R. (2010). *Evaluación Patológica del Edificio de la Policía Nacional Ubicado en las Calles Jorge Drom y Unión Nacional de Periodistas, en la Ciudad de Quito.* Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Bolaños, G. (. de . de 2001). *Memoria Técnica del Levantamiento Planialtimetrico del Teatro Nacional Sucre*. Obtenido de Arqcustic: http://www.arqcustic.com/wp-content/uploads/2016/12/MEMORIA-E.-ACT-TEATRO-NACIONAL-SUCRE-1991.pdf

Bolaños, J. G. (1 de Diciembre de 2016). *Teatro Nacional Sucre, La Historia No Contada*. Obtenido de Arqcustic: http://www.arqcustic.com/2016/12/01/teatro-nacional-sucre-la-historia-no-contada/

British Standard. (BS 1881 : Part 204 : 1988). (BS). *Testing concrete Part 204. Recommendations on the use*.

Courard, L., Guillard, A., Bleus, J., & Paquet, P. (2012). Pathologies of concrete in Saint-Vincent Neo-Byzantine Church and Pauchot reinforced artificial stone. *Construction and Building Materials*, 201-210.

Ferreira, T., Vicente, R., & Mendes da Silva, J. (2014). As Fichas de Inspecção e Registo Como Ferramenta Privilegiada no Precesso de Avaliação e Diagnóstico do Edificado Antigo. *REHABEND*, -.

Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultura, F. (2003). *Teatro Nacional Sucre.* Quito: Trama ediciones.

II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, V. 1. (1965). Carta Internacional Sobre la Conservacion y la Restauracion de Monumentos y Sitios (Carta de Venecia 1964). *ICOMOS*, 4.

León, J. (2014). *Evaluacion del Proceso de Daño y Deterioro Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras Mediante Técnicas Acústicas.* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Lipa, L. (2018). *Metodología parala Detección de Vacíos en Muros de Concreto Armado por MEdio del Pulso Ultrasónico.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Lopez, F. (2004). *Manual de Patología de la Edificación.* Madrir: Universidad Politécnica de Madrir.

Meza, C. (12 de 08 de 2011). *Patologías de la Construcción (Porcentual de Patologías - Ley de Sitter).* Obtenido de Ferozo: http://cj000528.ferozo.com/catedrapatologia/CLASE1CRISTINAsitter.pdf

Murillo, R. (18 de Marzo de 2019). 1era visita el Teatro Nacional Sucre. (D. V. C., Entrevistador)

Pazos, C. (2018). *Determinacón del Grado de Deterioro Producido por la Acción del Clima en Diferentes Materiales de Construcción Utilizados en Edificaciones de la Ciudad de Quito.* Quito: PUCE - Facultad de Ingeniería - Escuela de Civil.

Raigosa, E. (2010). *Técnicas de Reforzamiento de Estructuras Construidas de Concreto que Presentan Deficiencias Estructurales.* Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Ramérez, J. L. (2014). *Evaluación del Proceso de Daño y Deterioro Mecánico del Concreto Reforzado con Fibras Mediante Técnicas Acústicas.* Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.

Romeu, V., Ferreira, M., & Mendes da Silva, R. (2014). Supporting urban regeneration and building refurbishment. Strategies for building appraisal and inspection of old building stock in city centres. *Journal of Cultural Heritage*, -.

Sánchez de Guzmán, D. (2006). *Durabilidad y Patología del Concreto.* Bogotá: Instituto del Concreto.

Tatì, A. (2017). *Pruebas no destructivas sobre estructuras en concreto armado, mampostería y materiales pétreos.* Jalisco: Laboratorio di Qualificazione Materiali e Componenti ENEA C.R. Casaccia SSPT USER SITEC.

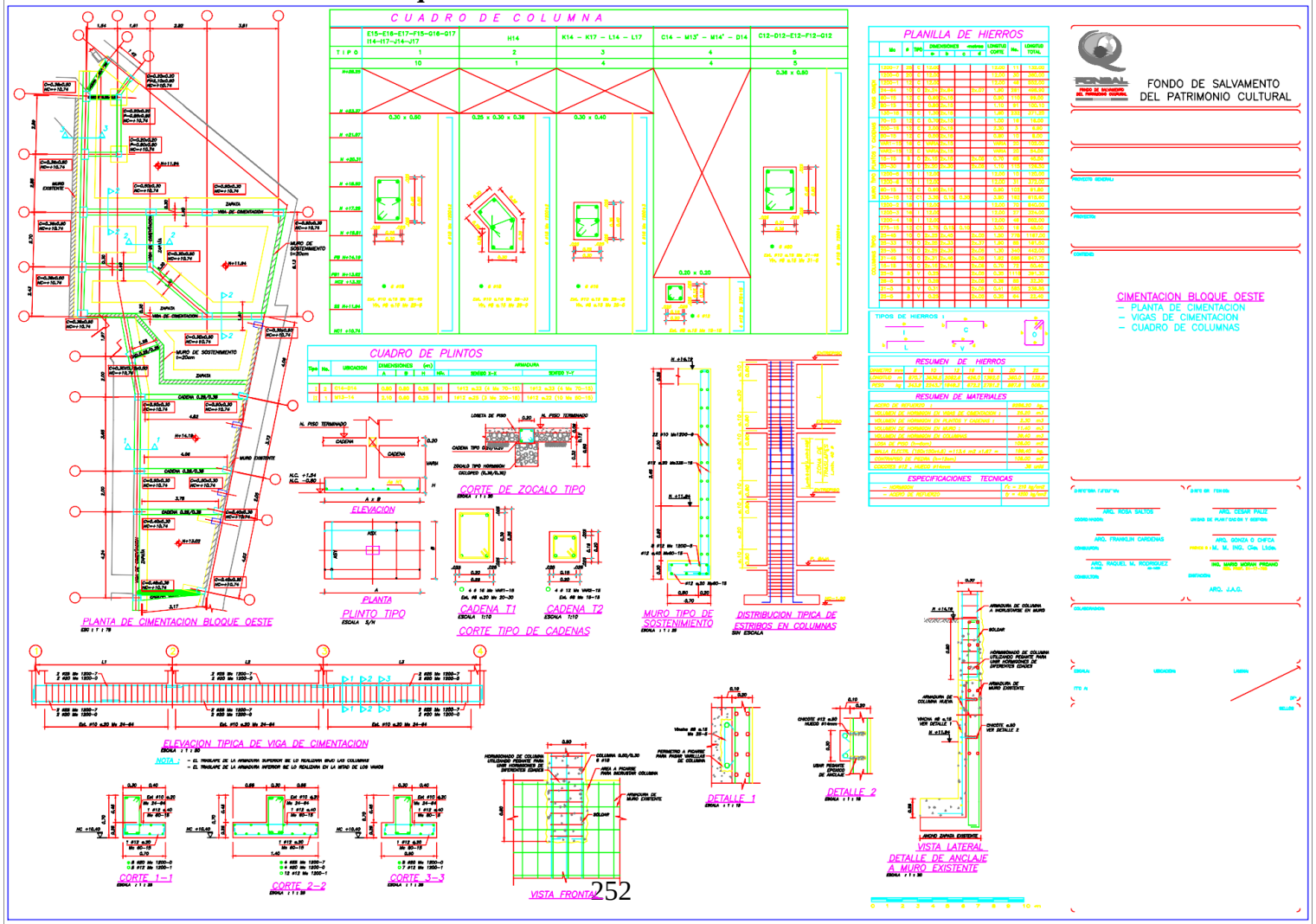
Valdebenito, G., Aguilar, V., Aburto, P., Alvarado, D., Muñoz, J., Cristian, S., . . . Alvial, J. (2014). Restauración de Edificios Patrimoniales de Albañilería en Zonas de Sismicidad Alta: Aplicación al Museo de Arte Contemporaneo de Valdivia, Chile. *REHABEND*, -.

Vizconde, A. (2017). *Estudios de Vibración Ambiental en Edificaciones Existentes.* Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

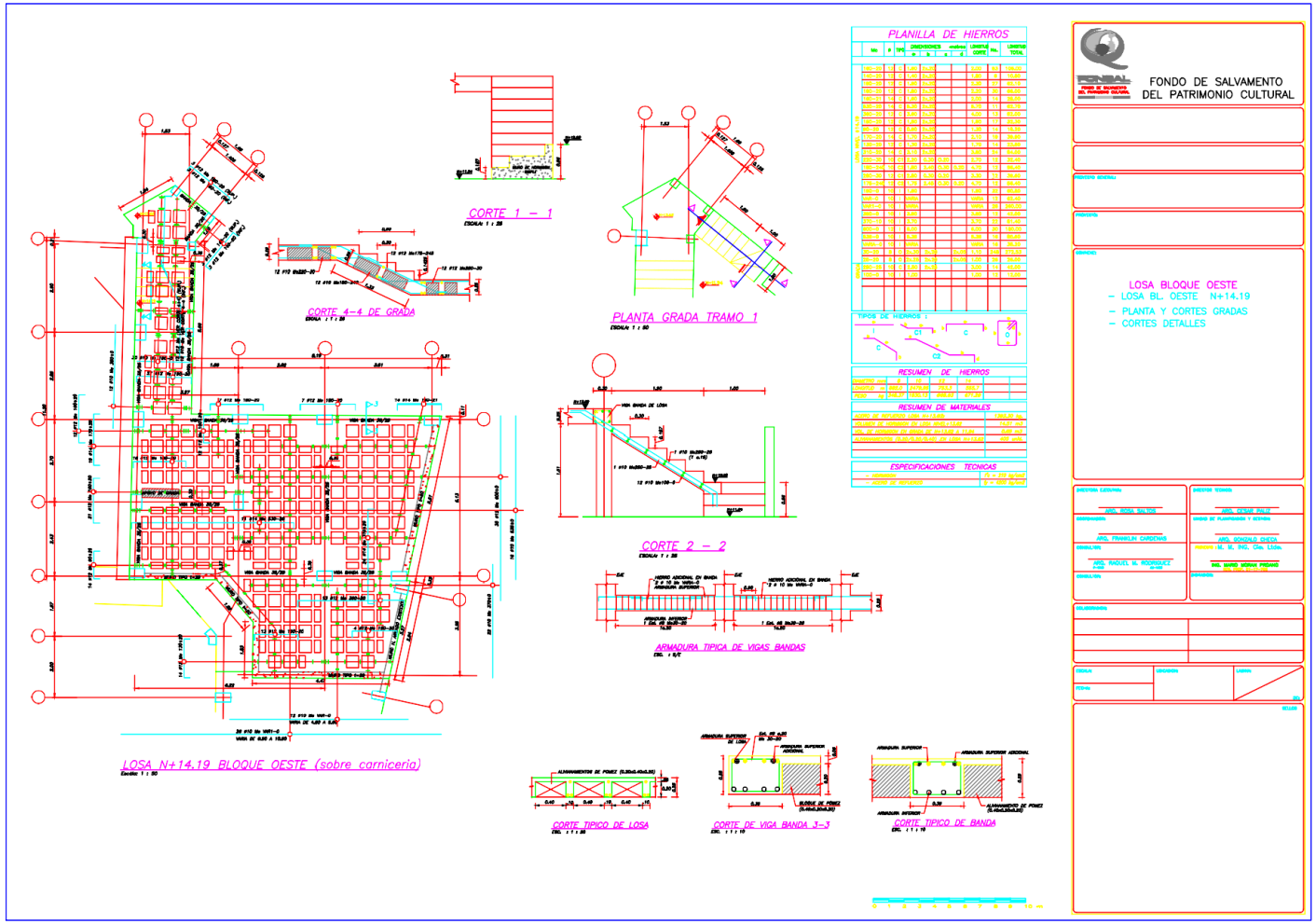
Yepes Piqueras, V. (2 de Diciembre de 2014). *La "Ley de los Cincos" de Sitter, o cómo tirar el dinero en las obras*. Obtenido de Universitat Politecnica de Valencia: https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/12/02/calidad-diseno-proyecto-evita-costes-infraestructuras/

ANEXOS

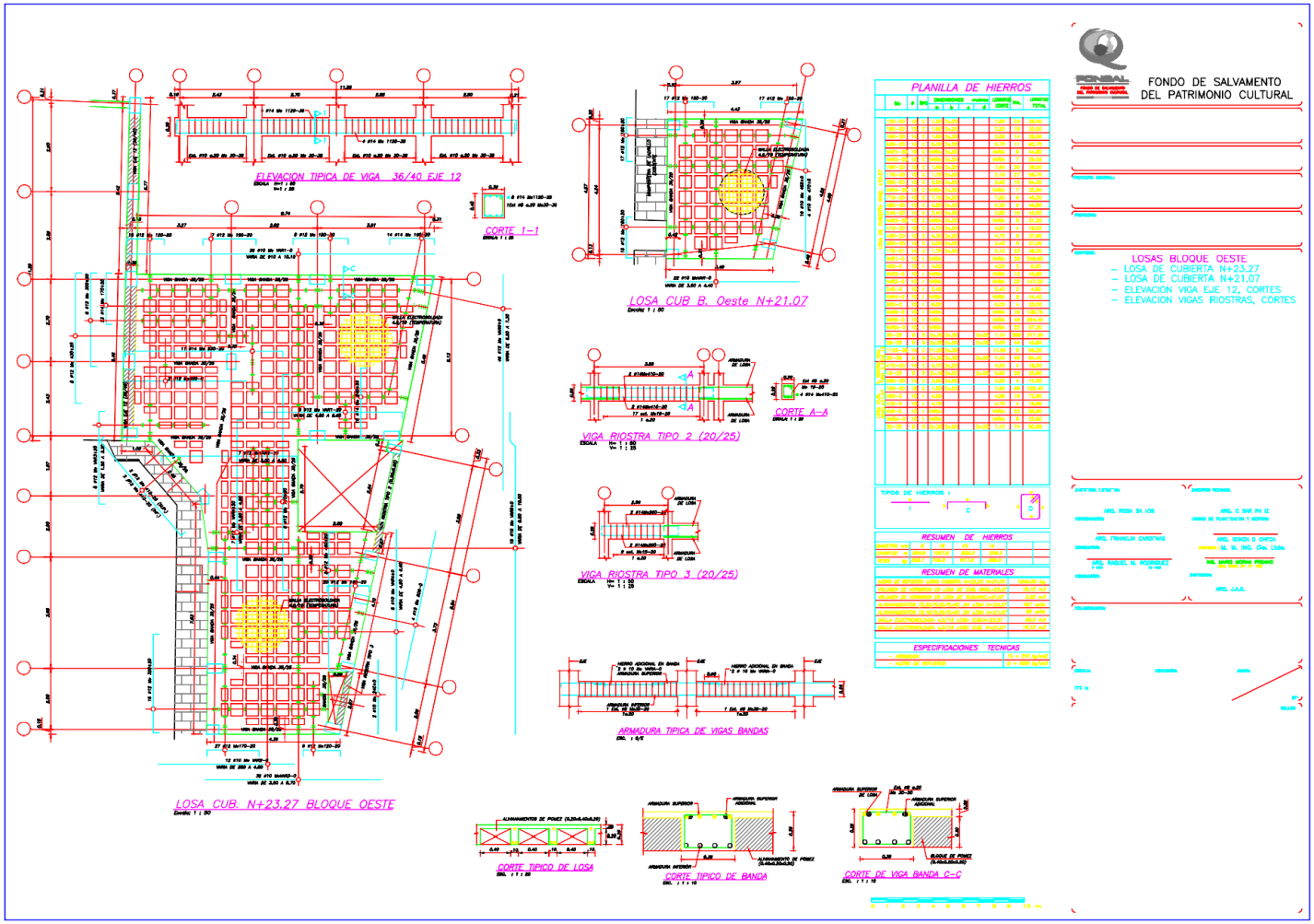
1. Plano Estructural Cimentación Bloque Oeste



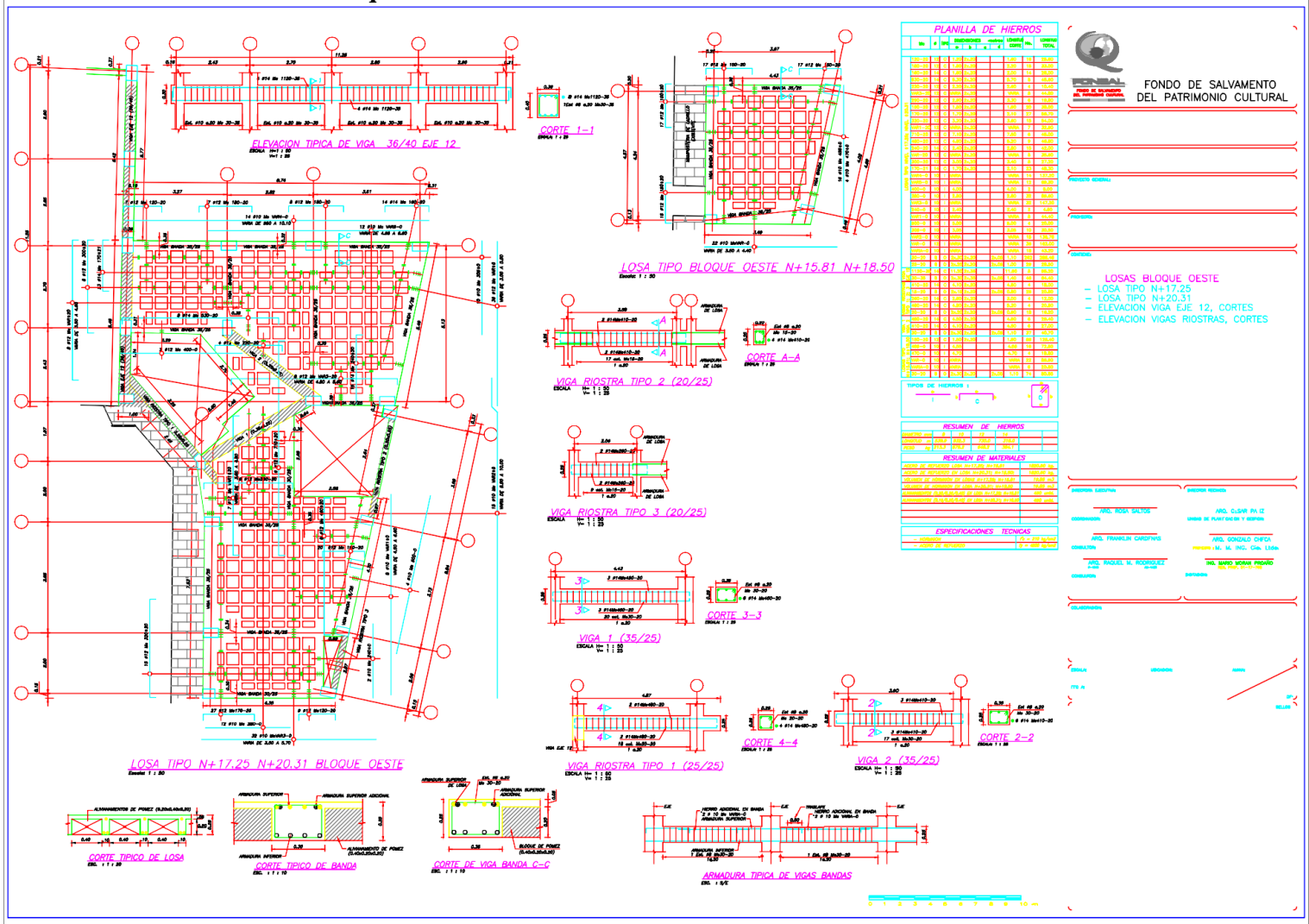
2. Plano Estructural Losa Bloque Oeste N+14.19



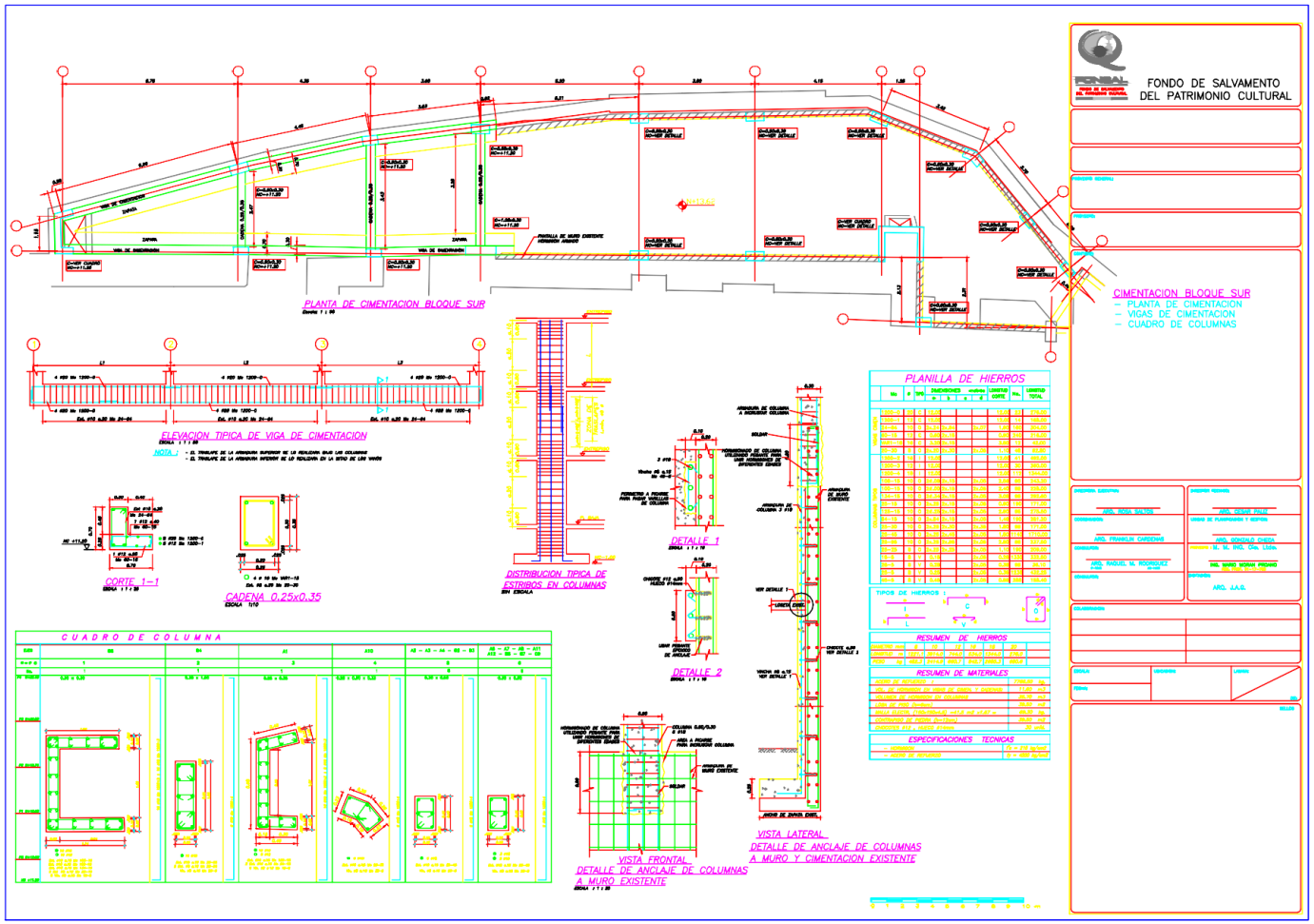
3. Plano Estructural Losa Bloque N+23.27



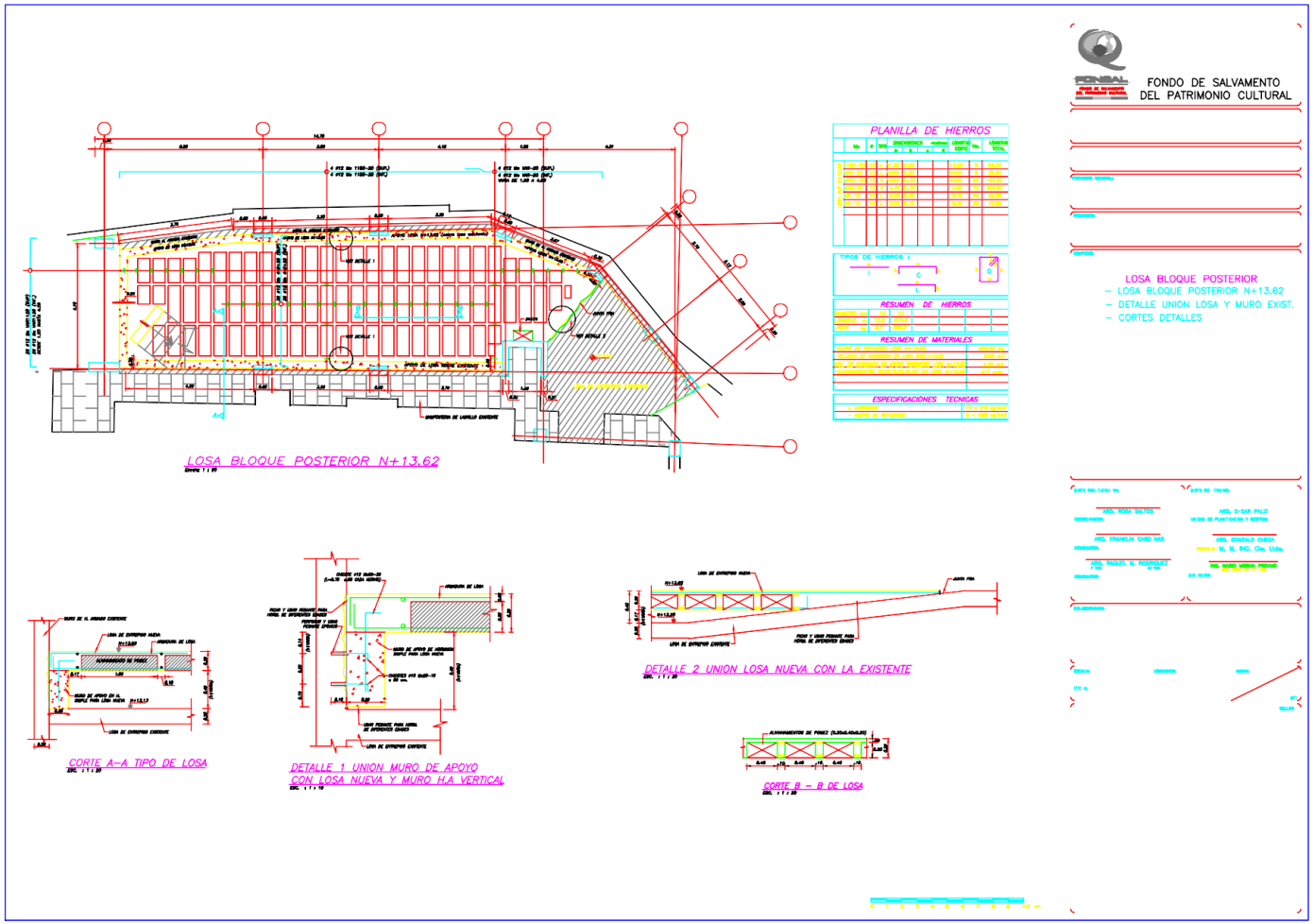
4. Plano Estructural Losa Bloque Oeste N+17.25 N+20.31



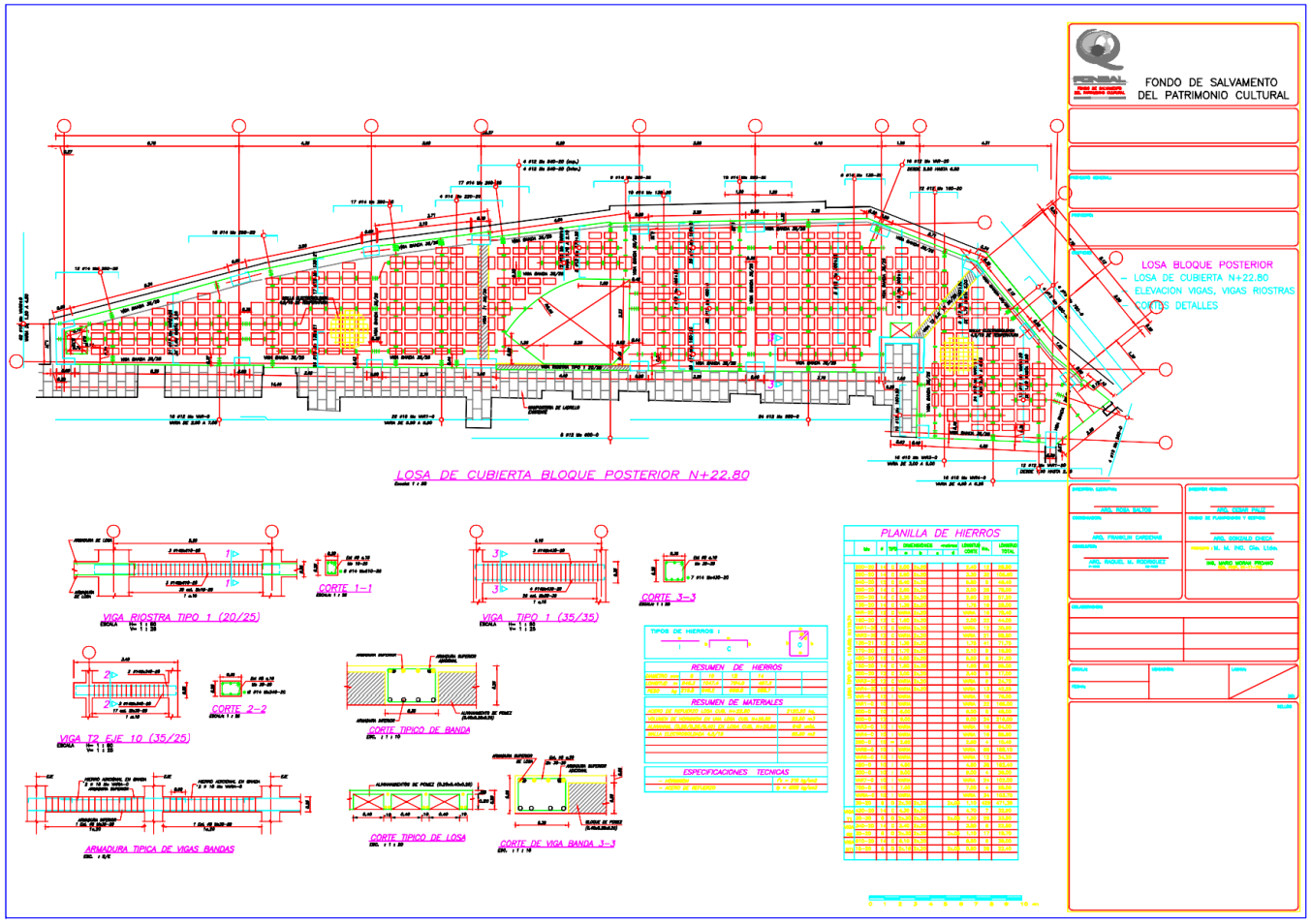
5. Plano Estructural Cimentación Bloque Sur



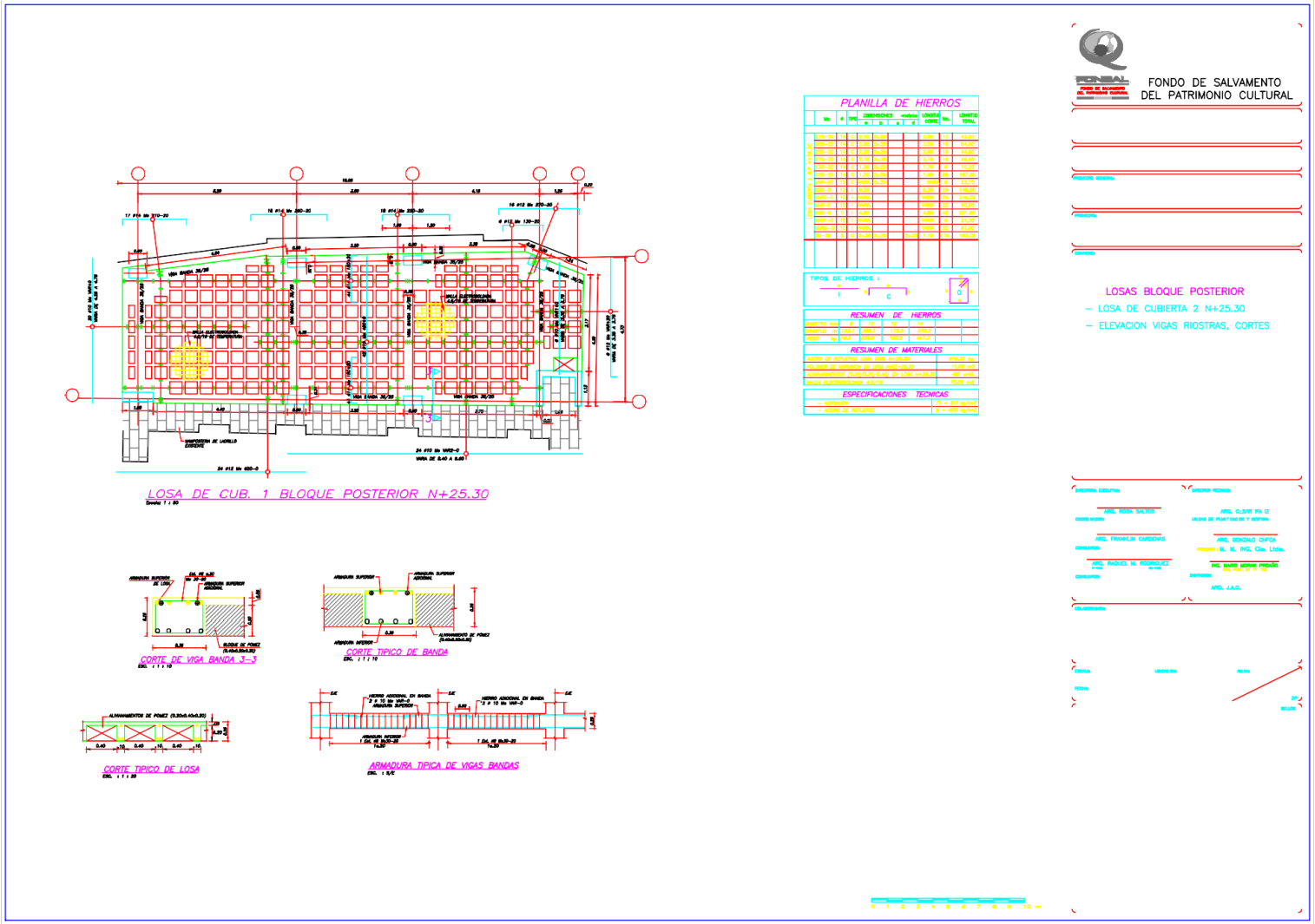
6. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+13.62



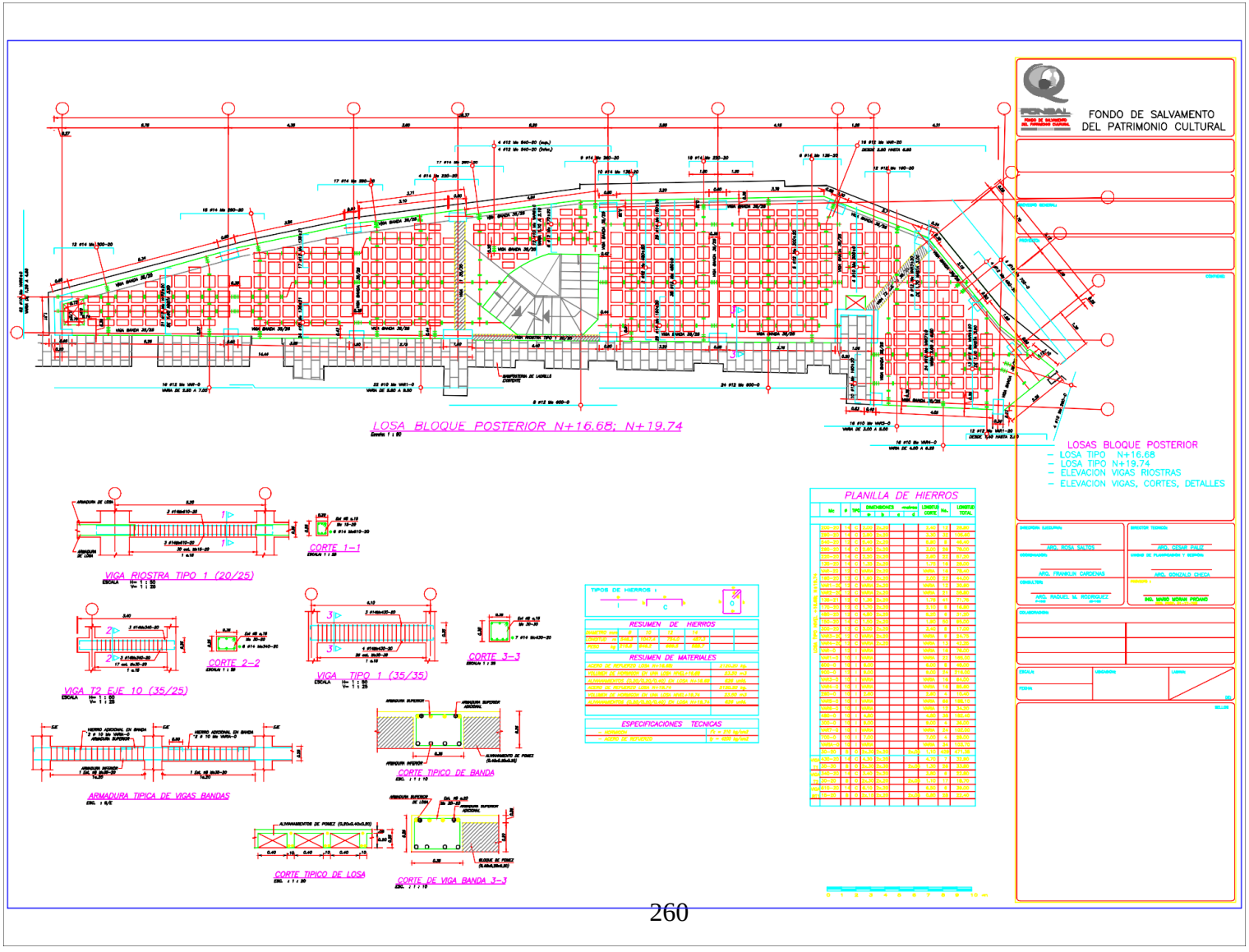
7. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+22.80



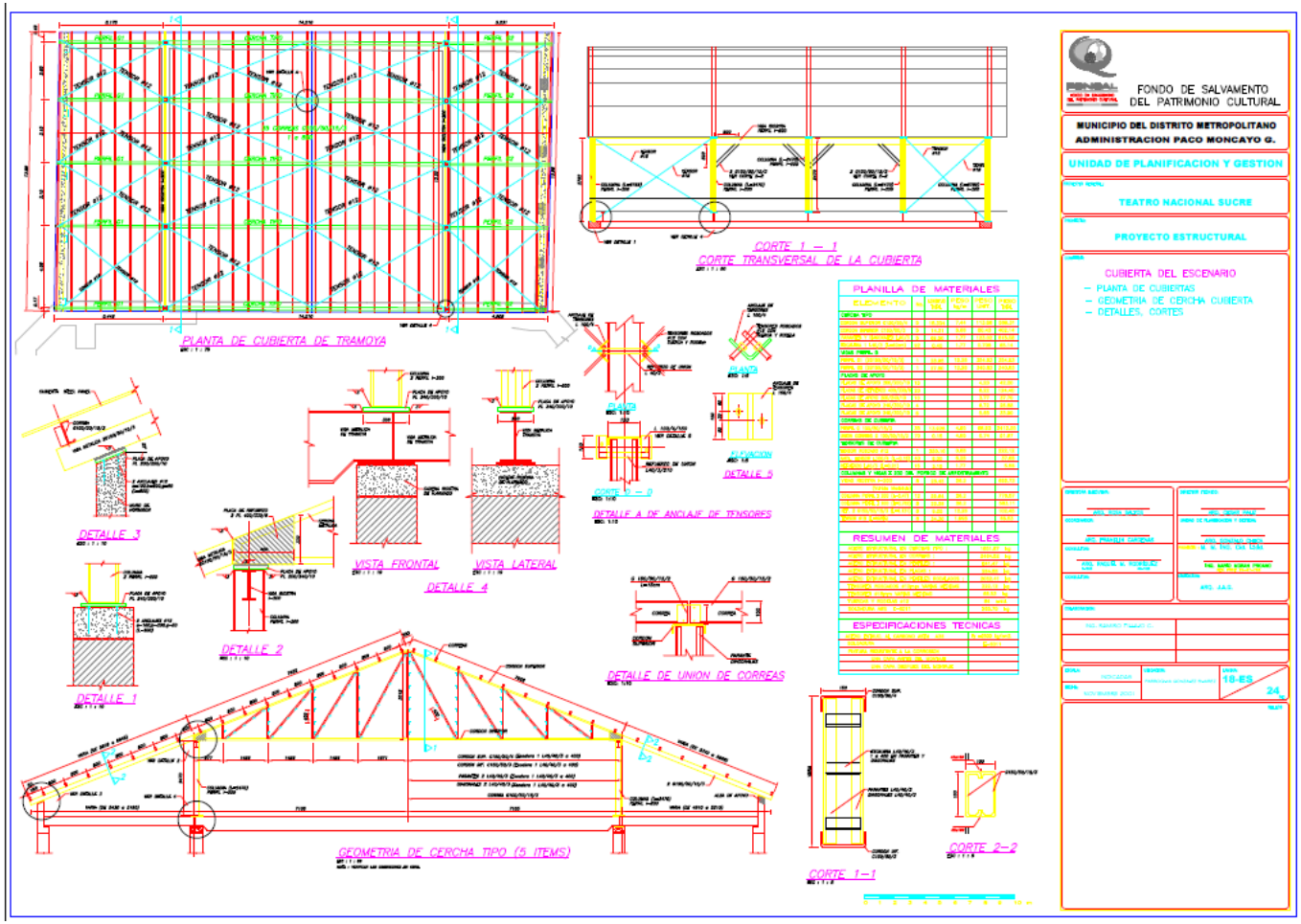
8. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+25.30



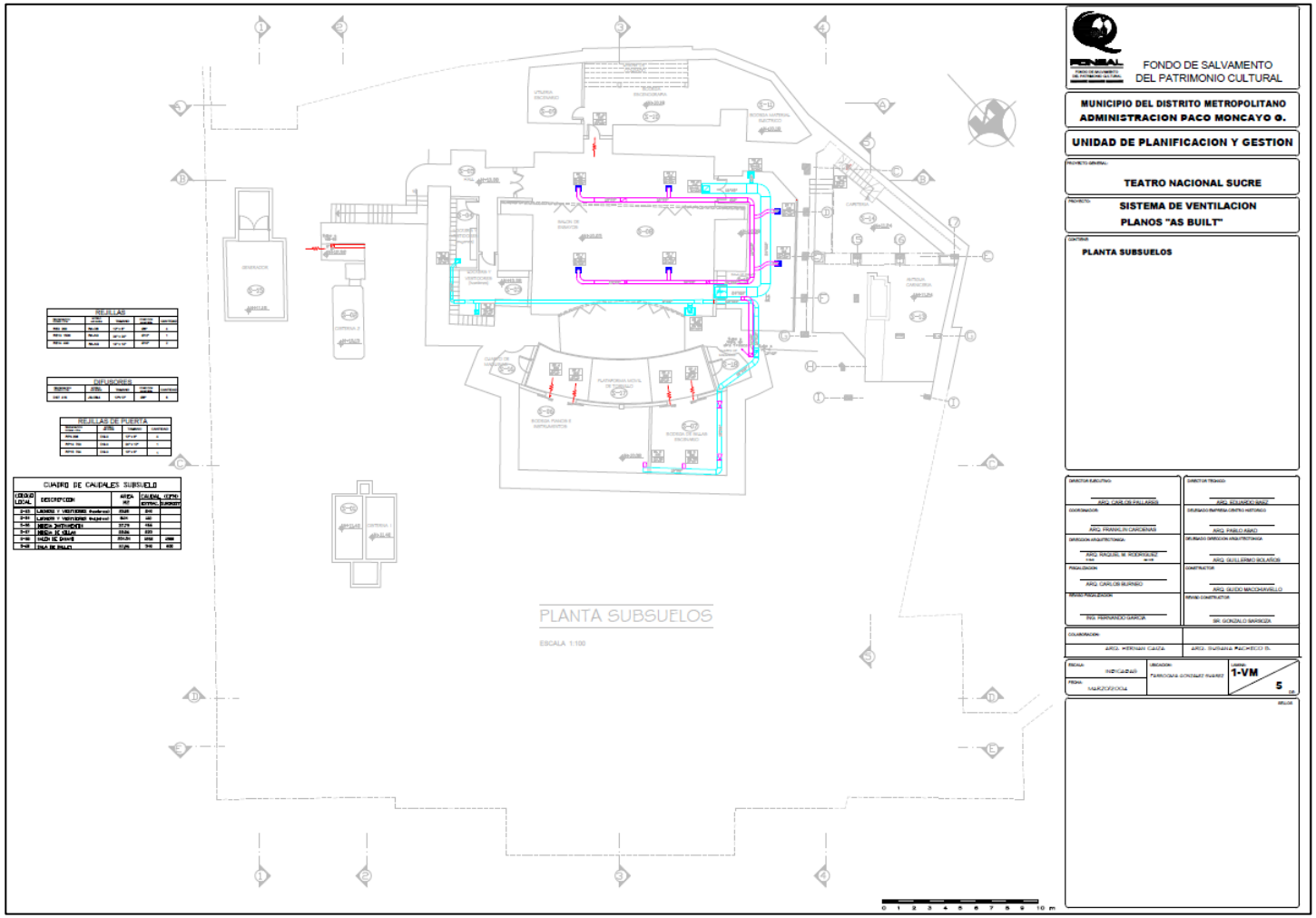
9. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+16.68 N+19.74



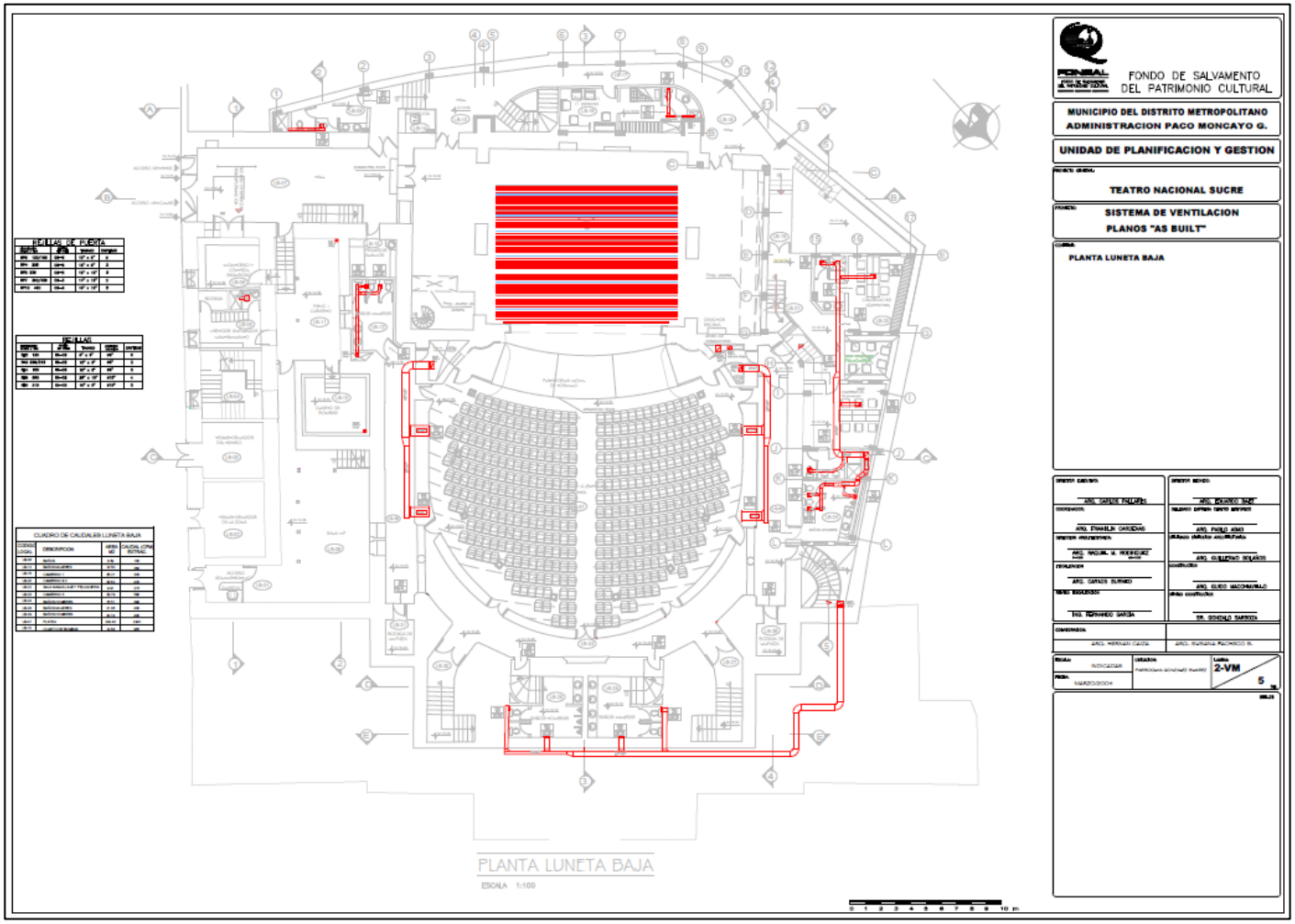
10. Plano Estructural Losa Bloque Posterior N+16.68 N+19.74



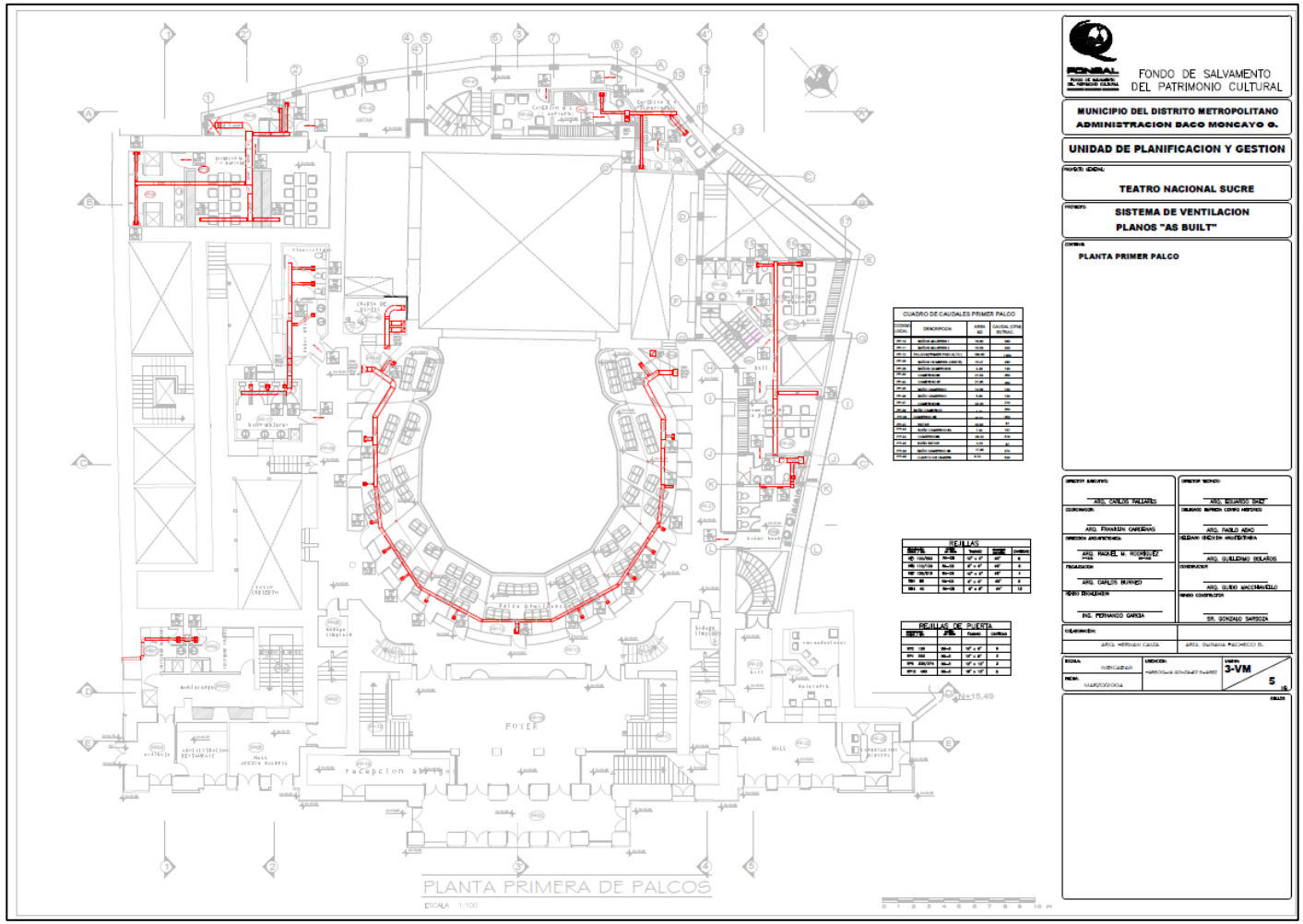
11. Plano Arquitectónico Planta Subsuelo



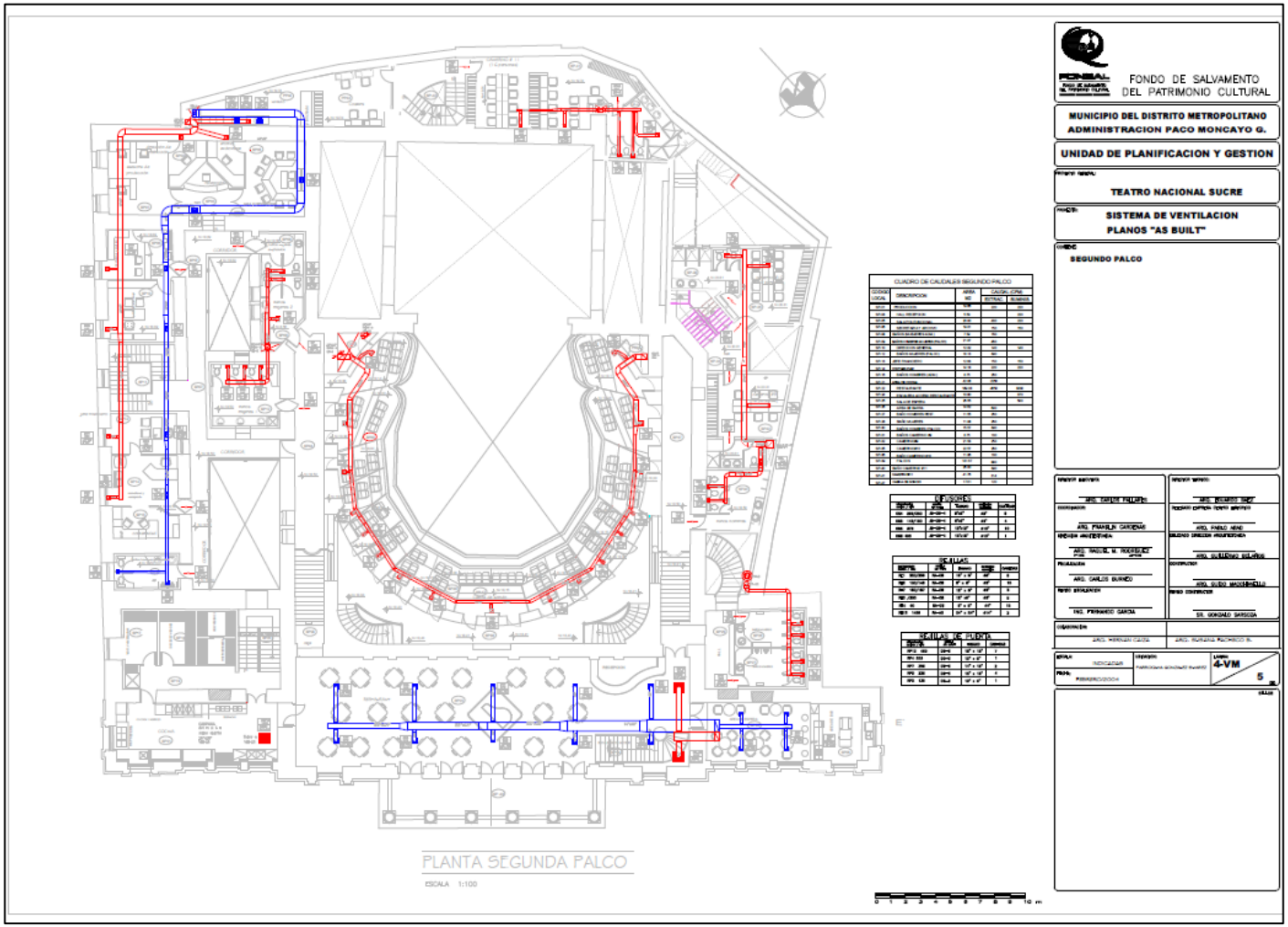
12. Plano Arquitectónico Planta Luneta Baja



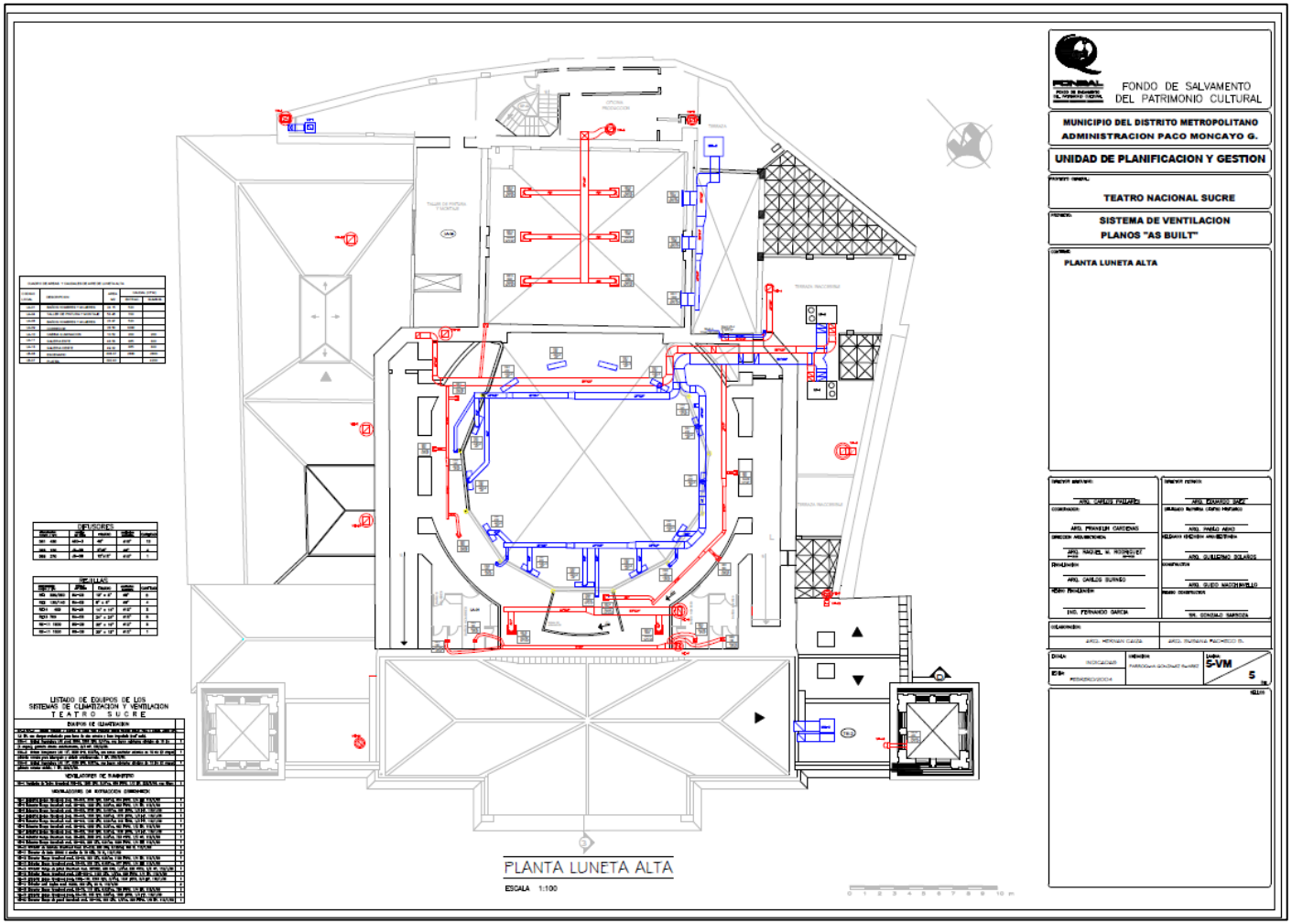
13. Plano Arquitectónico Planta Primera Palco



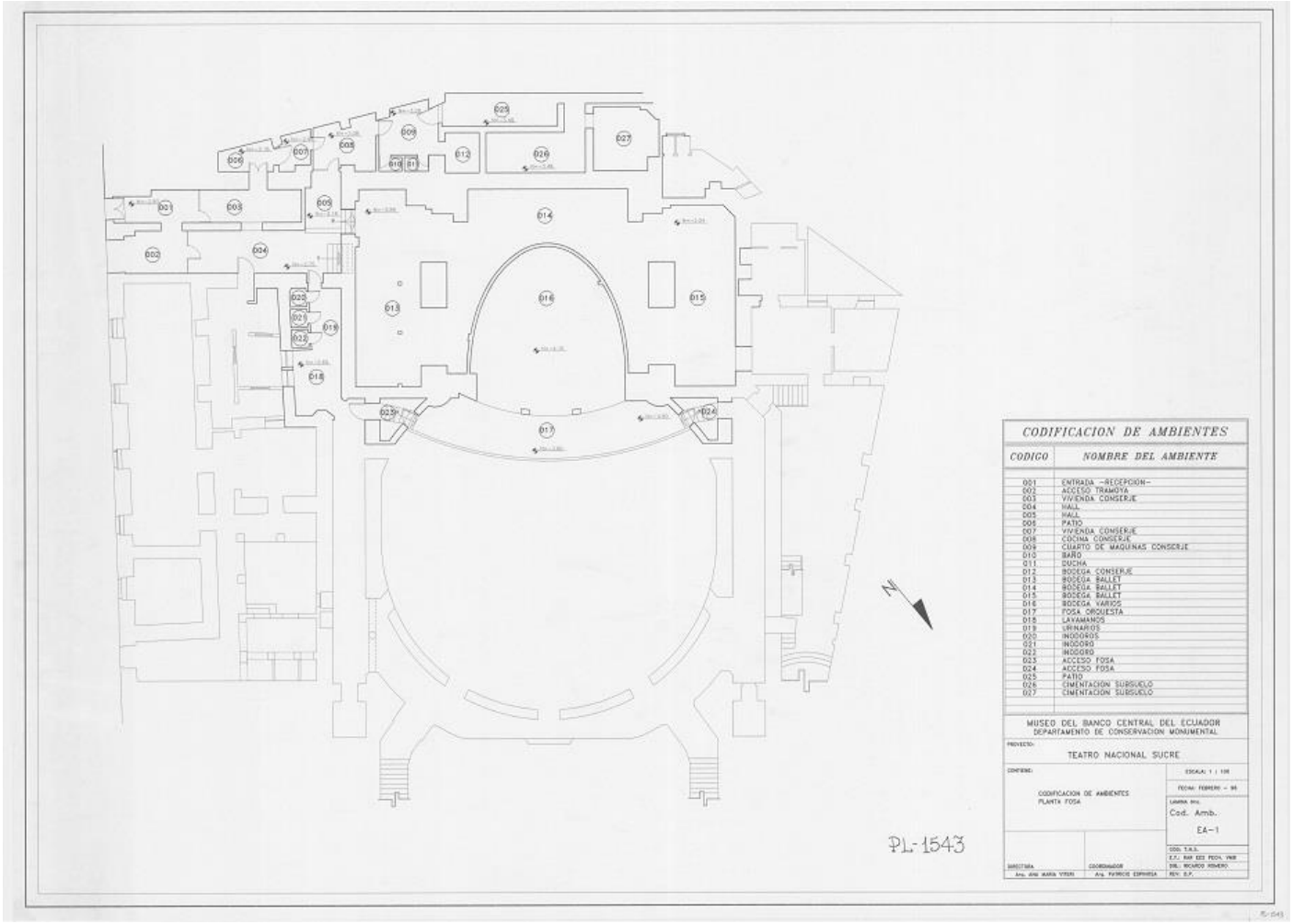
14. Plano Arquitectónico Planta Segundo Palco



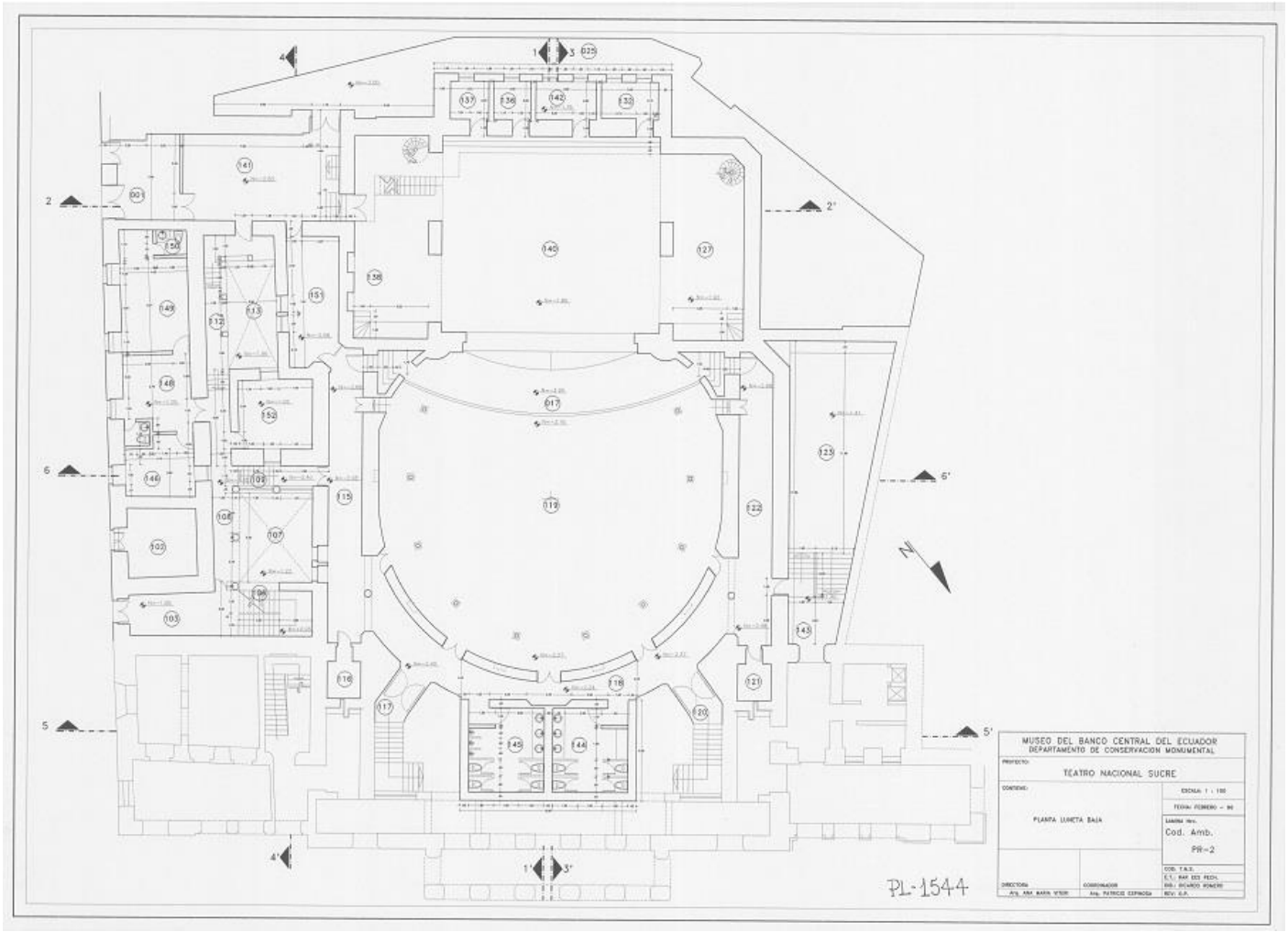
15. Plano Arquitectónico Planta Luneta Alta



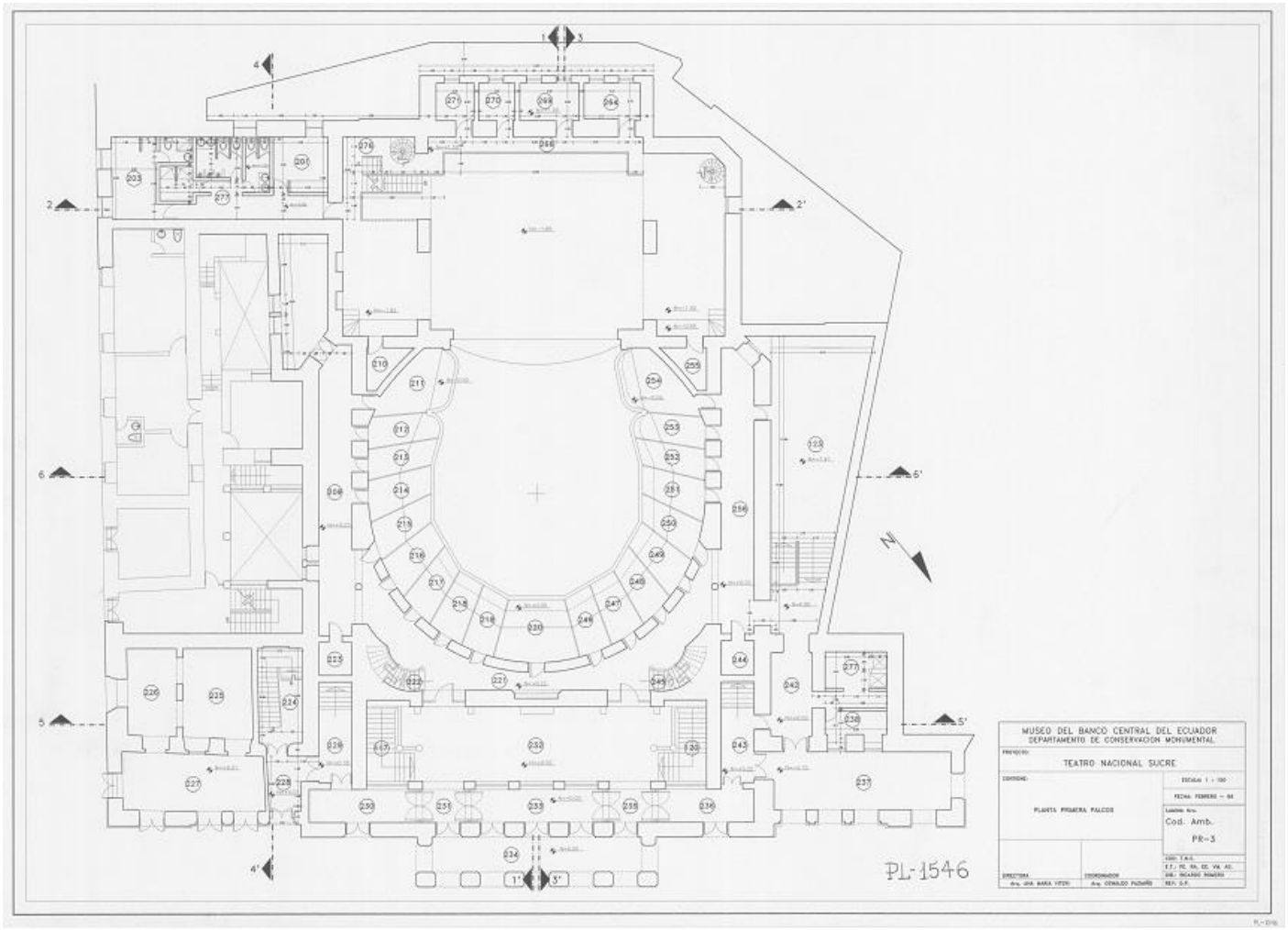
16. Plano Arquitectónico Subsuelos 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1548



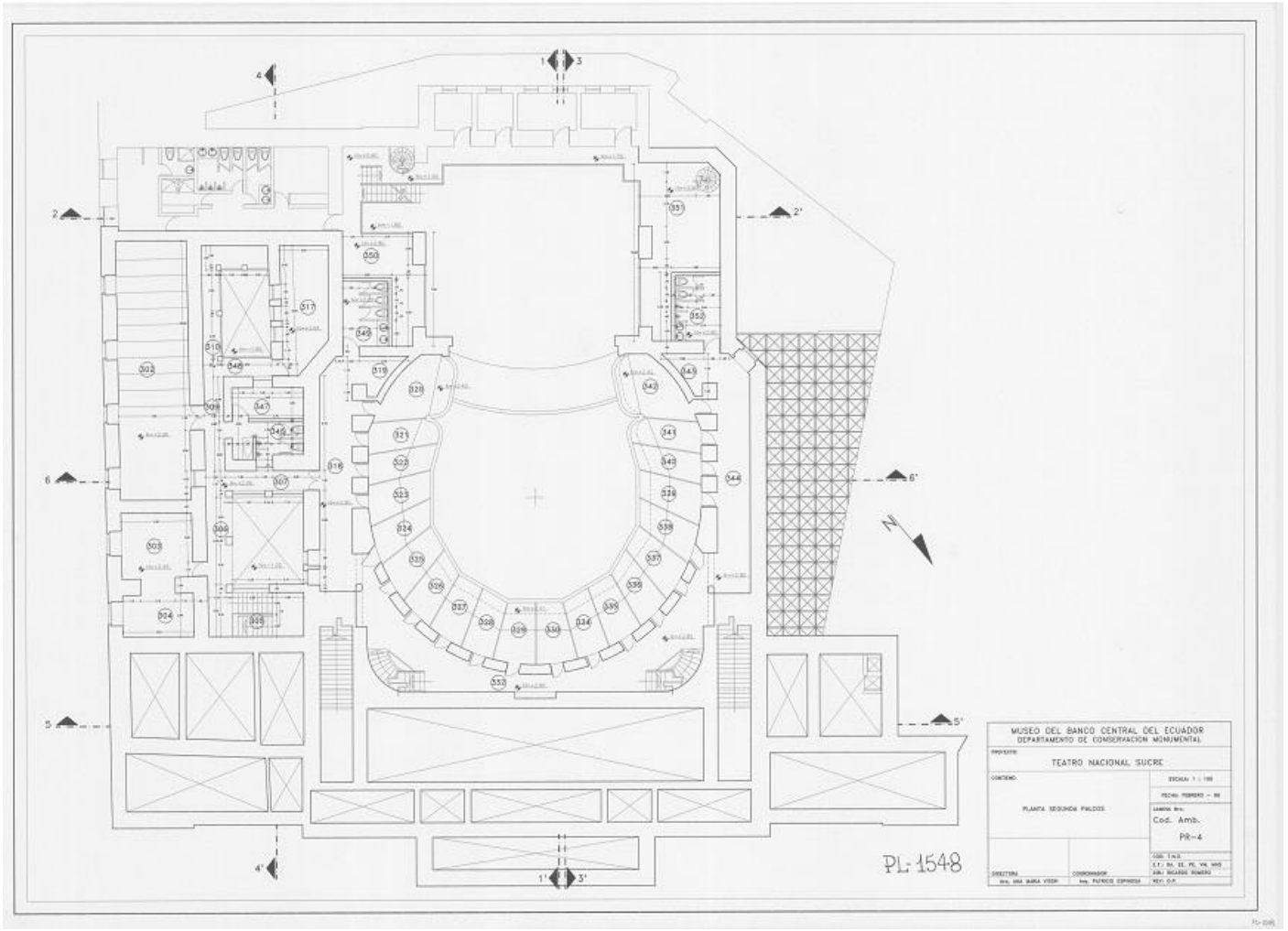
17. Plano Arquitectónico Planta Luneta Baja 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1549



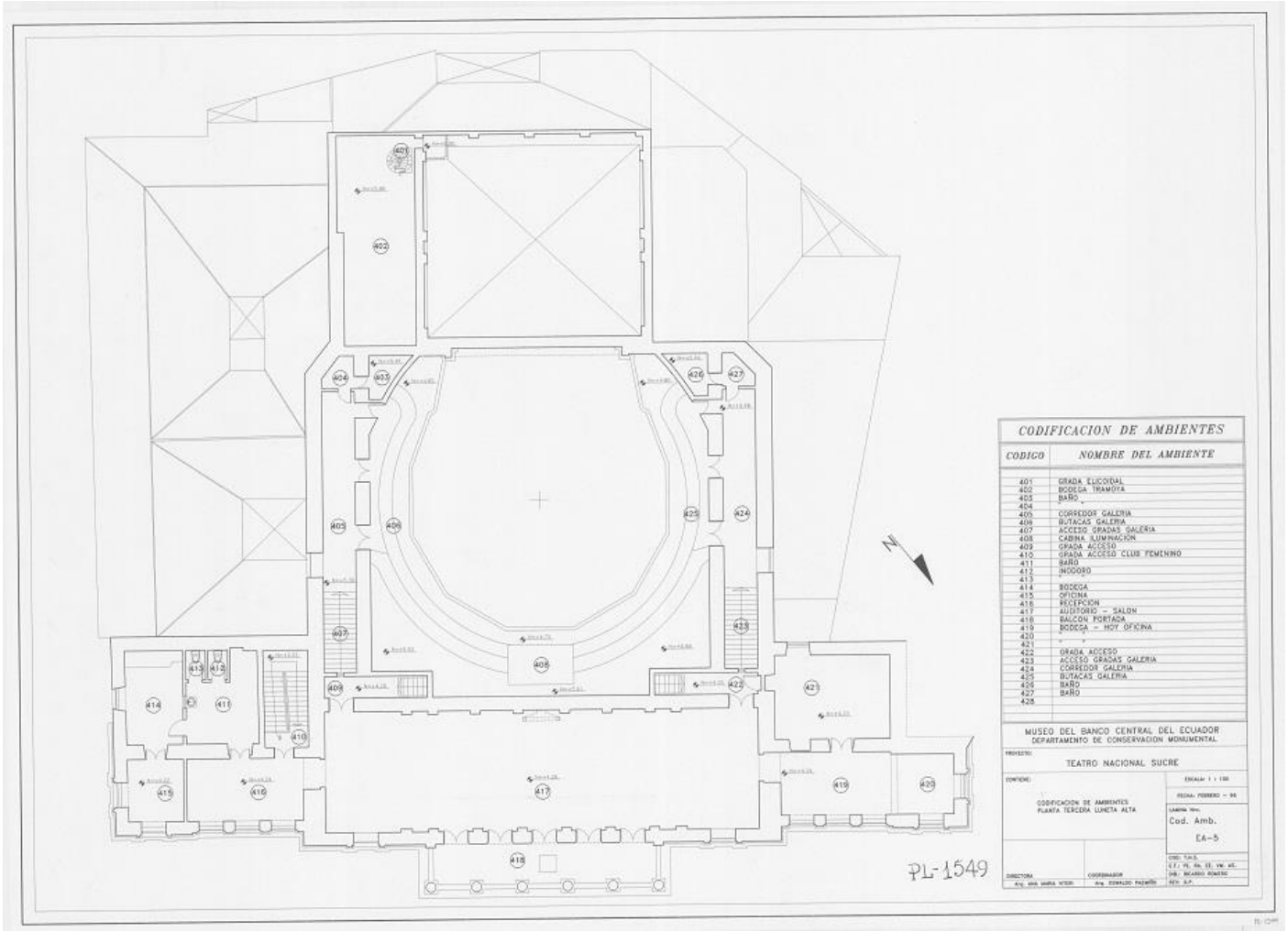
18. Plano Arquitectónico Planta Primera de Palcos 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1551



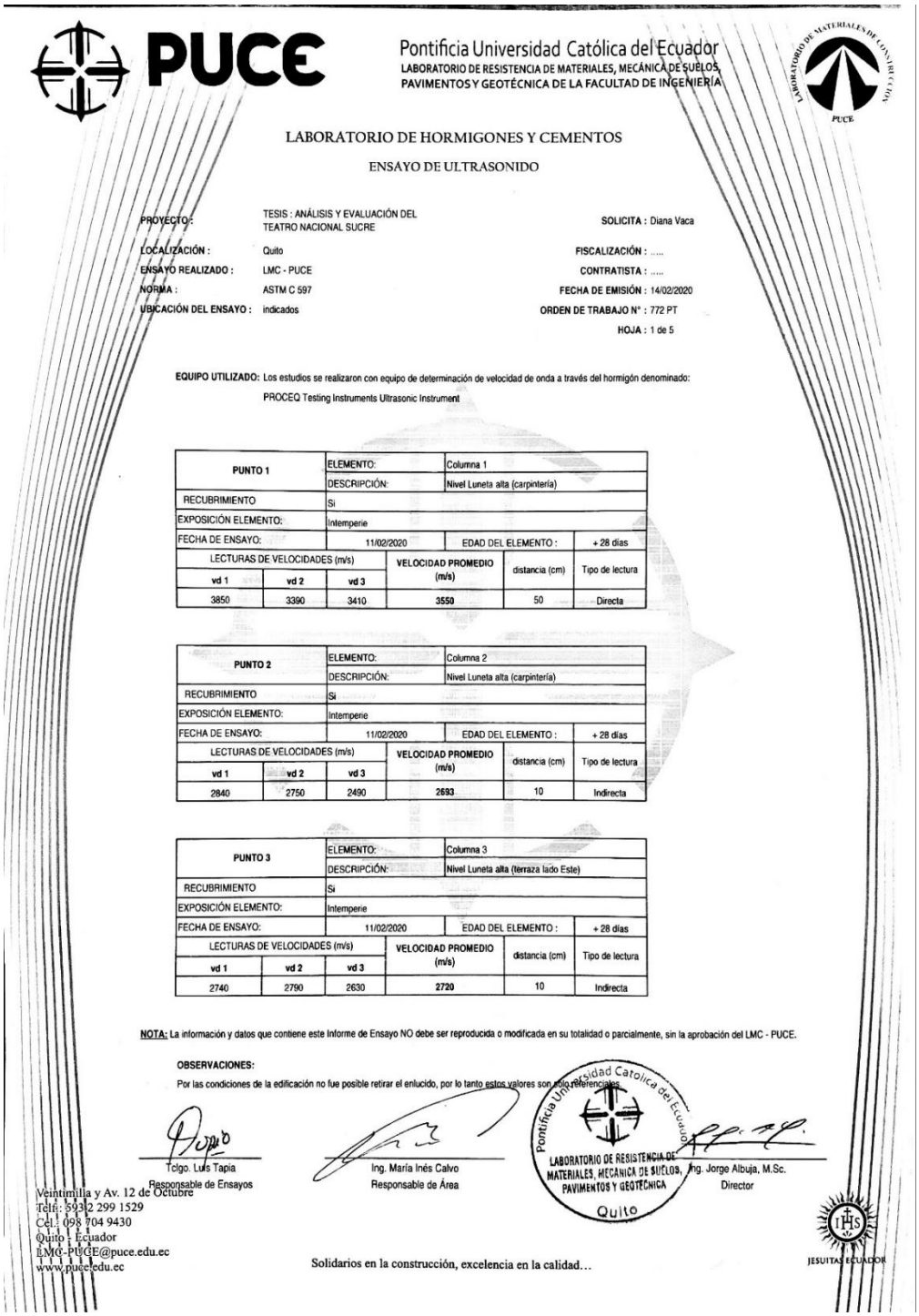
19. Plano Arquitectónico Segunda Primera de Palcos 1994. Fuente: http://172.16.147:8080/handle/inpc/1552



20. Plano Arquitectónico Planta Luneta Alta 1994. Fuente: p://172.16.147:8080/handle/inpc/1554



21. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 1/5



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE HORMIGONES Y CEMENTOS

ENSAYO DE ULTRASONIDO

PROYECTO: TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
SOLICITA : Diana Vaca
LOCALIZACIÓN : Quito
FISCALIZACIÓN : .....
ENSAYO REALIZADO : LMC - PUCE
CONTRATISTA : .....
NORMA : ASTM C 597
FECHA DE EMISIÓN : 14/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO : indicados
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 1 de 5

EQUIPO UTILIZADO: Los estudios se realizaron con equipo de determinación de velocidad de onda a través del hormigón denominado:
PROCEQ Testing Instruments Ultrasonic Instrument

PUNTO 1		ELEMENTO:	Columna 1		
		DESCRIPCIÓN:	Nivel Luneta alta (carpintería)		
RECUBRIMIENTO		Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:		Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:		11/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura
vd 1	vd 2	vd 3			
3850	3390	3410	**3550**	50	Directa

PUNTO 2		ELEMENTO:	Columna 2		
		DESCRIPCIÓN:	Nivel Luneta alta (carpintería)		
RECUBRIMIENTO		Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:		Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:		11/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura
vd 1	vd 2	vd 3			
2840	2750	2490	**2693**	10	Indirecta

PUNTO 3		ELEMENTO:	Columna 3		
		DESCRIPCIÓN:	Nivel Luneta alta (terraza lado Este)		
RECUBRIMIENTO		Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:		Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:		11/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura
vd 1	vd 2	vd 3			
2740	2790	2630	**2720**	10	Indirecta

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

OBSERVACIONES:
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales

Tclgo. Luis Tapia
Responsable de Ensayos

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
Quito

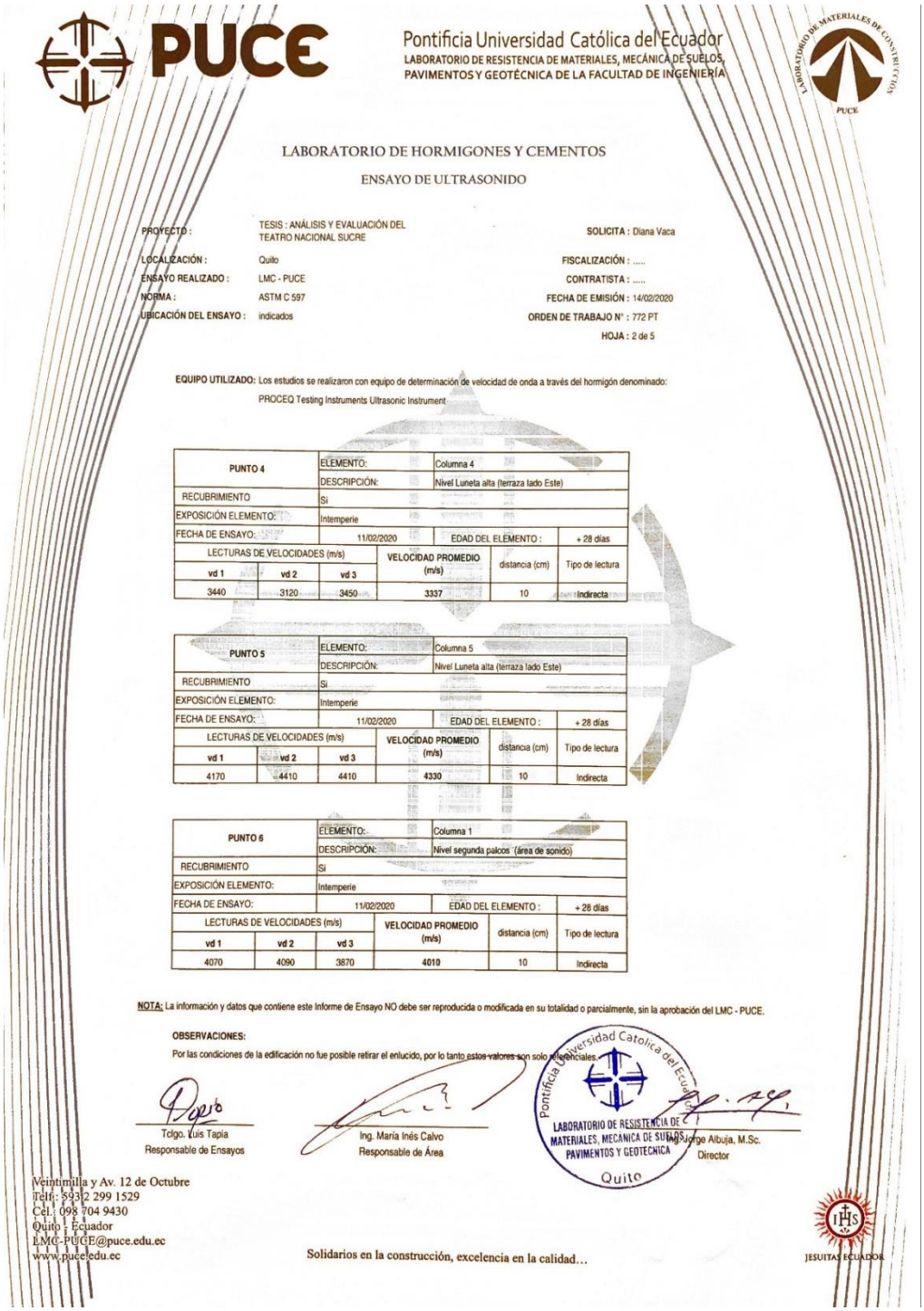
Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

22. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 2/5



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE HORMIGONES Y CEMENTOS

ENSAYO DE ULTRASONIDO

PROYECTO : TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
SOLICITA : Diana Vaca
LOCALIZACIÓN : Quito
FISCALIZACIÓN : .....
ENSAYO REALIZADO : LMC - PUCE
CONTRATISTA : .....
NORMA : ASTM C 597
FECHA DE EMISIÓN : 14/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO : indicados
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 2 de 5

EQUIPO UTILIZADO: Los estudios se realizaron con equipo de determinación de velocidad de onda a través del hormigón denominado:
PROCEQ Testing Instruments Ultrasonic Instrument

PUNTO 4			ELEMENTO:		Columna 4	
			DESCRIPCIÓN:		Nivel Luneta alta (terraza lado Este)	
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			11/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3440	3120	3450	3337	10	Indirecta	

PUNTO 5			ELEMENTO:		Columna 5	
			DESCRIPCIÓN:		Nivel Luneta alta (terraza lado Este)	
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			11/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
4170	4410	4410	4330	10	Indirecta	

PUNTO 6			ELEMENTO:		Columna 1	
			DESCRIPCIÓN:		Nivel segunda palcos (área de sonido)	
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			11/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
4070	4090	3870	4010	10	Indirecta	

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

OBSERVACIONES:
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tclgo. Luis Tapia
Responsable de Ensayos

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA
Quito

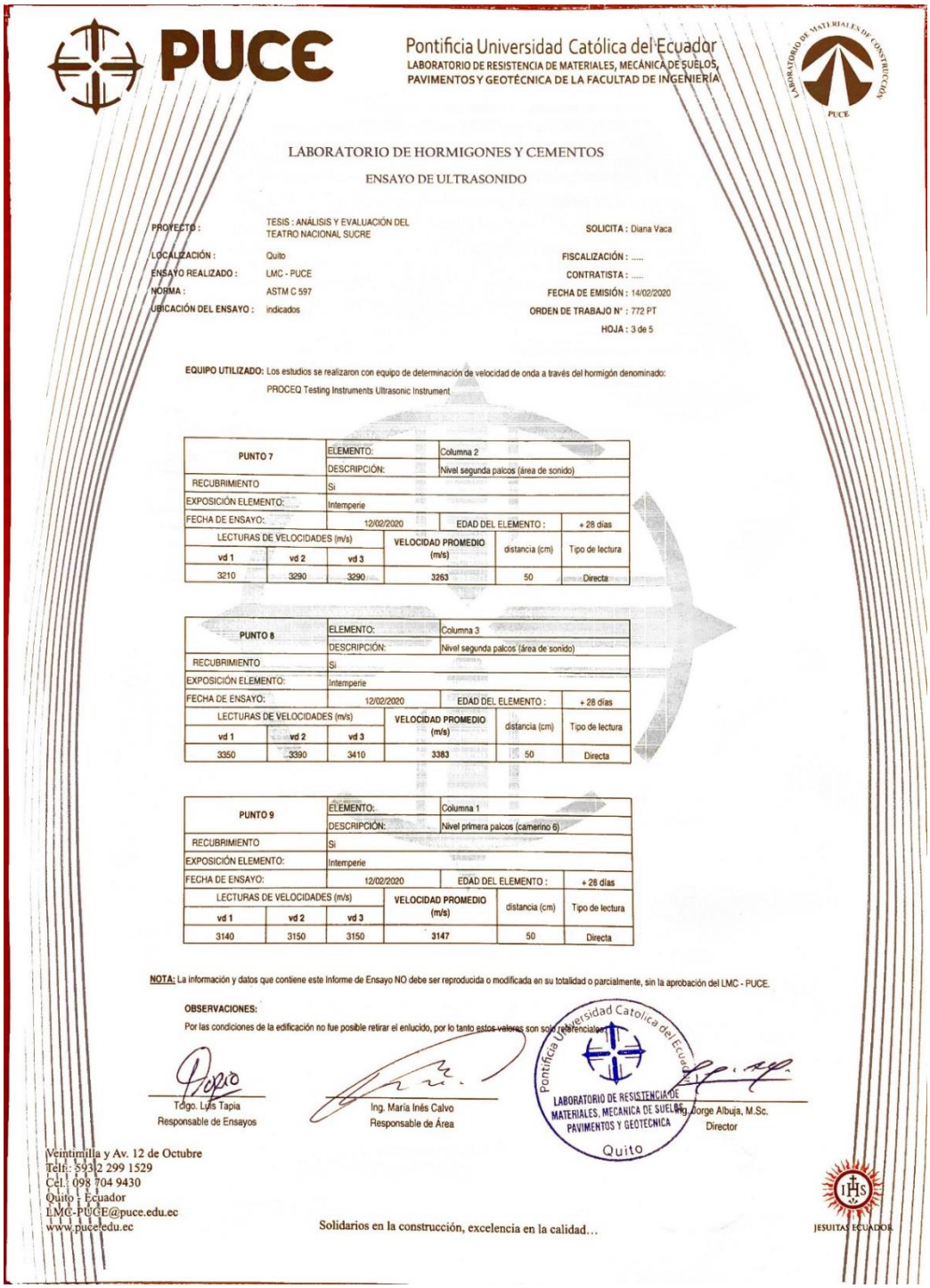
Jorge Albuja, M.Sc.
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

23. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 3/5



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE HORMIGONES Y CEMENTOS

ENSAYO DE ULTRASONIDO

PROYECTO : TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
SOLICITA : Diana Vaca
LOCALIZACIÓN : Quito
FISCALIZACIÓN : .....
ENSAYO REALIZADO : LMC - PUCE
CONTRATISTA : .....
NORMA : ASTM C 597
FECHA DE EMISIÓN : 14/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO : indicados
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 3 de 5

EQUIPO UTILIZADO: Los estudios se realizaron con equipo de determinación de velocidad de onda a través del hormigón denominado:
PROCEQ Testing Instruments Ultrasonic Instrument

PUNTO 7			ELEMENTO:	Columna 2		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel segunda palcos (área de sonido)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3210	3290	3290	3263	50	Directa	

PUNTO 8			ELEMENTO:	Columna 3		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel segunda palcos (área de sonido)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3350	3390	3410	3383	50	Directa	

PUNTO 9			ELEMENTO:	Columna 1		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel primera palcos (camerino 6)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3140	3150	3150	3147	50	Directa	

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

OBSERVACIONES:
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tcrgo. Luis Tapia
Responsable de Ensayos

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA
Quito

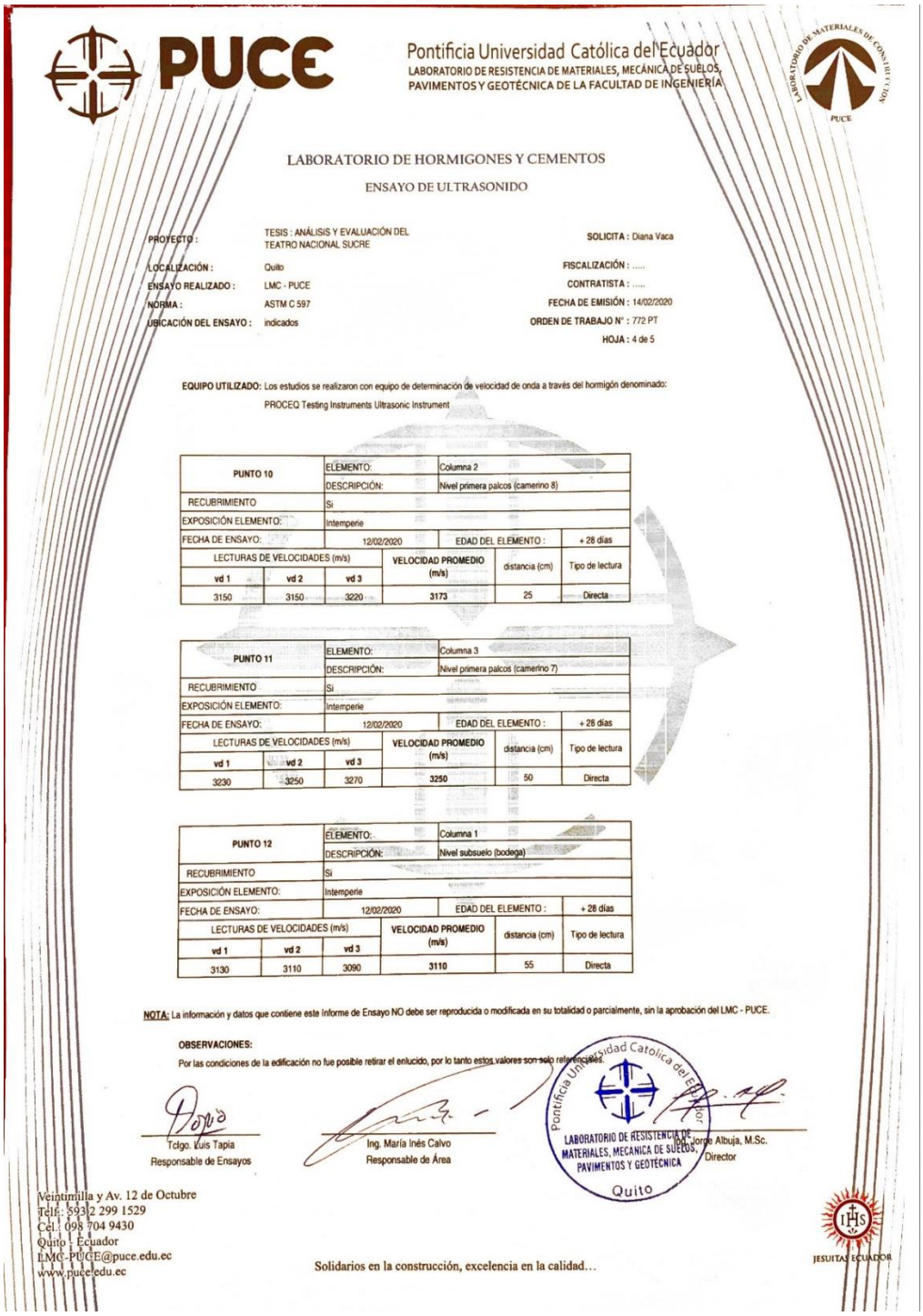
Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

24. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 4/5



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE HORMIGONES Y CEMENTOS

ENSAYO DE ULTRASONIDO

PROYECTO : TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
SOLICITA : Diana Vaca
LOCALIZACIÓN : Quito
FISCALIZACIÓN : .....
ENSAYO REALIZADO : LMC - PUCE
CONTRATISTA : .....
NORMA : ASTM C 597
FECHA DE EMISIÓN : 14/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO : indicados
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 4 de 5

EQUIPO UTILIZADO: Los estudios se realizaron con equipo de determinación de velocidad de onda a través del hormigón denominado:
PROCEQ Testing Instruments Ultrasonic Instrument

PUNTO 10			ELEMENTO:	Columna 2		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel primera palcos (camerino 8)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3150	3150	3220	3173	25	Directa	

PUNTO 11			ELEMENTO:	Columna 3		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel primera palcos (camerino 7)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3230	3250	3270	3250	50	Directa	

PUNTO 12			ELEMENTO:	Columna 1		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel subsuelo (bodega)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3130	3110	3090	3110	55	Directa	

NOTA: La información y datos que contiene este informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

OBSERVACIONES:
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tclgo. Luis Tapia
Responsable de Ensayos

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
Quito

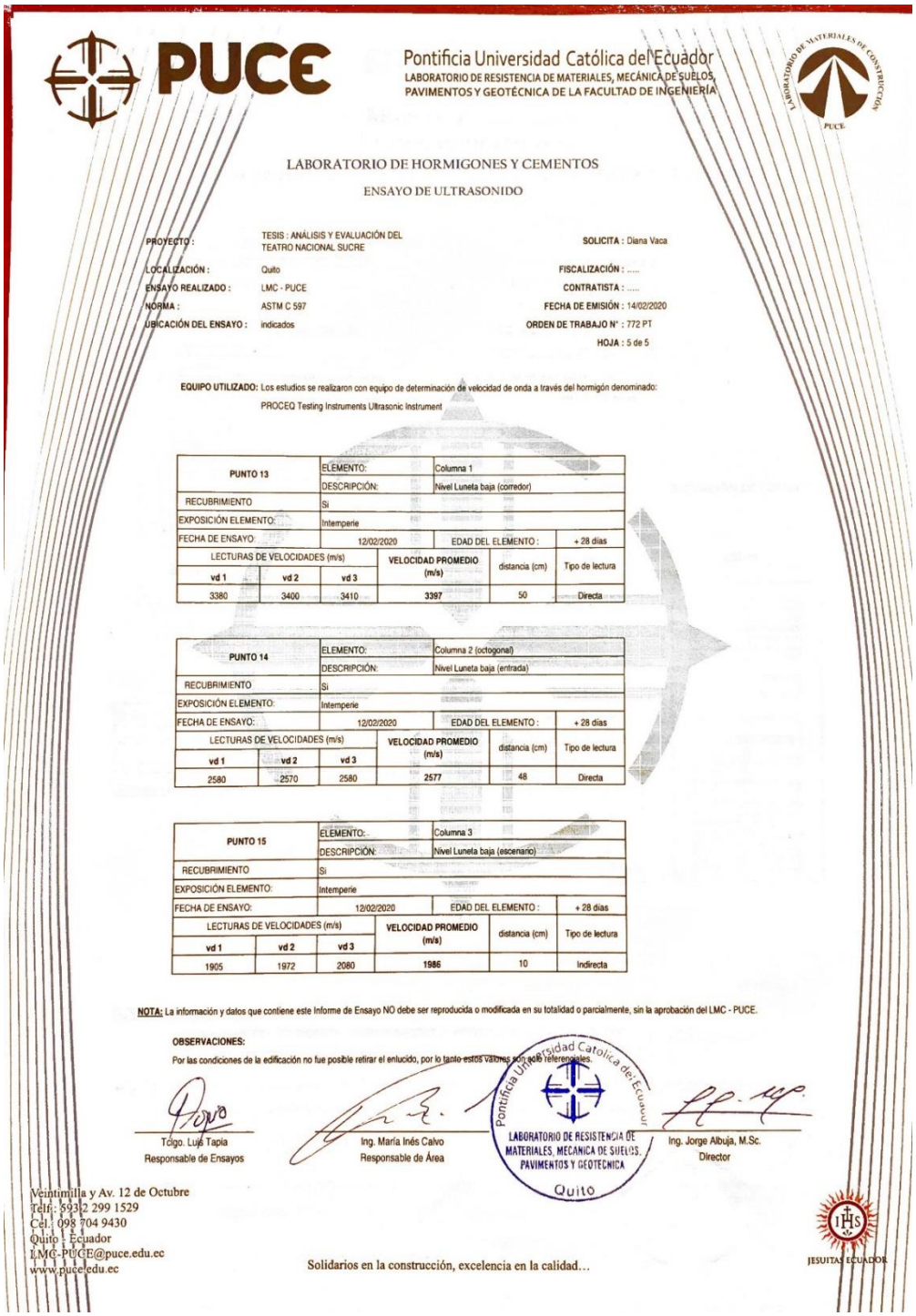
Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cél.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

25. Resultados Ensayos Ultrasonido Pág. 5/5



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN PUCE

LABORATORIO DE HORMIGONES Y CEMENTOS

ENSAYO DE ULTRASONIDO

PROYECTO :	TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE	**SOLICITA :**	Diana Vaca
LOCALIZACIÓN :	Quito	**FISCALIZACIÓN :**	.....
ENSAYO REALIZADO :	LMC - PUCE	**CONTRATISTA :**	.....
NORMA :	ASTM C 597	**FECHA DE EMISIÓN :**	14/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO :	indicados	**ORDEN DE TRABAJO N° :**	772 PT
		HOJA :	5 de 5

EQUIPO UTILIZADO: Los estudios se realizaron con equipo de determinación de velocidad de onda a través del hormigón denominado:
PROCEQ Testing Instruments Ultrasonic Instrument

PUNTO 13			ELEMENTO:	Columna 1		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel Luneta baja (corredor)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
3380	3400	3410	3397	50	Directa	

PUNTO 14			ELEMENTO:	Columna 2 (octogonal)		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel Luneta baja (entrada)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
2580	2570	2580	2577	48	Directa	

PUNTO 15			ELEMENTO:	Columna 3		
			DESCRIPCIÓN:	Nivel Luneta baja (escenario)		
RECUBRIMIENTO			Si			
EXPOSICIÓN ELEMENTO:			Intemperie			
FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020	EDAD DEL ELEMENTO :		+ 28 días
LECTURAS DE VELOCIDADES (m/s)			VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	distancia (cm)	Tipo de lectura	
vd 1	vd 2	vd 3				
1905	1972	2080	1986	10	Indirecta	

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

OBSERVACIONES:
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tcrgo. Luis Tapia
Responsable de Ensayos

Ing. María Inés Calvo
Responsable de Área

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA
Quito

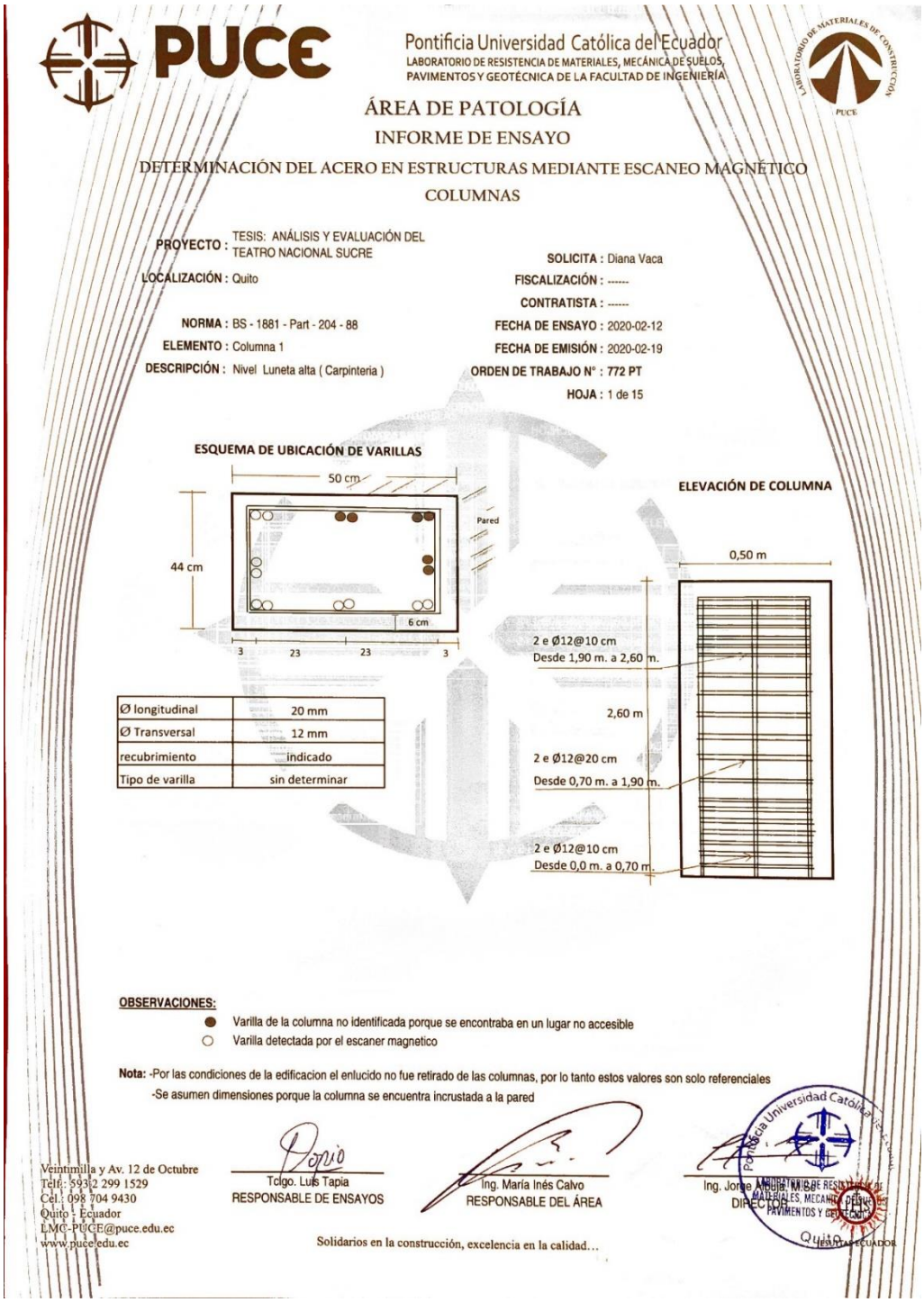
Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
Director

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

26. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 1/15



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA : BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 1
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta alta (Carpinteria)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 1 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	indicado
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

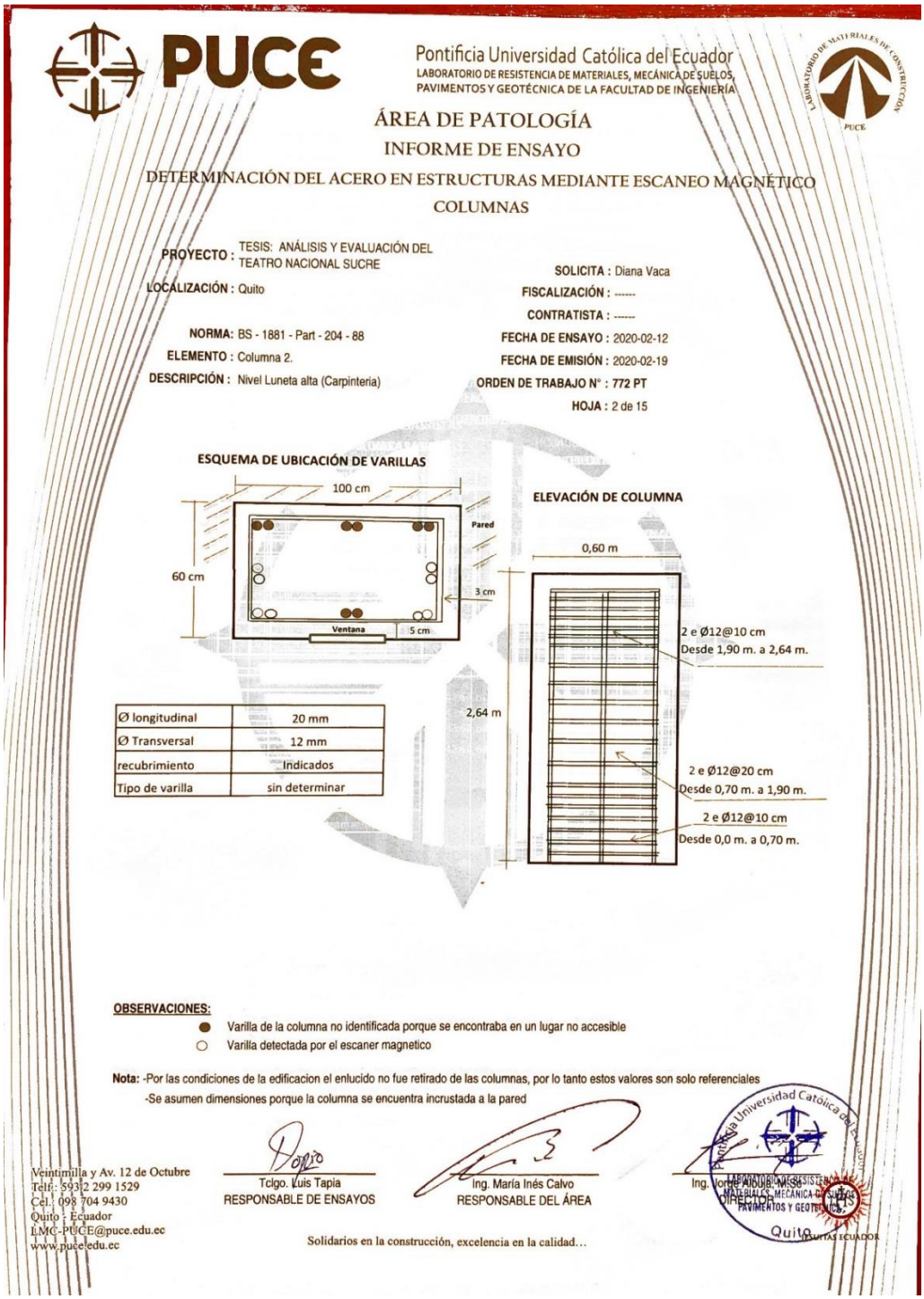
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Arbito, M.Sc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593-2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

27. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 2/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 2.
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta alta (Carpinteria)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 2 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

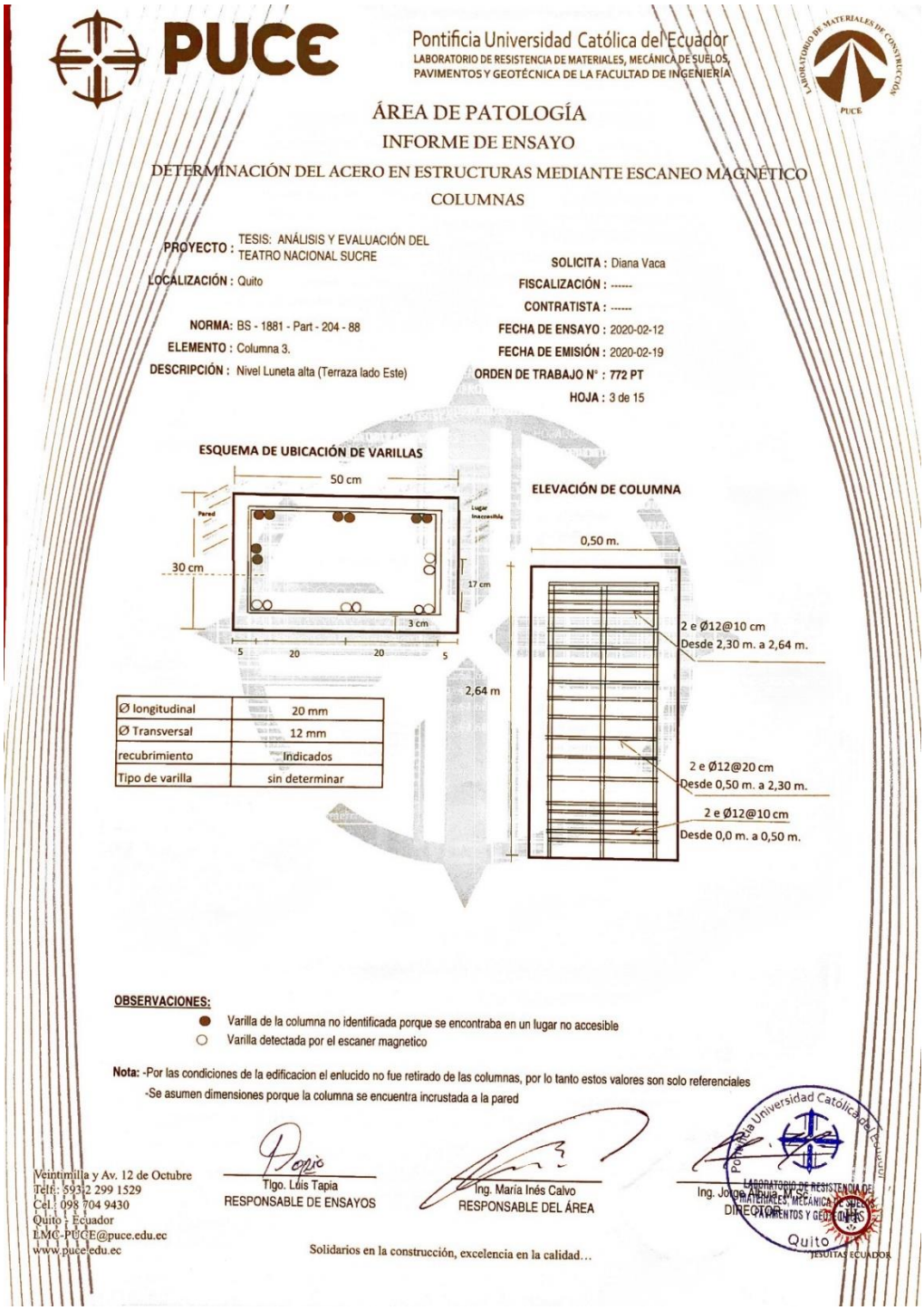
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Adum M.Sc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

28. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 3/15



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 3.
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta alta (Terraza lado Este)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 3 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tlgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

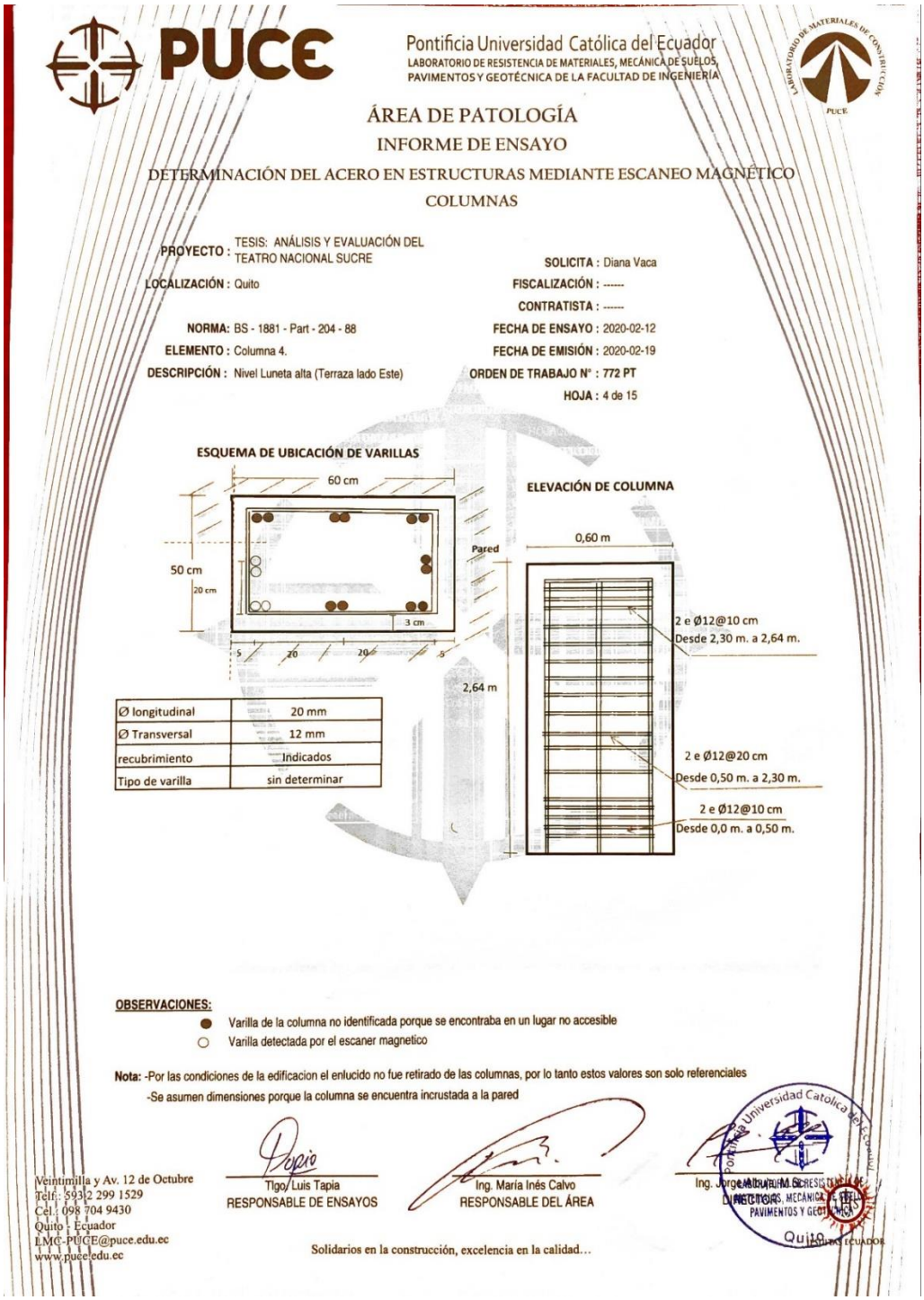
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Andrade M. MSc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

29. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 4/15



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 4.
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta alta (Terraza lado Este)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 4 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

ELEVACIÓN DE COLUMNA

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tlgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

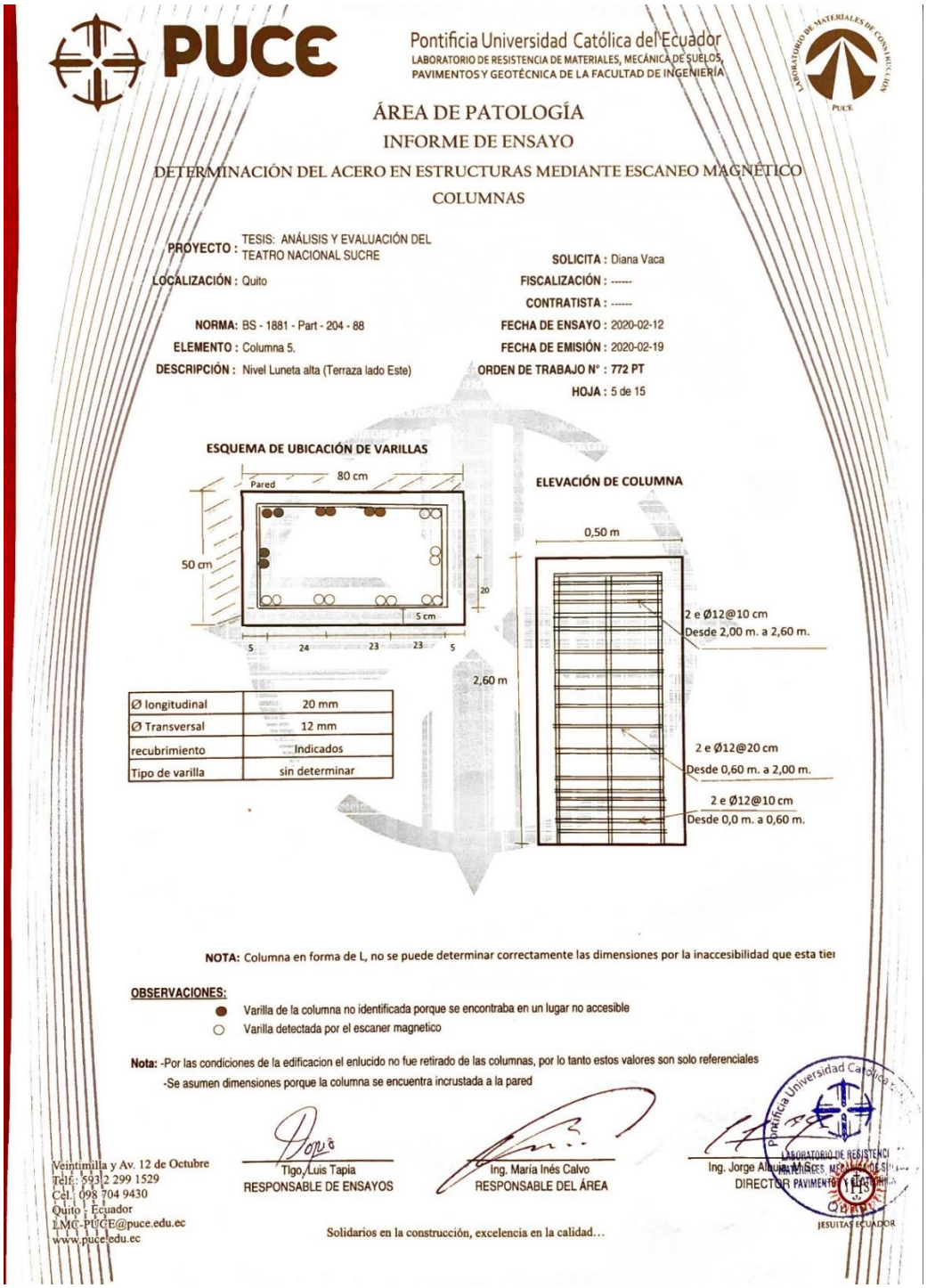
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Muñoz M.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593-2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

30. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 5/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 5.
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta alta (Terraza lado Este)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 5 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

NOTA: Columna en forma de L, no se puede determinar correctamente las dimensiones por la inaccesibilidad que esta tie

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tlgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

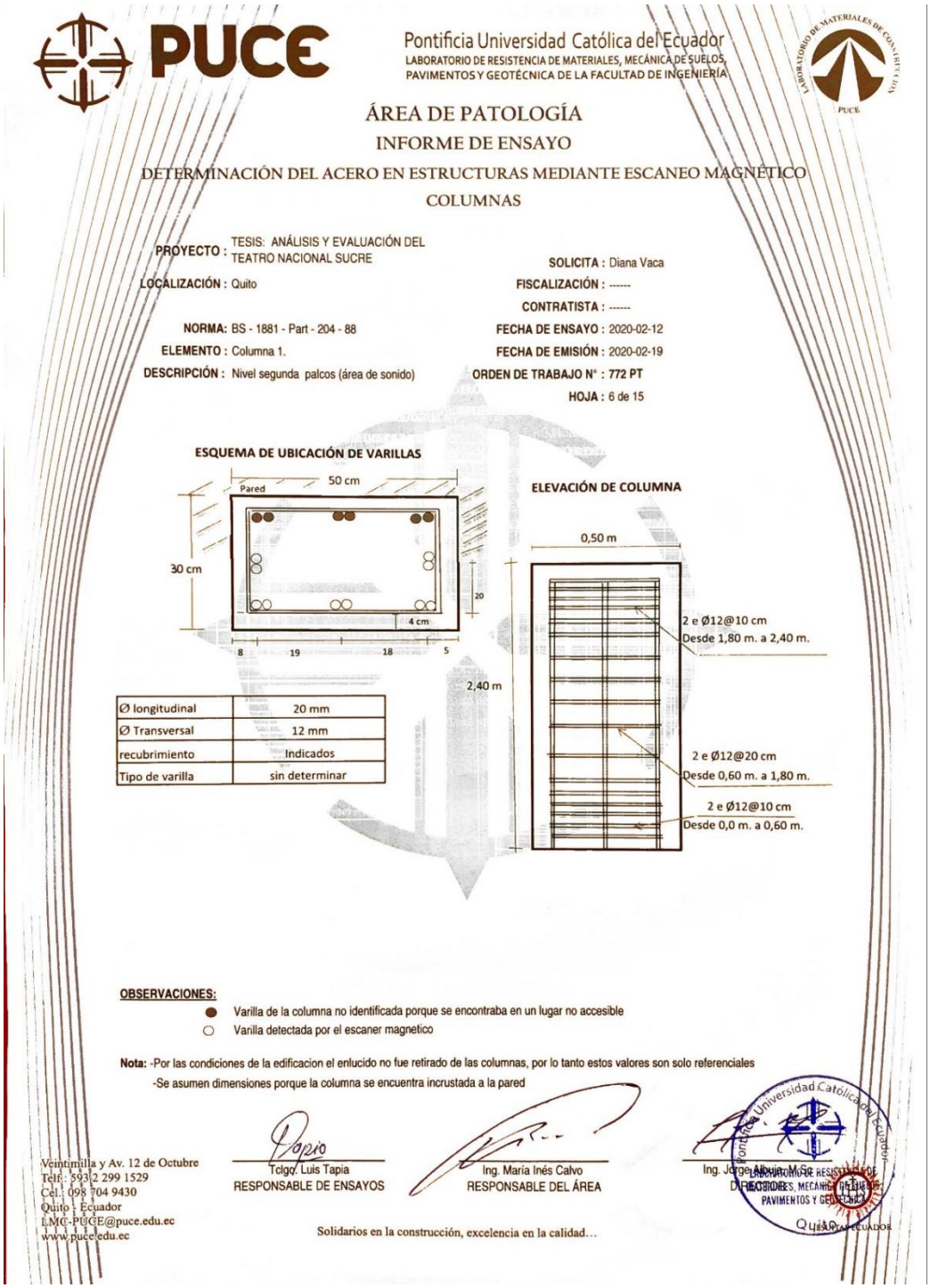
Ing. Jorge Alb[illegible]
DIRECTOR PAVIMENTOS Y [illegible]

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

31. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 6/15



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 1.
DESCRIPCIÓN : Nivel segunda palcos (área de sonido)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 6 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

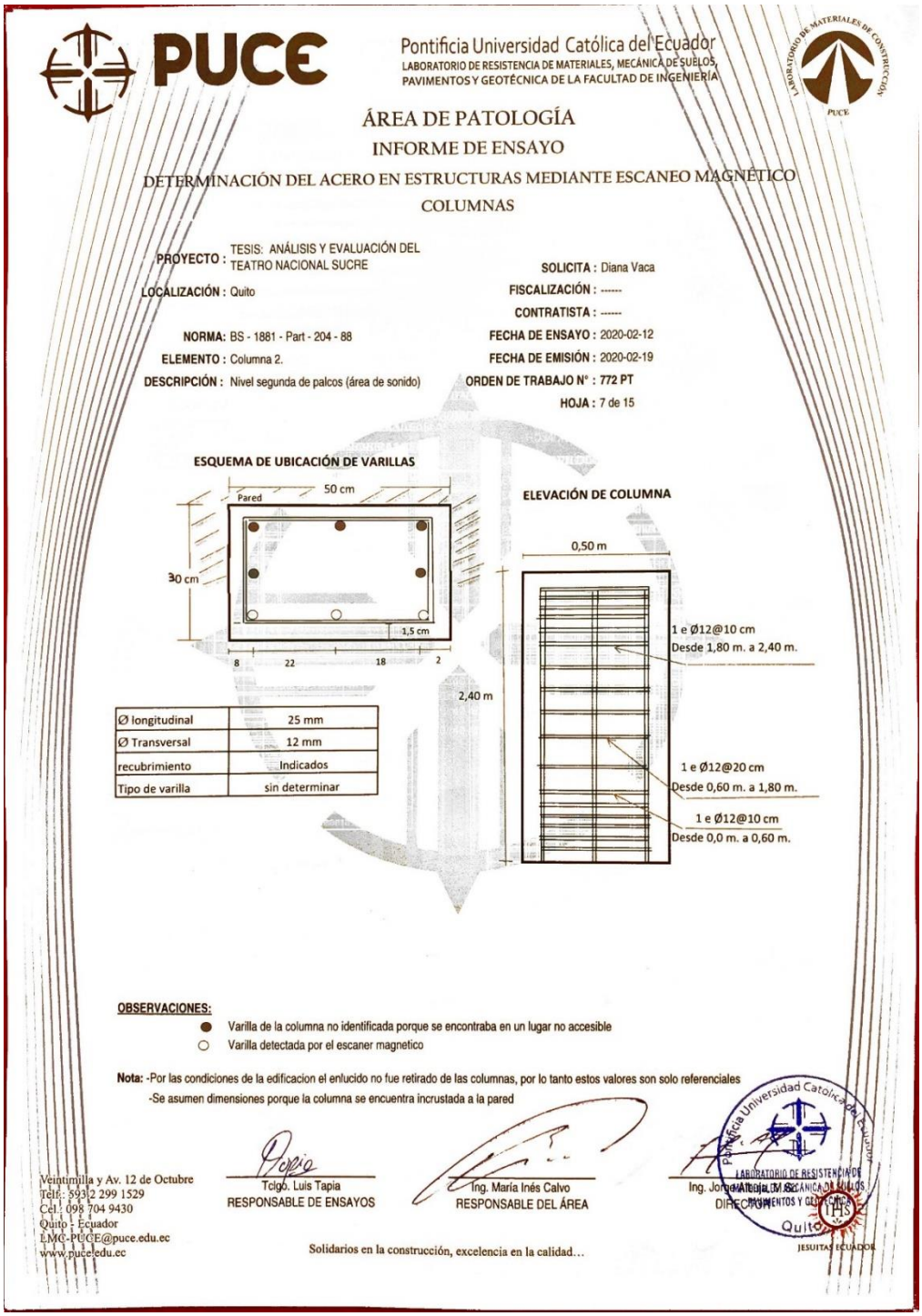
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Alpuja, M.Sc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

32. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 7/15



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 2.
DESCRIPCIÓN : Nivel segunda de palcos (área de sonido)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 7 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	25 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

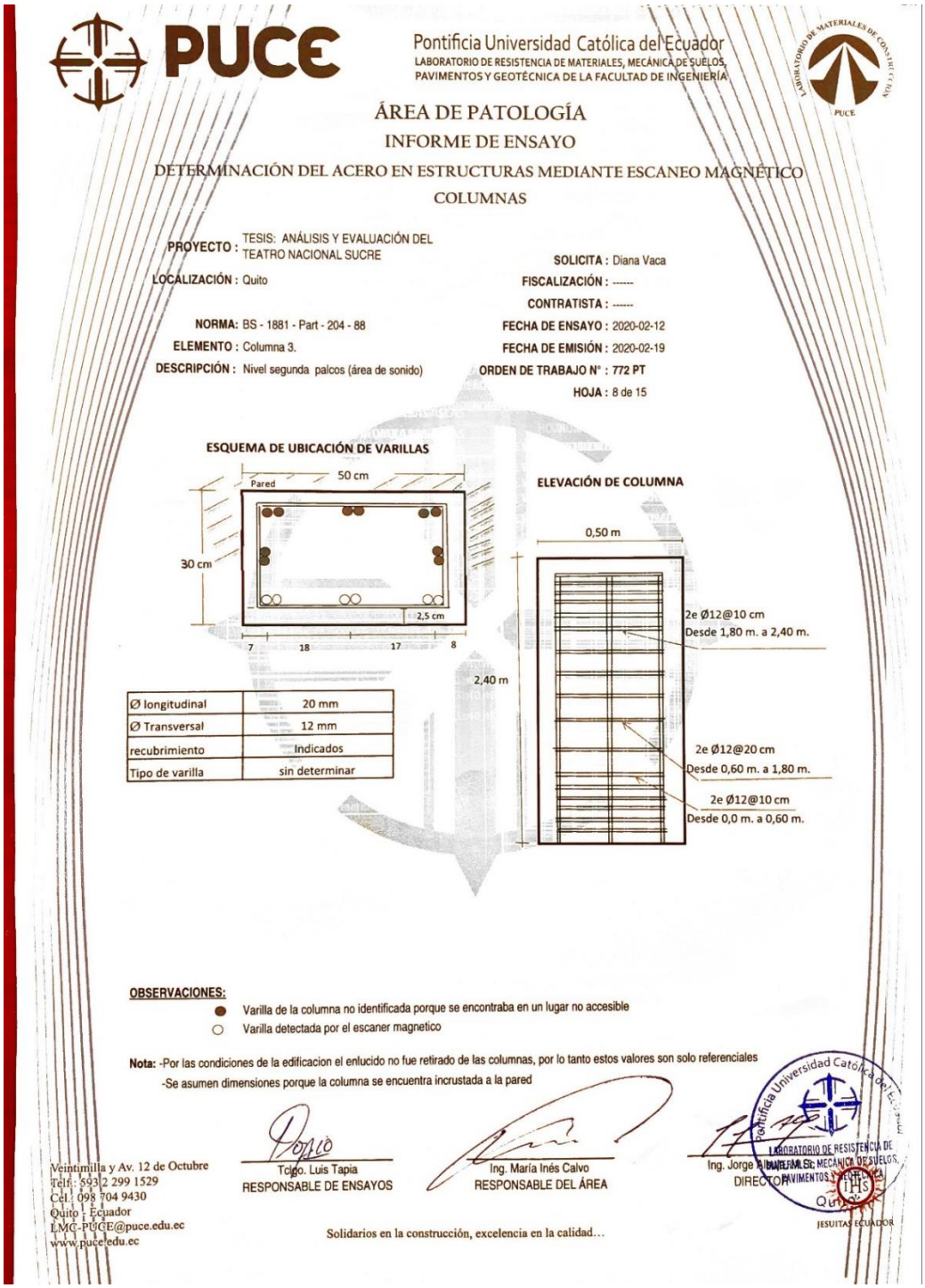
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Abad M. Sc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cél.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

33. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 8/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 3.
DESCRIPCIÓN : Nivel segunda palcos (área de sonido)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 8 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tcgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

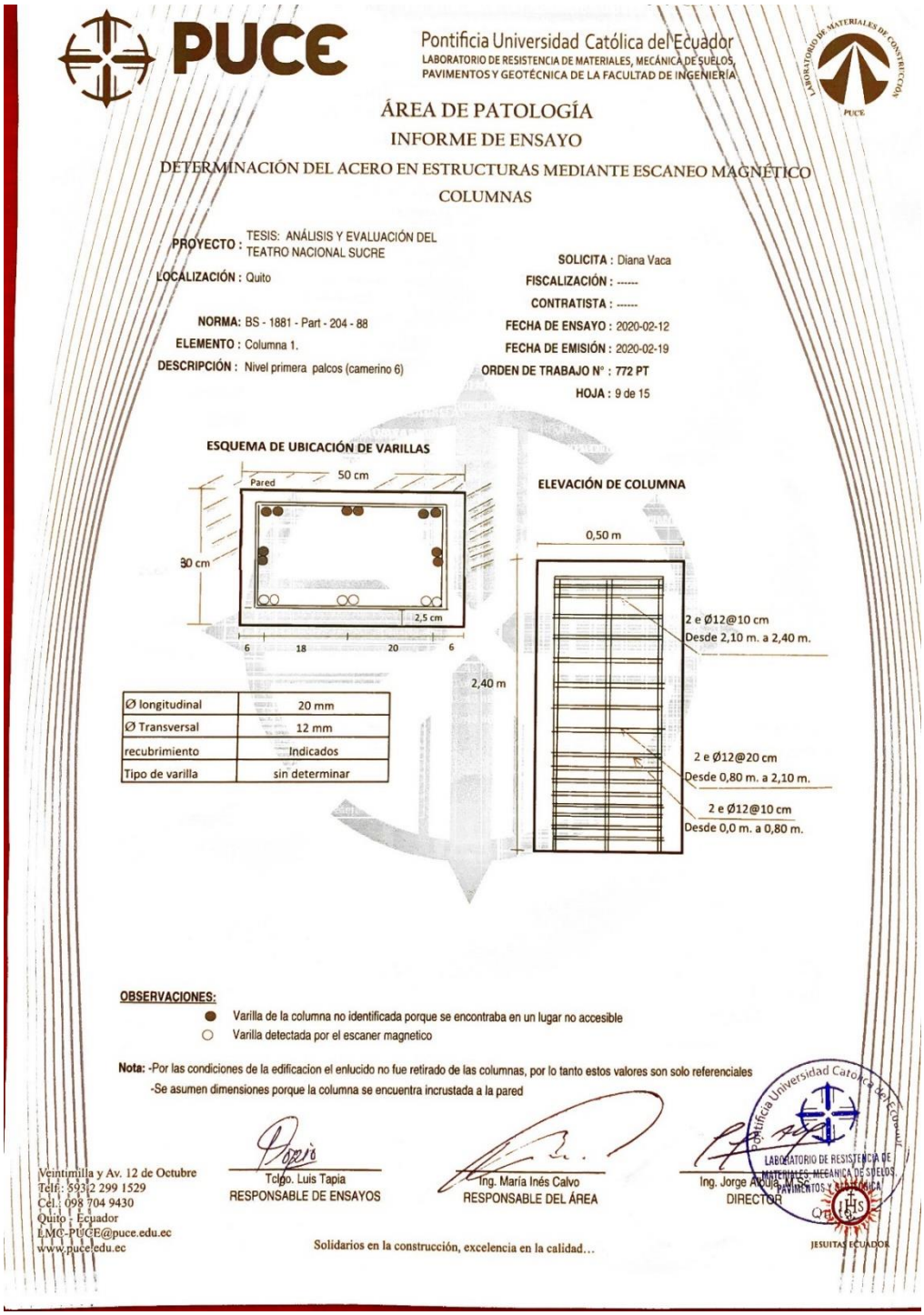
Ing. Jorge Alfredo [illegible]
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

34. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 9/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 1.
DESCRIPCIÓN : Nivel primera palcos (camerino 6)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 9 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tcrgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

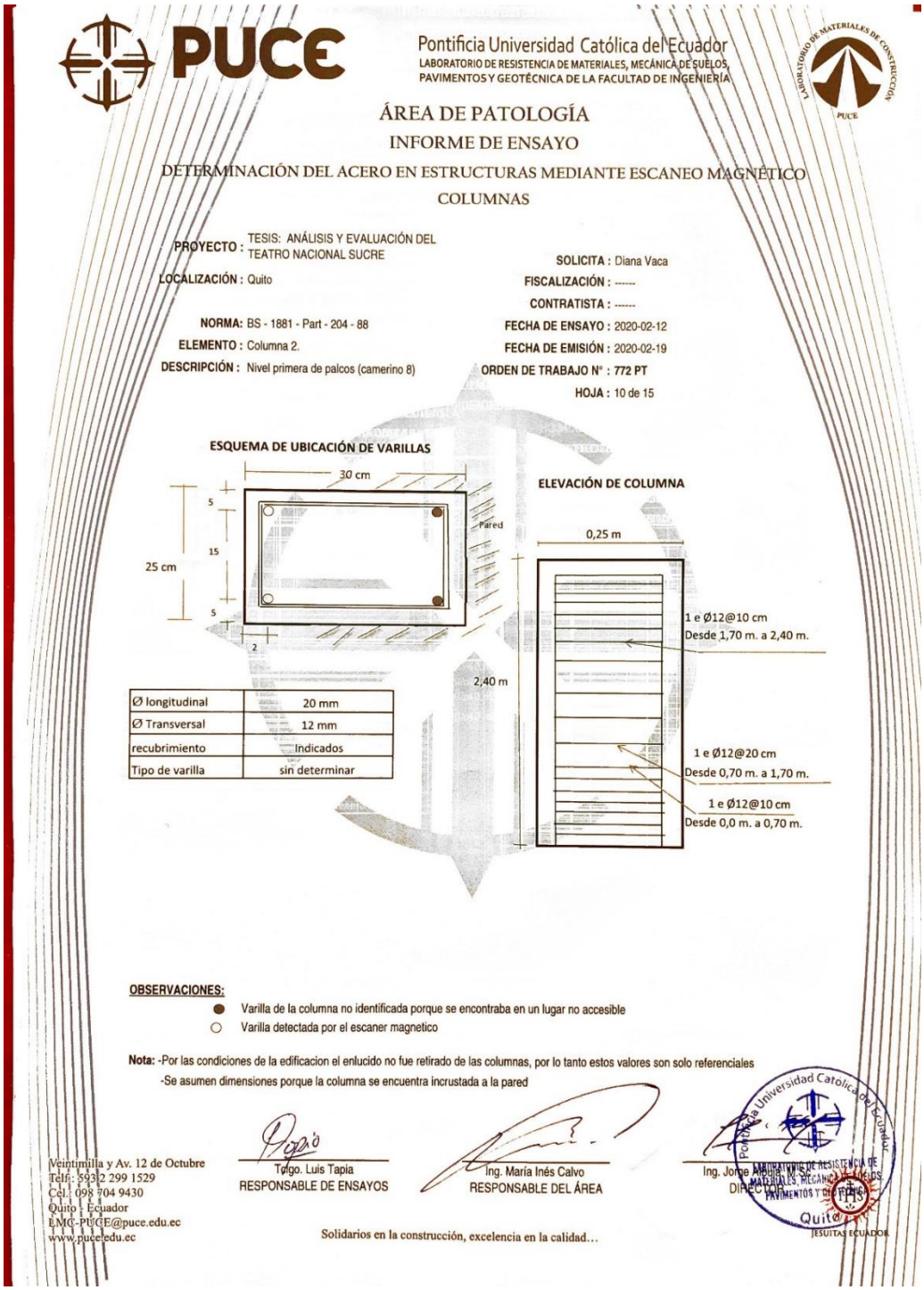
Ing. Jorge Abdul, M.Sc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

35. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 10/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 2.
DESCRIPCIÓN : Nivel primera de palcos (camerino 8)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 10 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tglgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

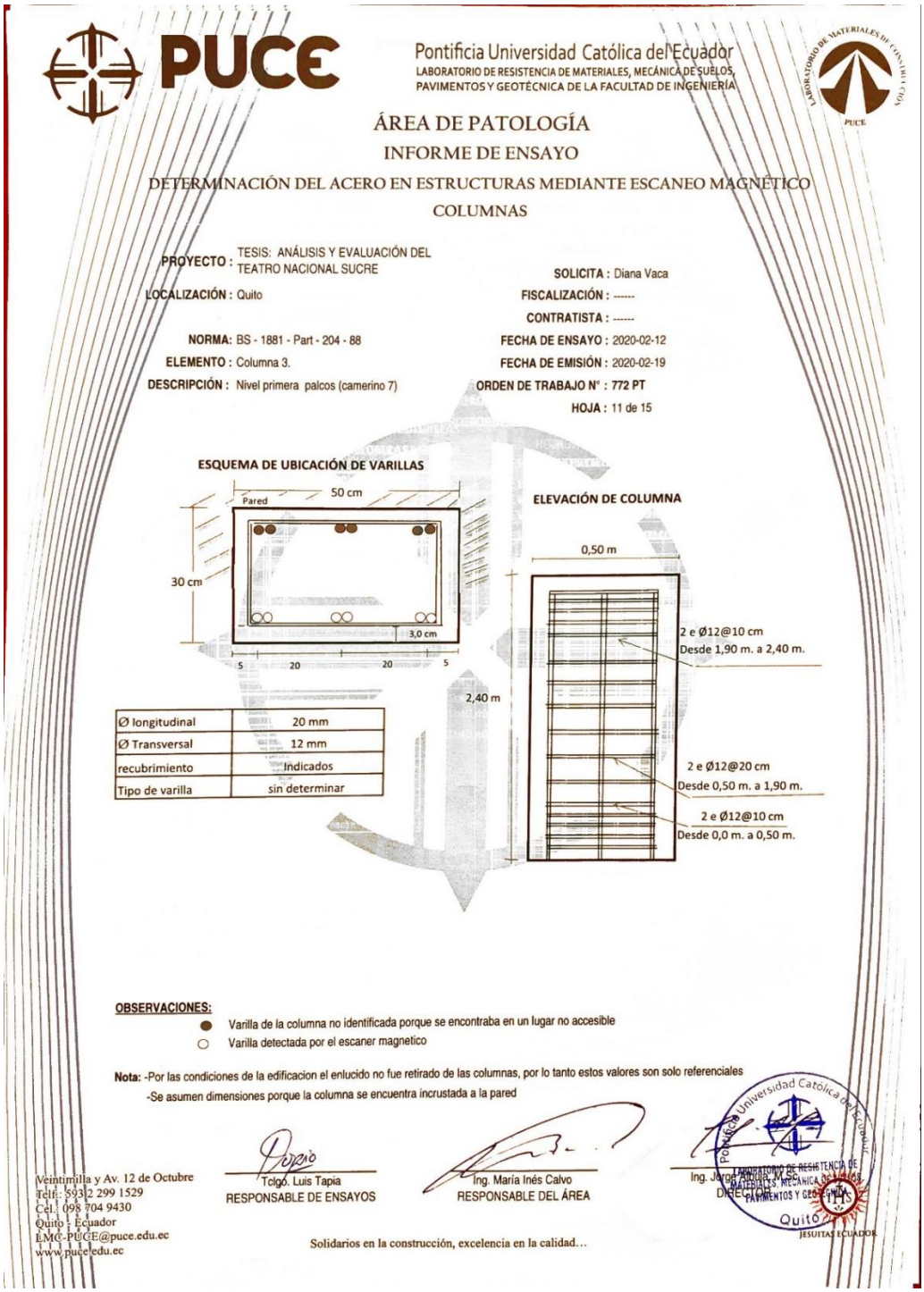
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Abdala M.Sc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

36. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 11/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 3.
DESCRIPCIÓN : Nivel primera palcos (camerino 7)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 11 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

ELEVACIÓN DE COLUMNA

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

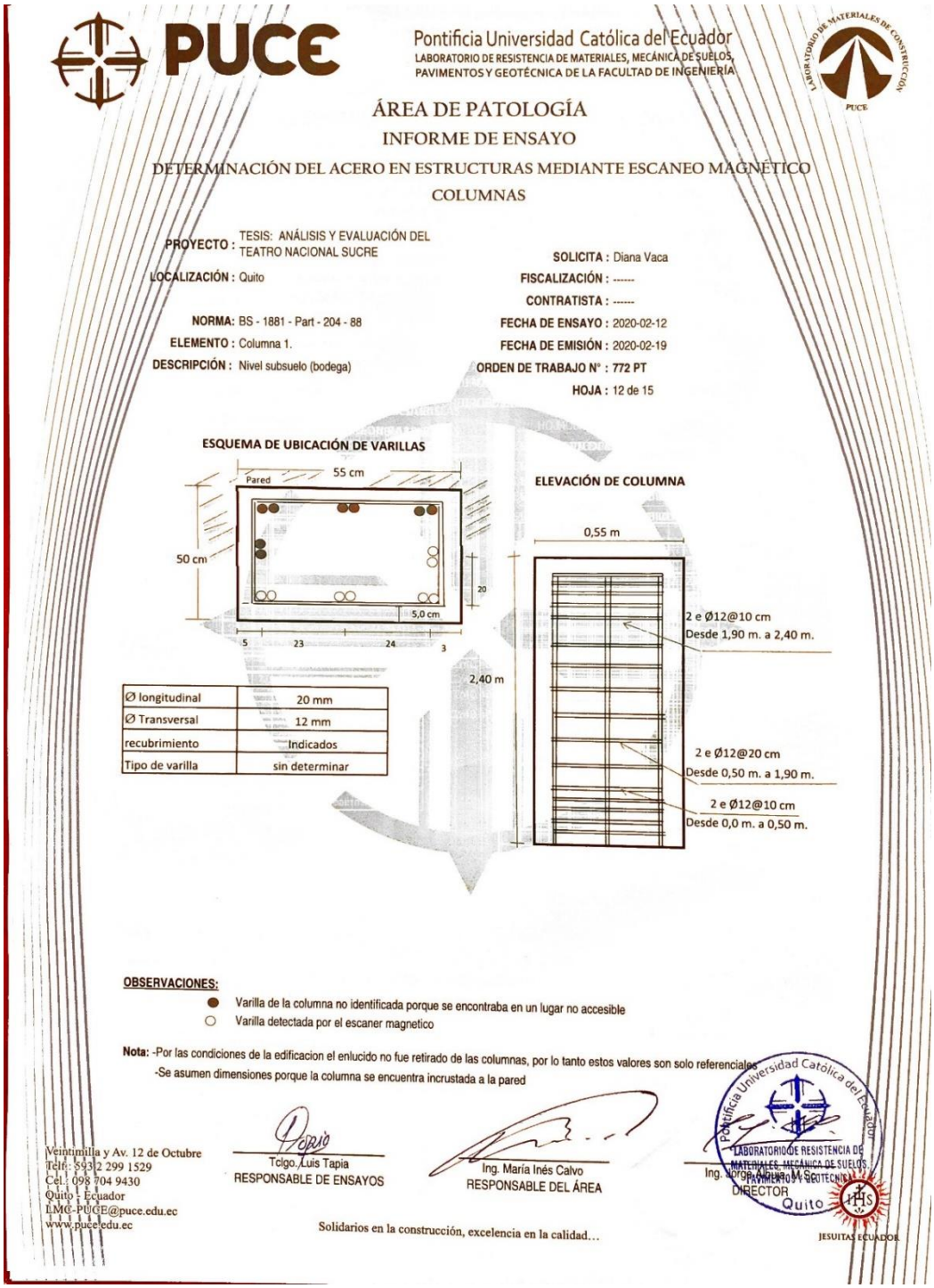
Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Acuña, M.Sc.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

37. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 12/15



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 1.
DESCRIPCIÓN : Nivel subsuelo (bodega)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 12 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

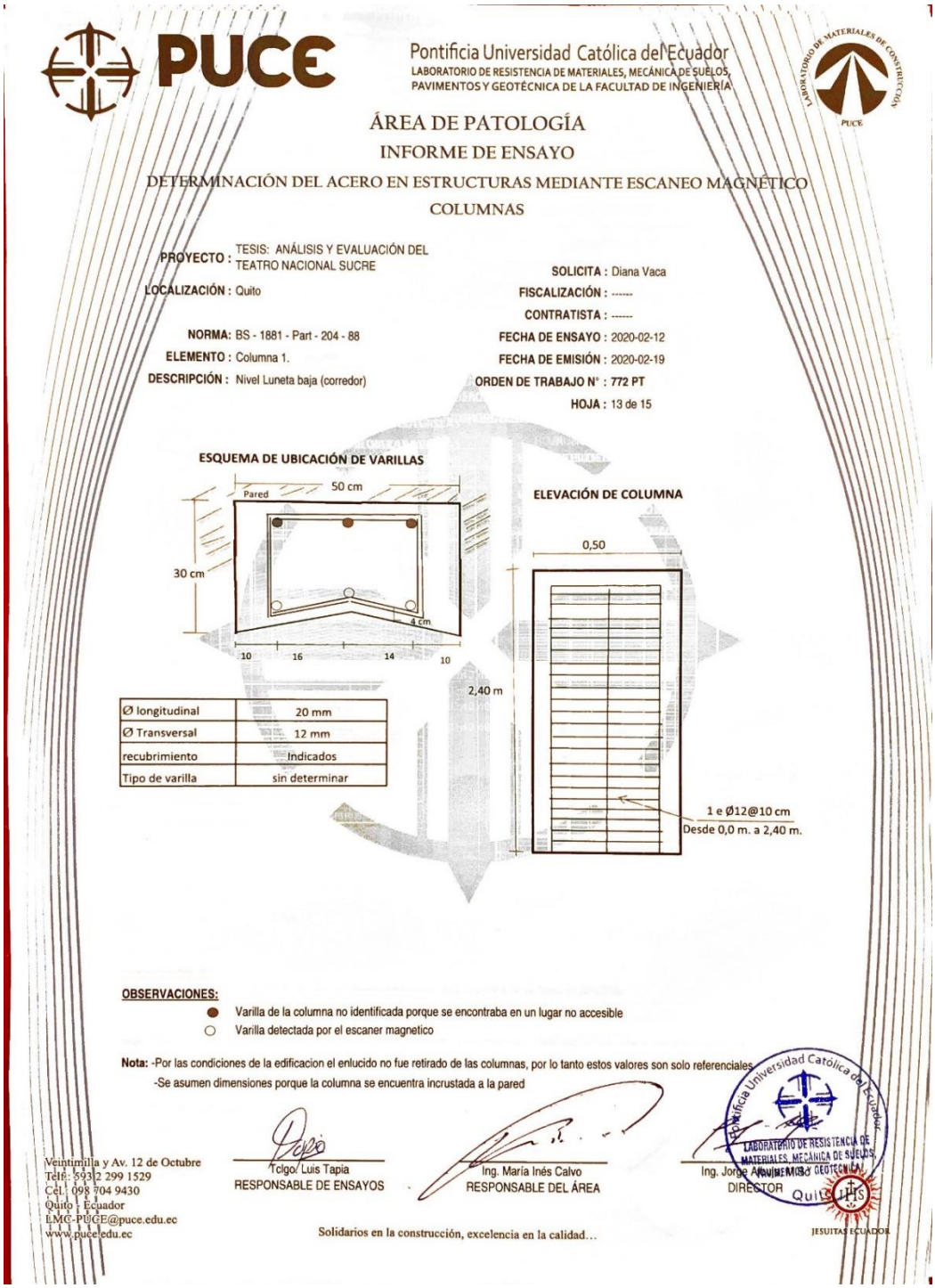
Ing. Jorge Orbea M.
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

38. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 13/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 1.
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta baja (corredor)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 13 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

ELEVACIÓN DE COLUMNA

Ø longitudinal	20 mm
Ø Transversal	12 mm
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Aguilera
DIRECTOR

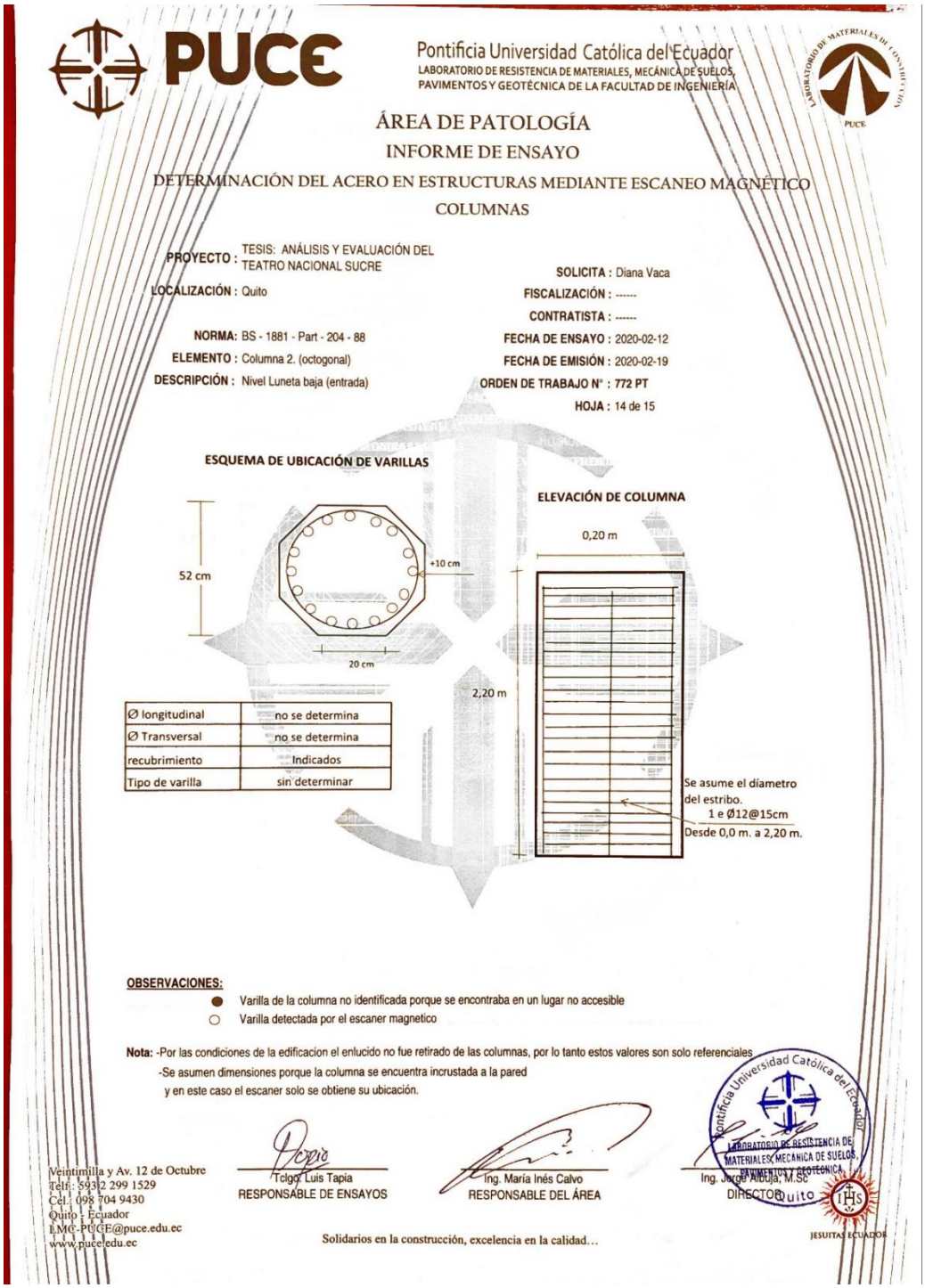
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
Quito

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

39. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 14/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 2. (octogonal)
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta baja (entrada)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 14 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

Ø longitudinal	no se determina
Ø Transversal	no se determina
recubrimiento	Indicados
Tipo de varilla	sin determinar

ELEVACIÓN DE COLUMNA

Se asume el diametro del estribo.
1 e Ø12@15cm
Desde 0,0 m. a 2,20 m.

OBSERVACIONES:

- ● Varilla de la columna no identificada porque se encontraba en un lugar no accesible
- ○ Varilla detectada por el escaner magnetico

Nota: -Por las condiciones de la edificacion el enlucido no fue retirado de las columnas, por lo tanto estos valores son solo referenciales
-Se asumen dimensiones porque la columna se encuentra incrustada a la pared y en este caso el escaner solo se obtiene su ubicación.

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc
DIRECTOR

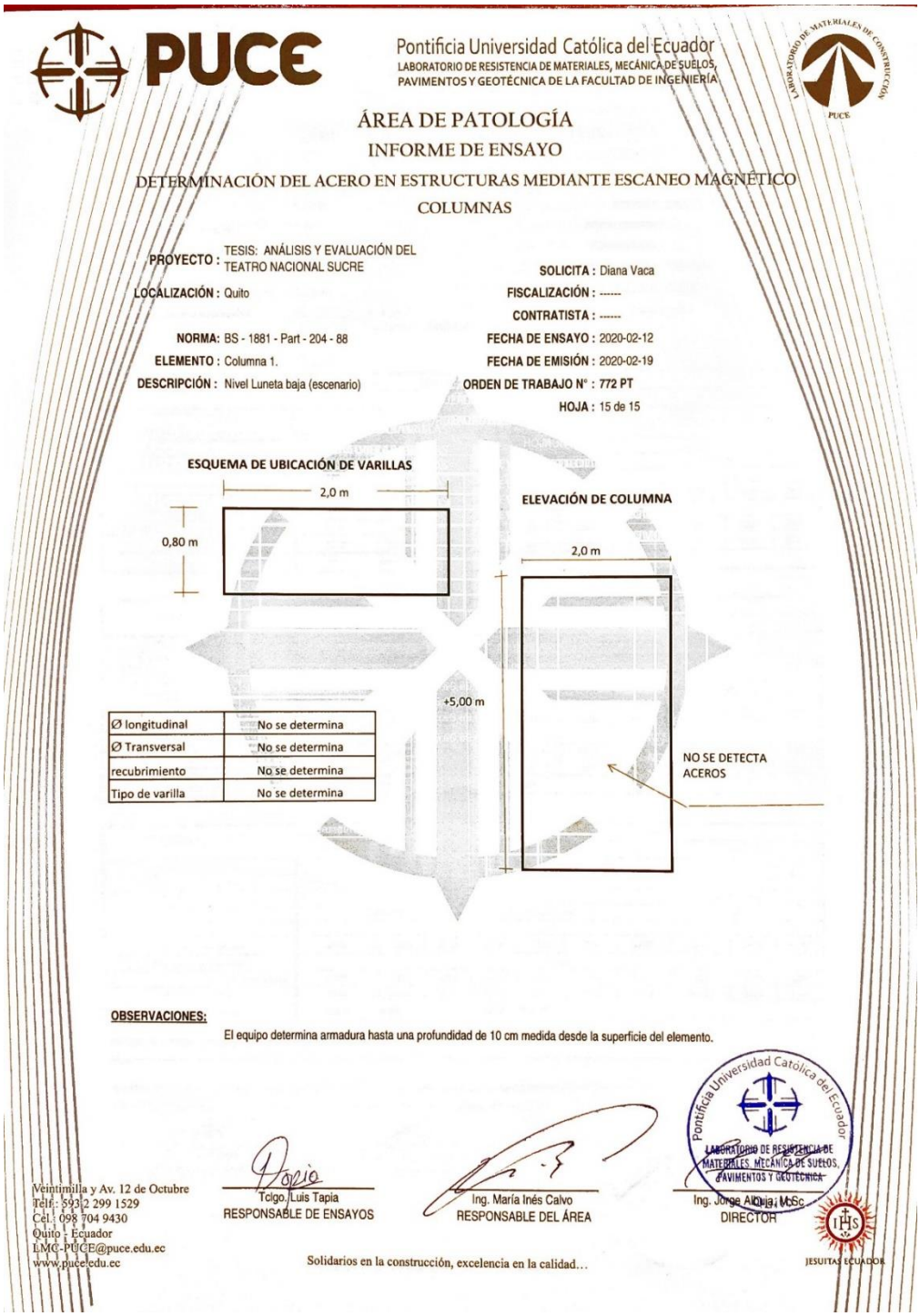
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
Quito

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

40. Resultados Ensayos Escaneo Magnético Pág. 15/15



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA

INFORME DE ENSAYO

DETERMINACIÓN DEL ACERO EN ESTRUCTURAS MEDIANTE ESCANEO MAGNÉTICO

COLUMNAS

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
LOCALIZACIÓN : Quito
NORMA: BS - 1881 - Part - 204 - 88
ELEMENTO : Columna 1.
DESCRIPCIÓN : Nivel Luneta baja (escenario)

SOLICITA : Diana Vaca
FISCALIZACIÓN : ------
CONTRATISTA : ------
FECHA DE ENSAYO : 2020-02-12
FECHA DE EMISIÓN : 2020-02-19
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
HOJA : 15 de 15

ESQUEMA DE UBICACIÓN DE VARILLAS

ELEVACIÓN DE COLUMNA

Ø longitudinal	No se determina
Ø Transversal	No se determina
recubrimiento	No se determina
Tipo de varilla	No se determina

OBSERVACIONES:

El equipo determina armadura hasta una profundidad de 10 cm medida desde la superficie del elemento.

Tcrgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DEL ÁREA

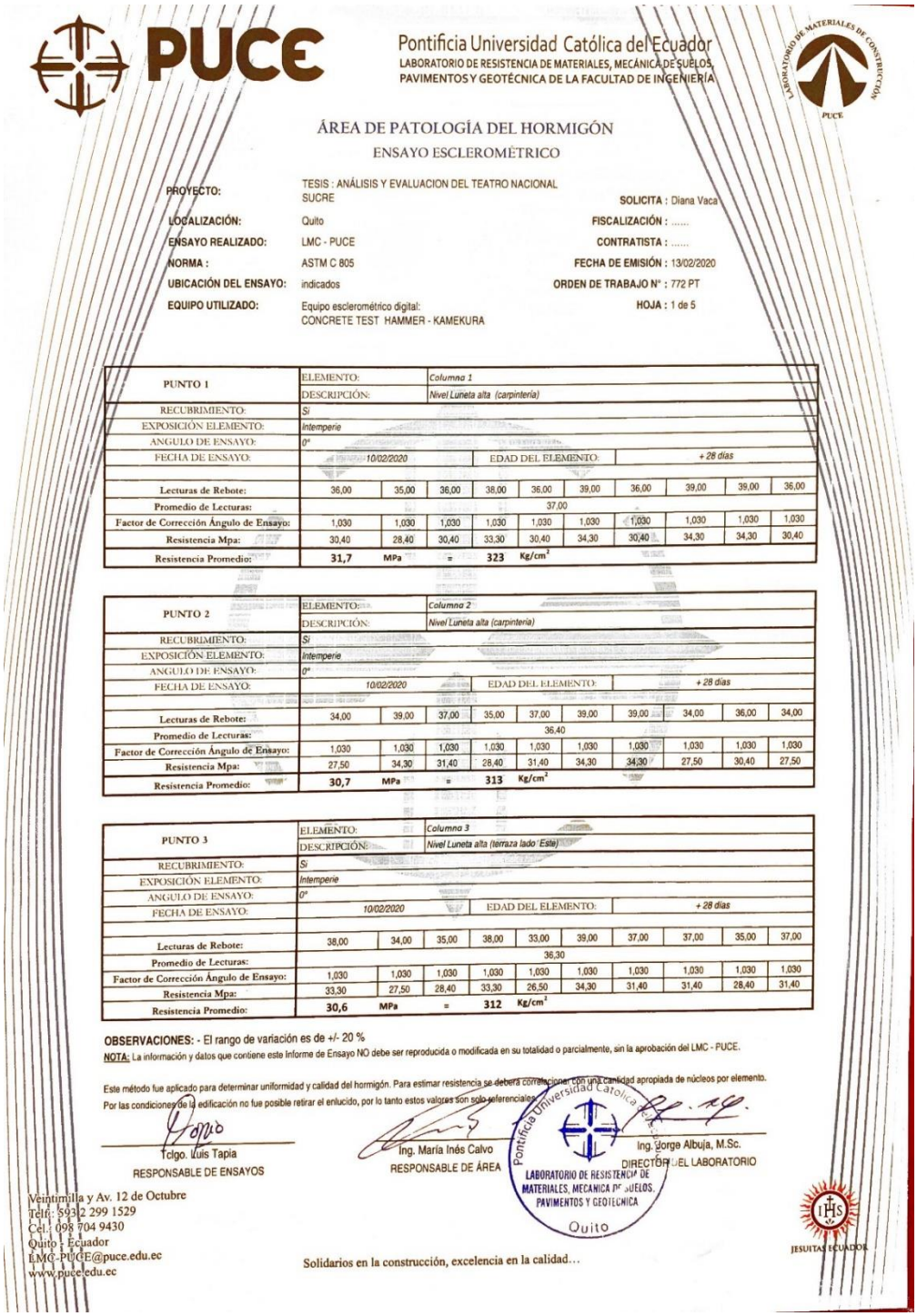
Ing. Jorge Alonso, MSc
DIRECTOR

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

41. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 1/5



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

PROYECTO:	TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACION DEL TEATRO NACIONAL SUCRE	**SOLICITA :**	Diana Vaca
LOCALIZACIÓN:	Quito	**FISCALIZACIÓN :**	.....
ENSAYO REALIZADO:	LMC - PUCE	**CONTRATISTA :**	.....
NORMA :	ASTM C 805	**FECHA DE EMISIÓN :**	13/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO:	indicados	**ORDEN DE TRABAJO N° :**	772 PT
EQUIPO UTILIZADO:	Equipo esclerométrico digital: CONCRETE TEST HAMMER - KAMEKURA	**HOJA :**	1 de 5

PUNTO 1	ELEMENTO:	*Columna 1*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel Luneta alta (carpintería)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:			*+ 28 días*			
Lecturas de Rebote:	36,00	35,00	36,00	38,00	36,00	39,00	36,00	39,00	39,00	36,00
Promedio de Lecturas:	37,00									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	30,40	28,40	30,40	33,30	30,40	34,30	30,40	34,30	34,30	30,40
Resistencia Promedio:	**31,7**	**MPa**	=	**323**	**Kg/cm²**					

PUNTO 2	ELEMENTO:	*Columna 2*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel Luneta alta (carpintería)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:			*+ 28 días*			
Lecturas de Rebote:	34,00	39,00	37,00	35,00	37,00	39,00	39,00	34,00	36,00	34,00
Promedio de Lecturas:	36,40									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	27,50	34,30	31,40	28,40	31,40	34,30	34,30	27,50	30,40	27,50
Resistencia Promedio:	**30,7**	**MPa**	=	**313**	**Kg/cm²**					

PUNTO 3	ELEMENTO:	*Columna 3*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel Luneta alta (terraza lado Este)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:			*+ 28 días*			
Lecturas de Rebote:	38,00	34,00	35,00	38,00	33,00	39,00	37,00	37,00	35,00	37,00
Promedio de Lecturas:	36,30									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	33,30	27,50	28,40	33,30	26,50	34,30	31,40	31,40	28,40	31,40
Resistencia Promedio:	**30,6**	**MPa**	=	**312**	**Kg/cm²**					

OBSERVACIONES: - El rango de variación es de +/- 20 %

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

Este método fue aplicado para determinar uniformidad y calidad del hormigón. Para estimar resistencia se debería correlacionar con una cantidad apropiada de núcleos por elemento.
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tcrgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

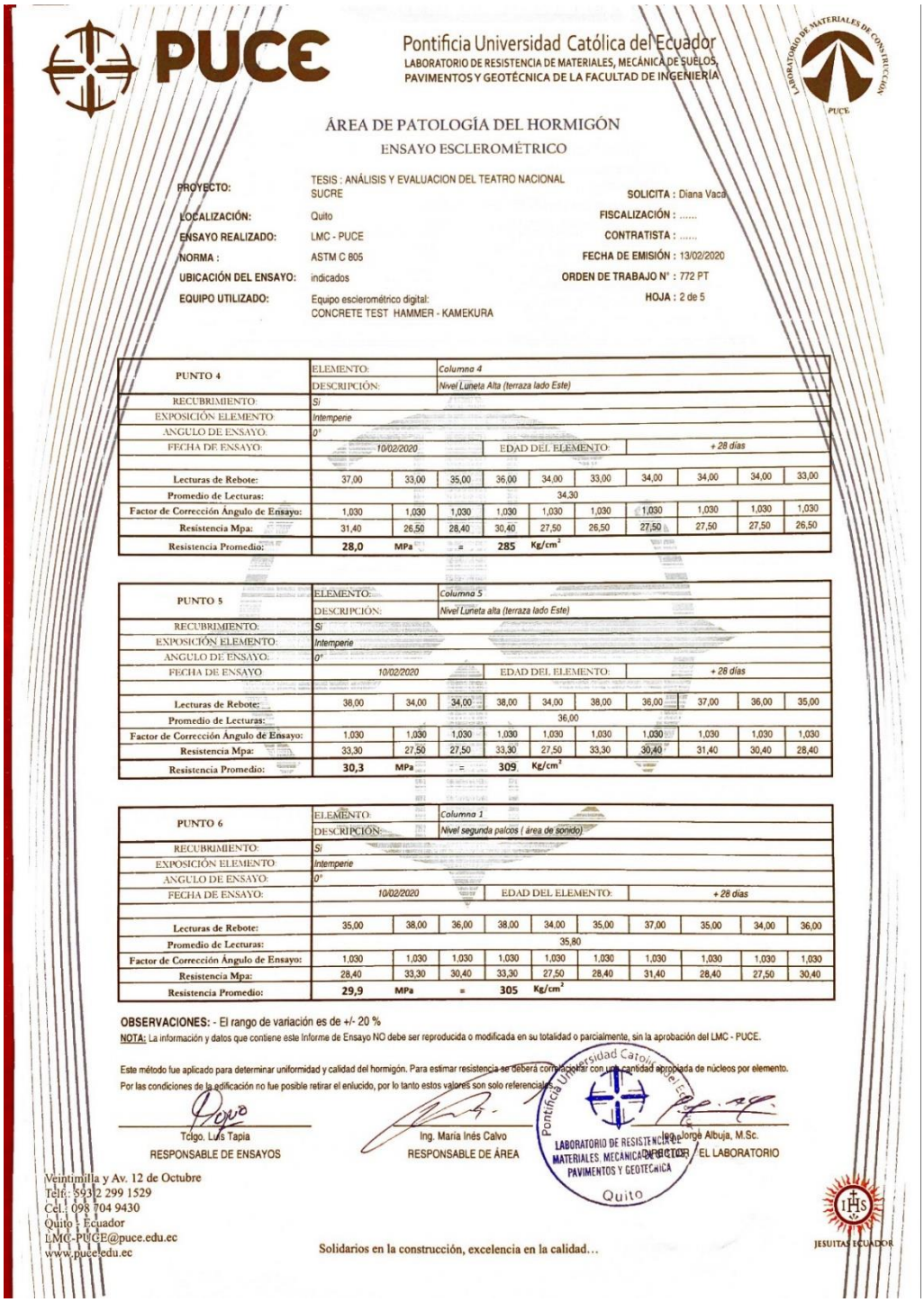
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA
Quito

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

42. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 2/5



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

PROYECTO:	TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACION DEL TEATRO NACIONAL SUCRE	**SOLICITA :**	Diana Vaca
LOCALIZACIÓN:	Quito	**FISCALIZACIÓN :**	.....
ENSAYO REALIZADO:	LMC - PUCE	**CONTRATISTA :**	.....
NORMA :	ASTM C 805	**FECHA DE EMISIÓN :**	13/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO:	indicados	**ORDEN DE TRABAJO N° :**	772 PT
EQUIPO UTILIZADO:	Equipo esclerométrico digital: CONCRETE TEST HAMMER - KAMEKURA	**HOJA :**	2 de 5

PUNTO 4	ELEMENTO:	*Columna 4*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel Luneta Alta (terraza lado Este)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:			*+ 28 días*			
Lecturas de Rebote:	37,00	33,00	35,00	36,00	34,00	33,00	34,00	34,00	34,00	33,00
Promedio de Lecturas:	34,30									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	31,40	26,50	28,40	30,40	27,50	26,50	27,50	27,50	27,50	26,50
Resistencia Promedio:	**28,0**	**MPa**	=	**285**	**Kg/cm²**					

PUNTO 5	ELEMENTO:	*Columna 5*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel Luneta alta (terraza lado Este)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:			*+ 28 días*			
Lecturas de Rebote:	38,00	34,00	34,00	38,00	34,00	38,00	36,00	37,00	36,00	35,00
Promedio de Lecturas:	36,00									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	33,30	27,50	27,50	33,30	27,50	33,30	30,40	31,40	30,40	28,40
Resistencia Promedio:	**30,3**	**MPa**	=	**309**	**Kg/cm²**					

PUNTO 6	ELEMENTO:	*Columna 1*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel segunda palcos (área de sonido)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:			*+ 28 días*			
Lecturas de Rebote:	35,00	38,00	36,00	38,00	34,00	35,00	37,00	35,00	34,00	36,00
Promedio de Lecturas:	35,80									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	28,40	33,30	30,40	33,30	27,50	28,40	31,40	28,40	27,50	30,40
Resistencia Promedio:	**29,9**	**MPa**	=	**305**	**Kg/cm²**					

OBSERVACIONES: - El rango de variación es de +/- 20 %

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

Este método fue aplicado para determinar uniformidad y calidad del hormigón. Para estimar resistencia se deberá correlacionar con una cantidad apropiada de núcleos por elemento.
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

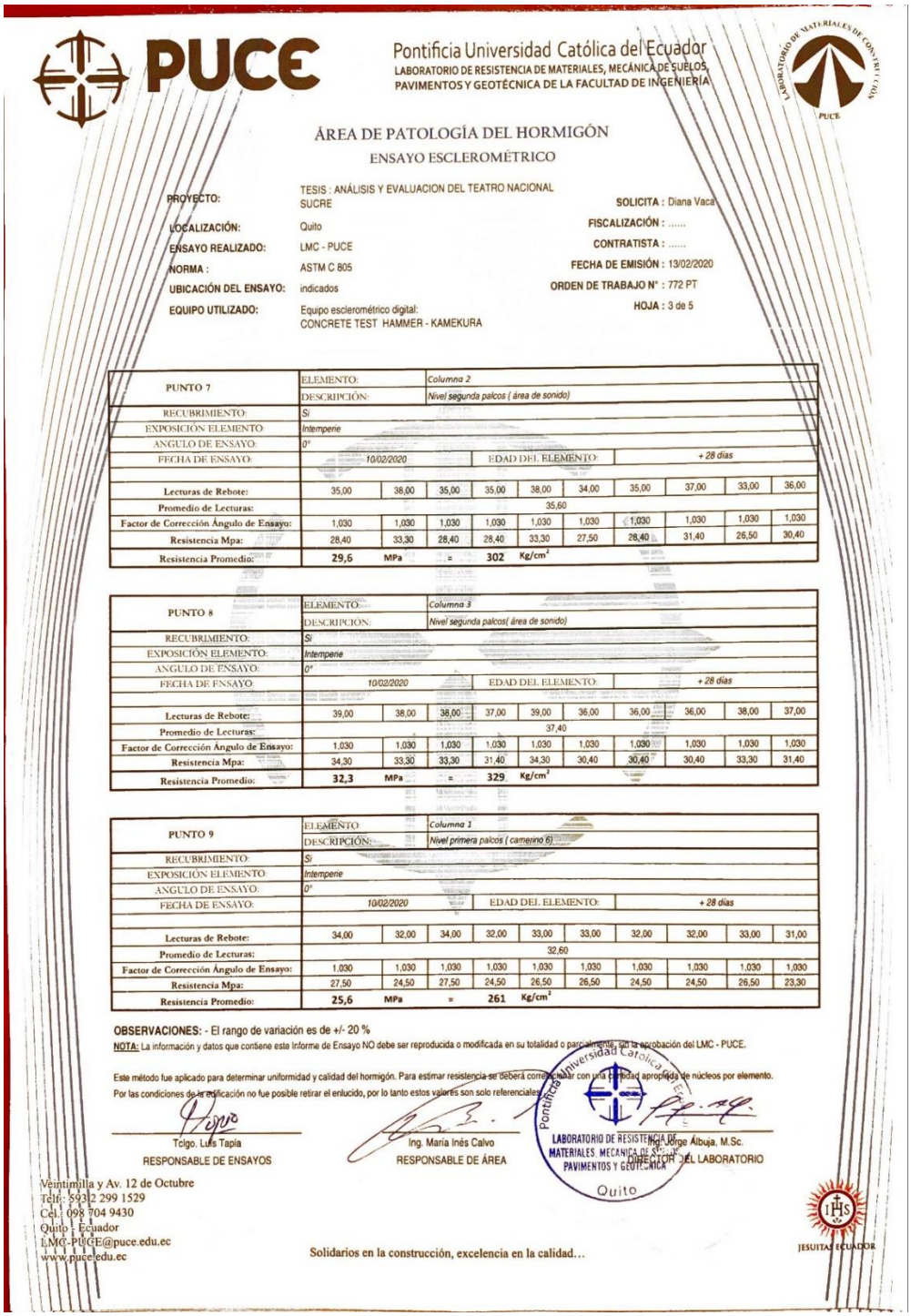
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
Quito

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 5932 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad…

JESUITAS ECUADOR

43. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 3/5



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

PROYECTO: TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACION DEL TEATRO NACIONAL SUCRE
SOLICITA : Diana Vaca
LOCALIZACIÓN: Quito
FISCALIZACIÓN : .....
ENSAYO REALIZADO: LMC - PUCE
CONTRATISTA : .....
NORMA : ASTM C 805
FECHA DE EMISIÓN : 13/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO: indicados
ORDEN DE TRABAJO N° : 772 PT
EQUIPO UTILIZADO: Equipo esclerométrico digital: CONCRETE TEST HAMMER - KAMEKURA
HOJA : 3 de 5

PUNTO 7	ELEMENTO:	Columna 2									
	DESCRIPCIÓN:	Nivel segunda palcos (área de sonido)									
RECUBRIMIENTO:	Si										
EXPOSICIÓN ELEMENTO	Intemperie										
ANGULO DE ENSAYO:	0°										
FECHA DE ENSAYO:	10/02/2020			EDAD DEL ELEMENTO:			+ 28 días				
Lecturas de Rebote:	35,00	38,00	35,00	35,00	38,00	34,00	35,00	37,00	33,00	36,00	
Promedio de Lecturas:	35,60										
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	
Resistencia Mpa:	28,40	33,30	28,40	28,40	33,30	27,50	28,40	31,40	26,50	30,40	
Resistencia Promedio:	29,6	MPa	=	302	Kg/cm²						

PUNTO 8	ELEMENTO:	Columna 3									
	DESCRIPCION:	Nivel segunda palcos(área de sonido)									
RECUBRIMIENTO:	Si										
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	Intempene										
ANGULO DE ENSAYO:	0°										
FECHA DE ENSAYO:	10/02/2020			EDAD DEL ELEMENTO:			+ 28 días				
Lecturas de Rebote:	39,00	38,00	38,00	37,00	39,00	36,00	36,00	36,00	38,00	37,00	
Promedio de Lecturas:	37,40										
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	
Resistencia Mpa:	34,30	33,30	33,30	31,40	34,30	30,40	30,40	30,40	33,30	31,40	
Resistencia Promedio:	32,3	MPa	=	329	Kg/cm²						

PUNTO 9	ELEMENTO:	Columna 1									
	DESCRIPCIÓN:	Nivel primera palcos (camerino 6)									
RECUBRIMIENTO:	Si										
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	Intemperie										
ANGULO DE ENSAYO:	0°										
FECHA DE ENSAYO:	10/02/2020			EDAD DEL ELEMENTO:			+ 28 días				
Lecturas de Rebote:	34,00	32,00	34,00	32,00	33,00	33,00	32,00	32,00	33,00	31,00	
Promedio de Lecturas:	32,60										
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	
Resistencia Mpa:	27,50	24,50	27,50	24,50	26,50	26,50	24,50	24,50	26,50	23,30	
Resistencia Promedio:	25,6	MPa	=	261	Kg/cm²						

OBSERVACIONES: - El rango de variación es de +/- 20 %

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

Este método fue aplicado para determinar uniformidad y calidad del hormigón. Para estimar resistencia se deberá correlacionar con una cantidad apropiada de núcleos por elemento.
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DE ÁREA

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA
Quito

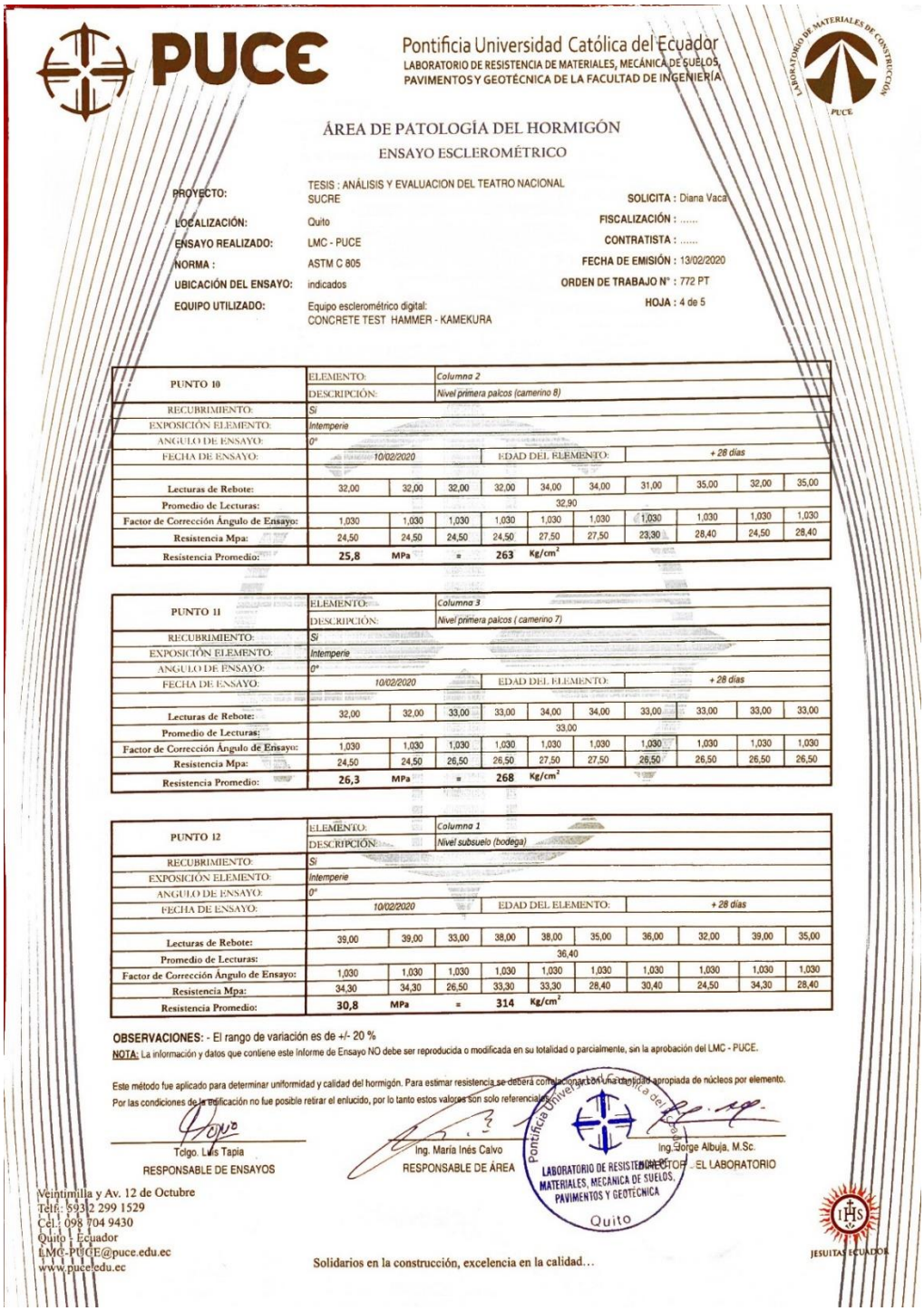
Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 2512 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

44. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 4/5



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

PROYECTO:	TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACION DEL TEATRO NACIONAL SUCRE	**SOLICITA :**	Diana Vaca
LOCALIZACIÓN:	Quito	**FISCALIZACIÓN :**	.....
ENSAYO REALIZADO:	LMC - PUCE	**CONTRATISTA :**	.....
NORMA :	ASTM C 805	**FECHA DE EMISIÓN :**	13/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO:	indicados	**ORDEN DE TRABAJO N° :**	772 PT
EQUIPO UTILIZADO:	Equipo esclerométrico digital: CONCRETE TEST HAMMER - KAMEKURA	**HOJA :**	4 de 5

PUNTO 10										
ELEMENTO:	Columna 2									
DESCRIPCIÓN:	Nivel primera palcos (camerino 8)									
RECUBRIMIENTO:	Si									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	Intemperie									
ANGULO DE ENSAYO:	0°									
FECHA DE ENSAYO:	10/02/2020			EDAD DEL ELEMENTO:			+ 28 días			
Lecturas de Rebote:	32,00	32,00	32,00	32,00	34,00	34,00	31,00	35,00	32,00	35,00
Promedio de Lecturas:	32,90									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	24,50	24,50	24,50	24,50	27,50	27,50	23,30	28,40	24,50	28,40
Resistencia Promedio:	25,8	MPa	=	263	Kg/cm²					

PUNTO 11										
ELEMENTO:	Columna 3									
DESCRIPCIÓN:	Nivel primera palcos (camerino 7)									
RECUBRIMIENTO:	Si									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	Intemperie									
ANGULO DE ENSAYO:	0°									
FECHA DE ENSAYO:	10/02/2020			EDAD DEL ELEMENTO:			+ 28 días			
Lecturas de Rebote:	32,00	32,00	33,00	33,00	34,00	34,00	33,00	33,00	33,00	33,00
Promedio de Lecturas:	33,00									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	24,50	24,50	26,50	26,50	27,50	27,50	26,50	26,50	26,50	26,50
Resistencia Promedio:	26,3	MPa	=	268	Kg/cm²					

PUNTO 12										
ELEMENTO:	Columna 1									
DESCRIPCIÓN:	Nivel subsuelo (bodega)									
RECUBRIMIENTO:	Si									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	Intemperie									
ANGULO DE ENSAYO:	0°									
FECHA DE ENSAYO:	10/02/2020			EDAD DEL ELEMENTO:			+ 28 días			
Lecturas de Rebote:	39,00	39,00	33,00	38,00	38,00	35,00	36,00	32,00	39,00	35,00
Promedio de Lecturas:	36,40									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	34,30	34,30	26,50	33,30	33,30	28,40	30,40	24,50	34,30	28,40
Resistencia Promedio:	30,8	MPa	=	314	Kg/cm²					

OBSERVACIONES: - El rango de variación es de +/- 20 %

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

Este método fue aplicado para determinar uniformidad y calidad del hormigón. Para estimar resistencia se deberá correlacionar con una cantidad apropiada de núcleos por elemento.
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tcrgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

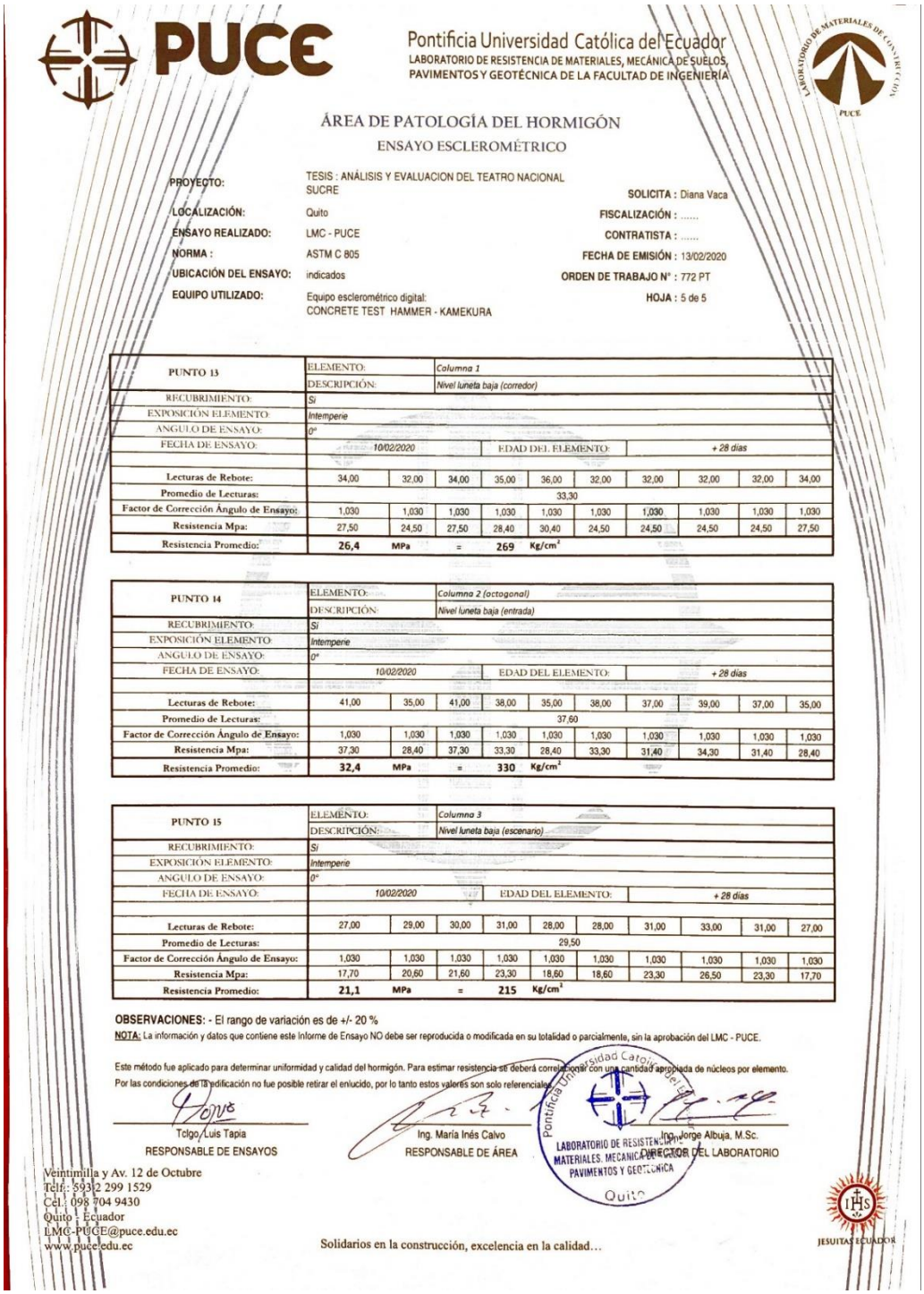
Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNIA
Quito

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cél.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

45. Resultados Ensayos Esclerométrico Pág. 5/5



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ÁREA DE PATOLOGÍA DEL HORMIGÓN

ENSAYO ESCLEROMÉTRICO

PROYECTO:	TESIS : ANÁLISIS Y EVALUACION DEL TEATRO NACIONAL SUCRE	**SOLICITA :**	Diana Vaca
LOCALIZACIÓN:	Quito	**FISCALIZACIÓN :**	.....
ENSAYO REALIZADO:	LMC - PUCE	**CONTRATISTA :**	.....
NORMA :	ASTM C 805	**FECHA DE EMISIÓN :**	13/02/2020
UBICACIÓN DEL ENSAYO:	indicados	**ORDEN DE TRABAJO N° :**	772 PT
EQUIPO UTILIZADO:	Equipo esclerométrico digital: CONCRETE TEST HAMMER - KAMEKURA	**HOJA :**	5 de 5

PUNTO 13	ELEMENTO:	*Columna 1*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel luneta baja (corredor)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:		*+ 28 días*				
Lecturas de Rebote:	34,00	32,00	34,00	35,00	36,00	32,00	32,00	32,00	32,00	34,00
Promedio de Lecturas:	33,30									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	27,50	24,50	27,50	28,40	30,40	24,50	24,50	24,50	24,50	27,50
Resistencia Promedio:	**26,4**	**MPa**	=	**269**	**Kg/cm²**					

PUNTO 14	ELEMENTO:	*Columna 2 (octogonal)*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel luneta baja (entrada)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:		*+ 28 días*				
Lecturas de Rebote:	41,00	35,00	41,00	38,00	35,00	38,00	37,00	39,00	37,00	35,00
Promedio de Lecturas:	37,60									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	37,30	28,40	37,30	33,30	28,40	33,30	31,40	34,30	31,40	28,40
Resistencia Promedio:	**32,4**	**MPa**	=	**330**	**Kg/cm²**					

PUNTO 15	ELEMENTO:	*Columna 3*								
	DESCRIPCIÓN:	*Nivel luneta baja (escenario)*								
RECUBRIMIENTO:	*Si*									
EXPOSICIÓN ELEMENTO:	*Intemperie*									
ANGULO DE ENSAYO:	*0°*									
FECHA DE ENSAYO:	*10/02/2020*			EDAD DEL ELEMENTO:		*+ 28 días*				
Lecturas de Rebote:	27,00	29,00	30,00	31,00	28,00	28,00	31,00	33,00	31,00	27,00
Promedio de Lecturas:	29,50									
Factor de Corrección Ángulo de Ensayo:	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
Resistencia Mpa:	17,70	20,60	21,60	23,30	18,60	18,60	23,30	26,50	23,30	17,70
Resistencia Promedio:	**21,1**	**MPa**	=	**215**	**Kg/cm²**					

OBSERVACIONES: - El rango de variación es de +/- 20 %

NOTA: La información y datos que contiene este Informe de Ensayo NO debe ser reproducida o modificada en su totalidad o parcialmente, sin la aprobación del LMC - PUCE.

Este método fue aplicado para determinar uniformidad y calidad del hormigón. Para estimar resistencia se deberá correlacionar con una cantidad apropiada de núcleos por elemento.
Por las condiciones de la edificación no fue posible retirar el enlucido, por lo tanto estos valores son solo referenciales.

Tclgo. Luis Tapia
RESPONSABLE DE ENSAYOS

Ing. María Inés Calvo
RESPONSABLE DE ÁREA

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.
DIRECTOR DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA
Quito

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR