

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Ingeniería Civil

“Revisión y Comparación del Comportamiento Mecánico Obtenido de Manera No
Destructiva de Bloques de Ignimbritas de 4 Edificios Patrimoniales del Centro
Histórico, Morelia, México”

Tesis

Que presenta

Amador Castro Colín

Para obtener el título de

Ingeniero Civil

Asesor

Dr. Ing. Elia Mercedes Alonso Guzmán

Morelia, Michoacán, Agosto de 2009

RESUMEN

El presente trabajo de tesis revisó y comparó la resistencia mecánica, obtenida por métodos no destructivos indirectos a partir de mediciones con Esclerómetro o Martillo de Schmidt, de los bloques de Ignimbrita con que están contruidos los muros de las fachadas de 4 edificios en el Centro Histórico de la ciudad de Morelia, México, declarado por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad. Se observó el comportamiento de las resistencias mecánicas de forma perimetral en cada una de las fachadas, a alturas de 0.5, 1.0 y 1.5 m, de donde se obtuvo la resistencia promedio de cada uno de estos edificios.

Los edificios en estudio fueron: Catedral, Colegio de San Nicolás, Templo de Capuchinas y el Templo del Carmen. Resultando que la resistencia promedio más alta fue la correspondiente al Colegio de San Nicolás, seguida por Capuchinas, Catedral, y en último lugar El Carmen. También se observó que las resistencias promedio a la compresión de los bloques de Ignimbrita de estos edificios se encuentran en su mayoría arriba de los 250 kg/cm^2 . Debido a esto y a que el reglamento de Construcción del Estado de Michoacán indica un mínimo de 100 kg/cm^2 en esfuerzos de ruptura a la compresión en estado seco y con carga perpendicular al sentido del flujo, para rocas utilizadas como mampostería en edificación, se concluyó que no sería apropiado sustituir los bloques de los edificios por bloques de rocas recién extraídos de las canteras de Ignimbrita actualmente en explotación en los alrededores, los cuales presentan resistencias a la compresión por debajo de los 100 kg/cm^2 .

Lo mencionado anteriormente resulta en recomendaciones de proteger a estos bloques, aparentemente dañados de los edificios, en la medida de lo posible, contra los agentes ambientales y antrópicos, causantes del deterioro, ya sea por medio de recubrimientos o por la disminución en las fuentes de emisión de contaminantes.

(Palabras clave: resistencia, esclerómetro, ignimbrita, edificios, patrimonio)

SUMMARY

This thesis was the analyse and comparison of the mechanical strength, obtained by indirect non destructive methods based in measures with an sclerometer or Schmidt hammer, on the ignimbrite blocks from the walls of the facades of four buildings in the Historic Downtown of Morelia, Mexico, this was declared like Humanity Cultural Heritage by the UNESCO. We observed that the behaviour of the edge mechanical strength along each facade, at 0.5, 1.0 and 1.5m of height, from which it was obtained the average strength of each building.

The buildings in study were: Cathedral, San Nicholas College, Capuchinas Church and finally the Carmen Church. The results show that the highest strength was the corresponding to the San Nicholas College, followed by Capuchinas Church, Cathedral and finally the Carmen Church. Also it was observed that the compressive strength average of the ignimbrite blocks of these buildings were up to 250 kg/cm^2 . Because of this and because of the Construction Regulation Code in Michoacan State, which indicates a minimum of 100 kg/cm^2 for the compressive rupture strength in dry state and with the load in a perpendicular direction of the flow for rocks used in masonry building, we concluded it would not be appropriate to replace the blocks of the building with recently extracted blocks of the quarry stone in surroundings, which compressive strength for the earned blocks are below 100 kg/cm^2 .

The above mentioned results recommend protecting these blocks, apparently damaged in the buildings, as far as possible, against environment and anthropic agents, cause of the deterioration, either by coatings or by the decrease of pollutant source programs.

(Keywords: strength, sclerometer, ignimbrite, buildings, heritage)

A mis padres:

Ing. Alfonso Castro Buburrón y Sra. María Rosa Colín Navarro

...por darme el regalo más invaluable y apreciado, “la vida”.
...por su gran apoyo, esfuerzo y sacrificios; ya que nunca nos ha faltado nada.
...por haber hecho todo lo posible para mi formación, lo lograron,
...les aseguro que me siento capaz de afrontar todo lo que me depare la vida.

A mis hermanos: Rita Adriana Castro Colín, Juan Alfonso Castro Colín, Alejandro Castro Colín

...por ser mis mejores amigos.
...por su apoyo y por su inmejorable compañía, los quiero.

A mis abuelos:

Amador Castro Aguirre †, Selfa Buburrón Linares †

...por su gran ejemplo de lucha y trabajo.

Juan Colín Hernández †, Feliza Navarro Tovar

...por su gran ejemplo de bondad y generosidad.

A todos mis tíos: Leopoldo, Amador, Josefina, Paulino, Serafín, José, Francisco, Mauricio; en especial:

Ing. Armando Castro Buburrón

...por su apoyo y confianza en el desarrollo de mis estudios.

A mi primo Christian Edher Castro Torres †

...por enseñarme que la vida es frágil.

Al resto de la familia.

...con cariño, por ser parte esencial en mi desarrollo.

A Yesenia Rodríguez Méndez.

...con infinito amor y cariño.
...por ser la motivación más grande en mi vida.
...por todo el amor, apoyo y comprensión que me has brindado.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Ing. Elia Mercedes Alonso Guzmán por creer en mí, por darme su invaluable apoyo y paciencia en la elaboración de esta tesis.

Al Proyecto de Ciencia Básica CB-59999 del Conacyt por su soporte.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

A los Ingenieros: Miguel Arturo Varelas Silva, Hugo Méndez Chávez y Noé Carmona Leal por su apoyo en la cuantificación con el esclerómetro.

A todo el personal de la Sección de Resistencia del Laboratorio “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil, por su apoyo, colaboración y solidaridad: M. A. Ing. Wilfrido Martínez Molina, Mtro. Jesús Zauno Zamudio, Mtro. Rubén Hernández Guzmán, Mtra. Cindy Lara Gómez, Srita. Carmen Navarro Sánchez y los compañeros Ingenieros: María Cristina Morales Garibay, Sergio Medina Olvera, Edwin Rojas Gutiérrez, Norma Angélica Barragán Valencia, Sandra del Carmen Argüello Hernández, Eduardo Álvarez Sánchez, Marco Antonio Navarrete Seras, Marco Antoni Mondragón Ornelas, Mauricio Arreola Sánchez, Nalleli Alvarado Alcaraz, Antonio Daniel Luna Ortiz.

A los profesores ingenieros que me impartieron clase, en especial: Dr. Jorge Alarcón Ibarra, Dr. Nelio Pastor Gómez, M.I. Efraín Márquez López, M. I. Julio Alejandro Chávez Cárdenas, Dr. José Carlos Rubio Ávalos, Dr. Julio Cesar Orantes Ávalos, M. I. Alma Rosa Sánchez Ibarra, M. C. Rafael Rojas Rojas, Ing. Jaime Camacho Moreno, Ing. Luis Manuel Navarro Sánchez, M. C. Aida López Hernández, Ing. José Muñoz Chávez †, Dr. Juan Antonio Chávez Vega, M. A. Ramiro Silva Orozco, Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe, Ing. Antonio Espinosa Mandujano, M.I. Luis Homero Sotomayor Ballesteros, Ing. Octavio E. Arroyo Aguilera, Ing. Jerónimo Flores Francisco, M. I. Jesús Martín Caballero Ulaje, Ing.

Patricia Araiza Chávez, Ing. Enrique Villalobos Velázquez, Ing. Ramiro Guzmán
Ing. Rafael Pureco Hernández, Ing. Luis Alfonso Merlo Rodríguez e Ing. David
Adame Ordaz; esto no existiría sin sus conocimientos, entrega y experiencia.

A mis amigos y compañeros de licenciatura, en especial: Ing. Ignacio Medina, Ing.
Noé Rodríguez, Ing. David Ramírez e Ing. Ricardo Olmos; por compartir conmigo
esta inolvidable etapa de mi vida.

A mis demás amigos, en especial: Geovani Cortés, Anilú Pichardo, Israel Barragán
y Lucero Calderón

A todos los que de cualquier manera, me han brindado su apoyo incondicional y
me han abierto las puertas para mi desarrollo personal.

G R A C I A S

ÍNDICE

| | Página |
|---|--------|
| RESUMEN | I |
| SUMMARY | II |
| DEDICATORIAS | III |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| ÍNDICE | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VII |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Catedral | 6 |
| 1.2. Colegio de San Nicolás | 10 |
| 1.3. Templo de Capuchinas | 13 |
| 1.4. Templo del Carmen | 16 |
| 2. MATERIALES | 19 |
| 2.1. Clasificación de las rocas | 19 |
| 2.1.1. Rocas Ígneas | 19 |
| 2.1.1.1. Ígneas extrusivas | 20 |
| 2.1.1.2. Ígneas intrusivas | 21 |
| 2.1.1.3. Textura | 21 |
| 2.1.1.4. Composición | 22 |
| 2.1.2. Rocas Sedimentarias | 24 |
| 2.1.3. Rocas Metamórficas | 25 |
| 2.2. El ciclo de las rocas | 26 |
| 2.3. Propiedades físicas de los minerales | 27 |
| 2.3.1. Color y traza | 27 |
| 2.3.2. Dureza | 27 |
| 2.3.3. Crucero y fractura | 27 |
| 2.3.4. Tenacidad | 28 |

| | |
|--|----|
| 2.3.5. Forma cristalina | 28 |
| 2.3.6. Peso específico | 28 |
| 2.3.7. Brillo | 29 |
| 2.3.8. Diafanidad | 30 |
| 2.4. Ignimbritas | 30 |
| 3. PRUEBAS | 31 |
| 3.1. Esclerómetro o Martillo de Schmidt | 32 |
| 3.1.1. Generalidades | 33 |
| 3.1.2. Utilidad | 33 |
| 3.1.3. Preparación de la superficie y elección de sitios de ensaye | 33 |
| 3.1.4. Metodología | 34 |
| 4. RESULTADOS | 35 |
| 4.1. Datos | 36 |
| 4.2. Gráficas comparativas de resistencia por fachada y por altura | 58 |
| 4.3. Resumen | 76 |
| 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 77 |
| 6. REFERENCIAS | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| Figura 1.1 Plano del Centro Histórico dónde se ilustran algunos de los edificios más emblemáticos [5]. | 4 |
| Figura 2.1 Diagrama que muestra las proporciones de los principales minerales en las rocas ígneas comunes [8, pp. 43]. | 23 |
| Figura 2.2 Ciclo de las Rocas [9]. Muestra los diferentes tipos de transformaciones que se llevan a cabo entre las tres formas básicas de las rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas). | 26 |
| Figura 4.1 Diagrama ilustrativo de la distribución de las Mediciones a lo largo de cada fachada. | 35 |

1. INTRODUCCIÓN

Las Ignimbritas son rocas ígneas extrusivas producto del depósito y consolidación de flujos piroclásticos, consecuentes de una erupción magmática energética y violenta, son el producto volcánico más común y voluminoso [1, pp. 225]. La ciudad de Morelia se encuentra situada en la intersección de dos provincias geológicas. Hacia el Sur, la Sierra de Mil Cumbres, perteneciente a la Sierra Madre del Sur. En el Norte, una serie de volcanes monogenéticos pertenecientes al Cinturón Volcánico Mexicano. Así también la cercanía de las placas tectónicas de Cocos y de Rivera [2, pp. 179]. Lo anterior supone una fuerte actividad volcánica, responsable de las rocas ígneas, en este caso, las Ignimbritas de la región. El Centro Histórico de la ciudad está construido con estas Ignimbritas debido a su abundancia y relativa facilidad de extracción.

El presente trabajo de investigación consiste en el análisis y correlación de la resistencia a la compresión, obtenida por métodos no destructivos (Esclerómetro o Martillo de Schmidt), a lo largo del perímetro de cuatro edificios Patrimoniales del Centro Histórico de la ciudad de Morelia, Michoacán, México. Resulta pertinente una breve reseña de este Municipio.

La ciudad de Morelia está ubicada a los 19°42'10" de latitud Norte y a los 101°11'32" de longitud Oeste y tiene una altitud de 1921 m.s.n.m. (punto ubicado sobre la Av. Madero Poniente, frente a Catedral). El municipio completo ocupa una superficie aproximada de 1,199 km². La ciudad se encuentra ubicada al Norte del municipio, muy cercana a los límites con el municipio de Tarímbaro, en el llamado "Valle de Guayangareo". Este valle se encuentra rodeado por el Pico del Quinceo (al Noroeste), el cerro del Águila (al Oeste), el cerro del Punhuato (al Este) y las Lomas de Santa María (al Sur y Sureste). El valle se encuentra relativamente abierto al Norte y Noreste, así como hacia el Suroeste [3].

En la ciudad predomina el clima templado con humedad media, con una precipitación anual que oscila entre los 700 y 1000mm. Tiene una temperatura media anual que oscila alrededor de 17.6° C [4].

Vestigios encontrados mayormente en la loma de Santa María y cercanías de la presa de Cointzio, como estructuras tablero-talud, piedra tallada y figurillas cerámicas, vinculan a los habitantes de pequeños asentamientos en el Valle de Guayangareo (hoy Morelia) hacia el siglo VII con la cultura teotihuacana [3].

Alrededor del siglo XII, llegaron los Purhépechas, sin embargo no establecieron asentamientos importantes en el valle. En el siglo XIV se establecieron los Pirindas o Matlatzincas, con el consentimiento de los gobernantes purépechas de Tzintzuntzán, como premio a su apoyo en la guerra, en la cual derrotaron a los Tecos de Jalisco. Los Pirindas establecieron el poblado de Guayangareo en la actual zona del Parque Juárez (Zoológico de Morelia) [3].

La ciudad fue fundada el 18 de Mayo de 1541, por el Virrey Antonio de Mendoza, gobernador de la Nueva España. Sin embargo, fue hasta el 6 de Febrero de 1545 que se le dió el nombre de Valladolid (hoy Morelia) [3].

Finalmente, el nombre de Morelia se empezó a aplicar a partir del 12 de Septiembre de 1828, y deriva del apellido de José María Morelos y Pavón, quien fuera una de las figuras más destacadas en la lucha de Independencia de México, así como oriundo de la ciudad [3].

271 hectáreas, 219 manzanas, 15 plazas y 1,113 monumentos constituyen el Centro Histórico de Morelia, que es un conjunto de gran valor por las características formales de sus edificios, y por la armonía, calidad constructiva y unidad plástica que representan los diferentes estilos arquitectónicos, creándose uno local, propio, como elocuente testimonio para la historia de la arquitectura de México. Esta es la principal razón para quedar inscrito en la lista de Patrimonio Mundial de UNESCO el día 13 de diciembre de 1991 bajo los siguientes criterios [3]:

a) Atestiguar un intercambio de influencias considerable, durante un periodo concreto o en un área cultural o determinada, en los ámbitos de la arquitectura o la tecnología, las artes monumentales, la planificación urbana o la creación de paisajes; la zona de monumentos históricos constituye en América un modelo original de desarrollo urbano del siglo XVI, su trazo reticular conjuga las teorías urbanas de la España renacentista y la experiencia de Mesoamérica. El estilo barroco de sus numerosos monumentos se expresa aquí con un lenguaje diferente; su belleza está plasmada en la verticalidad y equilibrio de los inmuebles, en el volumen imponente de sus torres, en la armonía de los conjuntos arquitectónicos y en el uso racional de los elementos ornamentales [3].

b) Constituir un ejemplo eminentemente representativo de un tipo de construcción o de conjunto arquitectónico o tecnológico, o de paisaje que ilustre uno o varios periodos significativos de la historia humana; la ciudad de Morelia posee ejemplos extraordinarios de diversos estilos; tiene conjuntos característicos de la segunda mitad del siglo XVI en donde el espíritu de fortaleza medioeval armoniza con los principios y los elementos del Renacimiento, con el barroco florido y el academicismo del neo-clásico, creando una armoniosa unidad del conjunto. Dentro de la traza reticular, las plazas de la ciudad están dispuestas de manera de evitar una posible rigidez. Forman reposos espaciales y constituyen fondos de perspectivas urbanas [3].

c) Estar directa o materialmente asociado con acontecimientos o tradiciones vivas, con ideas, creencias u obras artísticas y literarias que tengan un significado universal excepcional. (El Comité considera que este criterio debería ser utilizado preferiblemente de manera concomitante con otros criterios). Morelia vio nacer a varios personajes importantes del México independiente y ha jugado un papel crucial en la historia del país [3].

Los 4 edificios en estudio son: La Catedral, el Primitivo y Nacional Colegio de San Nicolás de Hidalgo, el exconvento del Capuchinas y el exconvento del

Carmen. Estos se encuentran ubicados en el siguiente plano del Centro Histórico (Figura 1.1).



Figura 1.1 Plano del Centro Histórico dónde se ilustran algunos de los edificios más emblemáticos [5].

1. Catedral

2. Palacio de Gobierno

4. Plaza de Armas

5. Palacio de Justicia

6. Museo Regional Michoacano

7. Palacio Municipal

8. Templo de La Merced

9. Tesorería de la Universidad

10. Templo de Las Rosas

11. Conservatorio de Música

12. Jardín de Las Rosas

13. Palacio Clavijero

14. Colegio de San Nicolás

15. Biblioteca Pública

16. Casa Natal de Morelos

17. Ex-convento de San Agustín

18. Casa Museo José Ma. Morelos

19. Palacio del Artesano (Casa de las Artesanías)

20. Templo de Capuchinas

21. Cámara de Diputados

22. Antigua Casa del Diezmo (banco)

23. Casa de García Obeso (banco)

24. Antiguo Hospital San Juan de Dios (hotel)

25. Plaza Melchor Ocampo

26. Museo de Arte Colonial

34. Palacio Federal

35. Templo de las Monjas

36. Templo de San José

37. Templo del Carmen

50. Teatro Melchor Ocampo

63. Antigua Central Camionera

66. Hotel Virrey de Mendoza

68. Centro Cultural Universitario

70. Mercado Independencia

71. Museo del Estado

Breve descripción de los edificios de estudio:

1.1 Catedral

Sector: Independencia.

Ubicación: Av. Madero Poniente s/n (entre las plazas de Armas y Melchor Ocampo).

Uso: Catedral de la Arquidiócesis de Morelia.

Orientación: Sur a Norte.

Superficie: 10,054 m² (incluyendo anexo y atrio).



Historia

La Catedral de Morelia, sede del antiguo obispado de Michoacán, remonta su origen al siglo XVI. Tuvo su primer asiento en Tzintzuntzán, en 1538 y luego se trasladó a Pátzcuaro donde don Vasco de Quiroga ideó un proyecto grandioso, el cual quedó inconcluso al morir el obispo. Diversos factores e intereses intervinieron para trasladar a las autoridades eclesiásticas, de la ciudad de Pátzcuaro a la naciente Valladolid, verificándose este cambio en 1580 “el día de San Pedro”, se había construido de prisa con adobe, madera y tejamanil. Materiales tan endebles pronto empezaron a causar problemas; hacía 1621, el techo amenazaba venirse abajo, haciéndose necesario apuntalar la estructura. La construcción de la obra definitiva urgía, y ese mismo año se hizo un proyecto a cargo de los arquitectos Alonso Martínez López, obrero mayor de la Catedral de México, Alonso del Arco y Alonso Hernández. El proyecto no llegó a realizarse, pero la planta era muy parecida a la actual: de tres naves, con crucero y capillas bajo las torres [6, pp. 89].

Pasó el tiempo y el estado de la catedral provisional se hacía cada vez más grave. En 1654, el canónigo don Juan de Magaña Pacheco, se quejó al rey,

exponiendo las razones que se tenían para que de inmediato se levantara una iglesia digna del Obispado de Michoacán, el tercero de la Nueva España, tan poblado de naturales y abundante de materiales para obras y fábricas; con mucha más razón cuando todos los demás obispados tenían acabados ya los edificios de su templo mayor. La vieja catedral estaba apuntalada, hendidas sus paredes de adobe, desencajadas las maderas y los retablos deshechos, de tal manera que en cualquier momento podía suceder una desgracia de muerte del obispo y prebendados que necesariamente asistían a los oficios divinos, o se disculpaban de comparecer por la misma causa [6, pp. 89].

Visto lo anterior, el rey expidió una cédula, fechada en Madrid, el 6 de marzo de 1655, en donde ordenaba se edificase la nueva catedral. Así el 2 de Marzo de 1660, el duque de Alburquerque, Virrey de la Nueva España, mandó se ejecutara la obra según el proyecto de Vicente Barroso de la Escayola [6, pp. 89].

La obra avanzó con lentitud hasta 1669, año en que se suspendió bruscamente debido a la muerte del tesorero don Diego Velázquez de Valencia; el edificio se había levantado escasamente siete varas y un dieciseisavo (seis metros aproximadamente) sobre el nivel del suelo. Habían transcurrido ya los doce años que el rey había concedido y los indígenas y encomenderos dejaron de pagar sus contribuciones. Las obras pudieron reanudarse en 1672, con otro superintendente, habiendo concedido el rey en 1674 otros tres años más, calculándose que pasado este tiempo se terminaría. Había comenzado una larga serie de avances y tropiezos, de manera que pasaría aún mucho tiempo para la conclusión definitiva [6, pp. 90].

Hacia el año de 1695, después de casi diez años de paralizada la construcción por la falta de recursos, sin ver terminada su obra muere Vicente Barroso de la Escayola. Los trabajos se reanudan en Junio de 1698 con un nuevo superintendente, el alarife Juan de Silva [6, pp. 90].

El día 10 de Mayo de 1705 tuvo su primera dedicación, aún sin portadas ni torres. La Catedral fue rematada por fin, en el año de 1744. Teniendo una

segunda dedicatoria solemne y grandes festividades el día 9 de Mayo de 1745 [6, pp. 91].

Descripción Arquitectónica

La Catedral está ubicada al centro de un gran espacio abierto, tal como lo prescribe la ordenanza de Felipe II, que indica que el máximo templo se encuentre como isla, a fin de que se pueda contemplar sin que nada estorbe en su alrededor. La fachada principal mira al Norte cerrando la calle Benito Juárez, lo que viene a enfatizar urbanísticamente al monumento. El templo se levanta entre dos plazas: la mayor, conocida con el nombre de Plaza de Armas y la menor de Melchor Ocampo; el eje longitudinal de Catedral señala la proporción áurea entre los dos espacios [6, pp. 91].

El templo tiene cinco portadas, tres al Norte que constituyen la fachada principal de composición tríptica; al Este se encuentra la portada de la Virgen de Guadalupe y al Oeste la de San José, señalando ambas el crucero, en cuyo centro se desplanta la cúpula. Flanqueando el frontispicio, se alzan los cubos de las torres que se levantan a gran altura, pudiéndose contemplar desde cualquier ángulo del valle. Sobre el muro oriente, junto a la torre, se localiza el Sagrario que no presenta fachada particular; lo único que se manifiesta al exterior es la cúpula. La capilla de Ánimas se apoya sobre el muro Este, pudiéndose ingresar a ella a través de su propia portada y junto, hacia el Sur, se desplanta la sacristía que antiguamente era la sala capitular. En el lado Oeste, junto a la torre, un volumen rectangular construido en el siglo XIX, forma lo que actualmente es la sala capitular. Al Sur, formando ángulo con el muro Oeste de la Catedral, se localizan las oficinas de la Mitra [6, pp. 91].

La reja que limita el atrio, posee ocho puertas que se alzan entre altos pilares de cantera con pilastras adosadas que por el uso de capiteles toscanos, dóricos, jónicos y corintios va marcando su jerarquía, encontrándose las tres puertas más ricas frente a la principal del templo que mira al Norte [6, pp. 91].

Materiales de Construcción

Desde su origen se proyectó la obra para llevar en su parte exterior sillería, cuya cara perfectamente pulida forma los paramentos de las fachadas, de los muros laterales, de los cubos de torres, el ábside y la cúpula, manifestándose la calidad del material usado en el buen estado que luce la catedral al exterior y al interior, en donde un aplanado cubre muros y bóvedas. El piso original de madera se perdió hace tiempo y en 1977 se colocó el piso de mármol que luce hoy en día. Las ventanas elípticas perdieron el alabastro que cerraba el vano y en la actualidad tienen vidrierías; lo mismo sucedió con las carátulas de los relojes en las torres. El gran atrio se encuentra cubierto con baldosas de cantera y una reja de hierro limita al mismo, volviéndose ornamental creando bellas portadas en las ocho puertas que dan acceso al monumento. Las cinco grandes portadas conservan su par de hojas de madera formadas por casetones ensamblados y en la parte inferior, un par de postigos [6, pp. 105].

Conservación General

La conservación general del exterior es buena, debido a la calidad de la piedra usada. Los relieves y esculturas, a pesar de que la calidad de la piedra es inferior a la de sillería, se encuentran también en buen estado. Podemos decir que, en general se halla bien conservada [6, pp.105].

Los espacios que ha cambiado su antigua función son: la nave central, que tenía el coro y el órgano al centro, y la sala capitular que se encontraba originalmente sobre el muro Este, junto a la capilla de Ánimas, convertida ahora en sacristía [6, pp. 105].

1.2 Colegio de San Nicolás

Sector: República.

Ubicación: Av. Madero Poniente No. 351.

Orientación: Sur a Norte.

Uso: Preparatoria No. 1 UMSNH.

Superficie: 3,968 m².



Historia

Al cambiar el poder eclesiástico de Pátzcuaro a Valladolid durante 1580, se mudó también el colegio de San Nicolás Obispo, fundado por Don Vasco de Quiroga en 1540. El colegio erigido por los franciscanos, denominado de San Miguel, quedó fundido con el de San Nicolás el 1º de Octubre de 1580 [6, pp. 225].

El lugar donde se ubicaba el antiguo colegio era el mismo que ocupa actualmente, sólo que con el tiempo el edificio ha sufrido modificaciones y reconstrucciones [6, pp. 225].

Siendo don Melchor Hernández Duarte, Rector del Colegio de San Nicolás en 1587, pide al repartidor de indios de Valladolid, quince de Tiripetío por semana, "para las obras y reparos de la casa y, para el beneficio de la labor de trigo que tiene cerca de la ciudad, de la cual se sustenta" [6, pp.225].

El plan de estudios del colegio tenía las siguientes materias: gramática y latinidad, retórica, filosofía y teología. Fue penoso el desarrollo de la vida del Colegio en los primeros tiempos. A mediados del siglo XVII, se menciona que los estudiantes que asistían al colegio eran muchos y en general hijos de gente noble; entre algunos personajes que destacaron en ese periodo son: Juan Bautista Ojeda, Benito Baz, Pedro Plancarte, Juan Bernal Zúñiga y otros [6, pp. 225].

Hacia la octava década del siglo XVIII, fue rector del colegio don Miguel Hidalgo y Costilla, viviendo la institución uno de los periodos más fecundos en las ciencias y en las artes. Al estallar la revolución de Independencia, se clausuró el plantel por tiempo indefinido. En 1827, la Compañía Lancasteriana (sociedad filantrópica dedicada a la enseñanza) se dirigió al cabildo eclesiástico, para que le otorgaran el inmueble, comprometiéndose a realizar varias reparaciones indispensables para poder habitarlo. El contrato no se llevó a efecto [6, pp. 225].

En 1845 se secularizó el plantel y en el inventario de entrega se menciona que tenía dos patios, "el primero en estado servible y el segundo absolutamente deteriorado" [6, pp.225].

En 1847, el entonces gobernador de Michoacán, don Melchor Ocampo, reabrió las puertas del Colegio ahora bajo el nombre de "Colegio Primitivo y Nacional de San Nicolás de Hidalgo", en memoria de unos de sus más preclaros hijos [6, pp. 226].

Fue clausurado nuevamente durante la guerra de intervención francesa, sufriendo el edificio destrozos considerables durante esta época. En 1868, el gobernador don Justo Mendoza, optó por reedificarlo, encargando de dicha tarea al Ing. Guillermo Woddon Sorinne [6, pp. 226].

El Colegio funcionó en el Palacio de Justicia al momento de llevarse a cabo la reparación; habiéndose suspendido en 1869, la prosiguió el gobernador don Pudenciano Dorantes, hasta finalizar en 1882. Se remodeló la fachada conforme al gusto de ese momento. Atrás se construyó un departamento, donde funcionó por primera vez la academia de niñas y después se instaló el Consejo de Salubridad, y el Museo Michoacano [6, pp. 226].

En 1931, siendo presidente de la república el Ing. Pascual Ortiz Rubio, dispuso por medio de la dirección de monumentos coloniales, que de sus fondos hicieran algunas obras de consolidación en la fachada principal como en los corredores interiores [6, pp. 226].

En 1968 autorizó el gobierno del Estado una partida especial para una reconstrucción, que necesitaba el edificio, misma que se llevó a cabo durante 1969 [6, pp. 226].

Actualmente funciona como la Preparatoria No. 1 de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Descripción arquitectónica

La fachada principal mira al Sur, consta de dos pisos y cornisa intermedia. Sobre la mampostería aparente se ordenan simétricamente los vanos inferiores y superiores. La repisa del balcón se proyecta sobre la cornisa intermedia. Consta de 8 ejes, cuatro a cada lado del central, con ventana en el piso inferior y un balcón en el superior. Los ejes de las otras dos fachadas (Oeste y Norte) cuentan al igual que la principal con ventanas en el piso superior y ventanas-balcón en el superior [6, pp. 226].

Materiales de Construcción

Las fachadas han perdido el aplanado original, luciendo en la actualidad su mampostería, misma que impide el lucimiento de las elegantes y finas molduras de las pilastras, entablamentos, jambas y platabandas. En el interior, los muros lucen su antiguo aplanado hasta la altura del guardapolvo, dejando aparente la mampostería. Las paredes de la escalera en idéntica forma impiden el lucimiento de los nichos. La vigería se muestra en los techos [6, pp. 228].

Conservación general

El no haber cambiado el uso de suelo ha permitido que se conserve el carácter de los espacios descubiertos y cubiertos del interior y de los materiales originales, mismos que en algunas ocasiones han sido reparados con materiales tradicionales, por lo que no ha perdido nada de lo original [6, pp. 228].

1.3 Templo de Capuchinas

Sector: Nueva España.

Ubicación: Ortega y Montañez (entre Andrés del Río y Vicente Santa María).

Orientación: Sur a Norte.

Uso: Templo de Capuchinas.

Superficie: 1,983 m² (incluyendo anexo).



Historia

Inicio a principios del siglo XVII, existía una pequeña capilla donde se veneraba a la imagen de la Virgen de Cosamaloapan, esta fue donada para construir continua a ella un convento de monjas capuchinas, hijas de caciques. La nueva construcción trajo consigo modificaciones a dicha capilla, la más notoria es que la fachada principal quedó como un portal lateral del nuevo templo, esto por el cambio de orientación, ya que la antigua capilla se orientaba de Este a Oeste y el nuevo templo de Sur a Norte [6, pp. 40].

La construcción estuvo a cargo de don Mateo de la Cerda quien al morir la dejó en manos de su hijo don Antonio, ambos caciques de Pátzcuaro. Sus sucesores no pudieron continuar con la obra, por lo que la donaron a don Marcos Muñoz de Sanabria, alto eclesiástico de la Catedral, quien costó sus obras hasta su conclusión en 1737 [6, pp. 40].

Su fundación quedó fechada en El Pardo, por Real Cédula de Felipe V, el día 14 de Marzo de 1734. Ésta quedó verificada en Valladolid el día 24 de Marzo de 1737, cuando un grupo de religiosas del monasterio de Corpus Christi de México, fueron conducidas con gran regocijo a la población y a su nueva morada [6, pp. 40].

En 1863 el convento estaba ocupado por 33 religiosas de clase india y en suma pobreza, las cuales fueron exclaustradas. En 1867, el convento aledaño al templo, se destino como Hospital Civil y como escuela de medicina hasta el día 5 de Agosto de 1901. Éste mismo, el día 2 de Abril de 1903, pasó a ser ocupado por el hospicio de hombres, sin embargo, casi en seguida el edificio se demolió, construyendo en su lugar un nuevo y gran edificio para albergar al mismo hospicio. Este edificio fue construido de 1906 a 1908 por el Ing. Porfirio García de León y fungió a finales del siglo XX como centro escolar “José María Morelos” [6, pp. 40]. Actualmente funciona como oficinas de la “Secretaria de Finanzas y Administración”.

Descripción arquitectónica

Frente a la fachada del templo se extiende una gran explanada que se convirtió en un frondoso jardín, cubriendo así parte de la misma. La esbelta torre sobresale por su altura, destacándose entre las torres de la ciudad por su elegancia [6, pp. 42].

Frente a la fachada principal encontramos, a la derecha la torre y a la izquierda el paramento del que fuera antes convento, después centro escolar “José María Morelos”, para el cual fue totalmente remodelado y hoy en día “Secretaria de Finanzas y Administración”, cuyo estilo ecléctico rompe la unidad con el conjunto ya mencionado [6, pp. 42].

Sobre el muro Oeste del templo se alza la portada lateral que manifiesta por su estilo una mayor antigüedad en relación con la principal. Desde esa perspectiva se ve la cúpula que no tiene tambor; su casquete esférico muestra cuatro lucarnas y conjunto termina con una linternilla circular con cuatro remates y la cruz de hierro [6, pp. 42].

La torre, por su altura y esbeltez compite con las demás de la ciudad, teniendo su propia personalidad. En toda ella hubo una notable inclinación hacia el claro-oscuro, pues sus elementos estructurales, tanto verticales como

horizontales, hacen dobleces para alcanzar su objetivo. Consta de tres cuerpos que se elevan sobre un alto cubo dividido por una cornisa y termina con un remate. Arranca el primero directamente sobre la cornisa que limita la fachada del templo del lado Este [6, pp. 44].

Materiales de construcción y conservación general

La mampostería ha quedado aparente en los paños interiores. El piso original se sustituyó por el mosaico actual [6, pp. 46].

El uso original de este templo se ha modificado, aunque no en esencia. El hecho de que haya servido para las monjas capuchinas, quiere decir que había determinados espacios que ha perdido y que delataban el carácter original. Los coros con su reja se han perdido, quedando sólo el vestigio arqueológico de uno en el costado Este del presbiterio. La puerta lateral, hoy clausurada, queda como otro testigo esencial del templo [6, pp. 46].

A finales del siglo pasado, fue restaurado el interior, se removió el aplanado del siglo XIX con su consiguiente pintura. La mampostería aparente en el interior no es la solución óptima en templos del siglo XVIII, sin embargo, en el caso de Capuchinas, luce como contrapunto en relación con los retablos de madera dorada de gran rebuscamiento [6, pp. 46].

1.4 Templo del Carmen

Sector: República.

Ubicación: Benito Juárez s/n, esquina Plaza de la República.

Orientación: Este a Oeste.

Uso: Templo del Carmen.

Superficie: 4,982 m² (incluido atrio).



Historia

El 31 de Octubre de 1593, previas licencias del virrey don Luis de Velasco y del obispo de Michoacán fray Alonso Guerra, se tomó posesión y se instauró en él, el Santísimo Sacramento. El extenso terreno se localizaba al norte de la ciudad, donde se levantaba una ermita dedicada a la Virgen de la Soledad, cuarto convento que se fundó en la provincia de San Alberto, de la entonces Nueva España, a finales del siglo XVI por parte de las Carmelitas. El nuevo templo comenzó a construirse de inmediato y con gran rapidez, de tal manera que según algunos autores se estrenó el 31 de Octubre de 1596, aunque en la portada que mira al sur se encuentra grabada la fecha 1619, más acorde que la anterior [6, pp. 260].

El convento llegaría a ser con el tiempo uno de los más grandes de la ciudad, de tal modo que para 1735 estaban haciendo un nuevo convento. Desde principios del siglo XVII hasta mediados del XVIII como Colegio de Teología Moral, y fue reedificado en 1855 por fray Benito de Santa Teresa. El extenso terreno que cubría estaba ocupado en su mayor parte, hacia el Norte, por la huerta, donde había muchos árboles frutales y hortalizas; al Oeste se extendía hasta la actual calle de Guillermo Prieto. En la época de la Independencia una parte sirvió de prisión a los integrantes de la conspiración de Valladolid [6, pp. 260].

Debido a las Leyes de Reforma fueron exclaustros los religiosos carmelitas y entonces el gobierno mandó abrir varias calles, que son: la de García Pueblita, Mártires de Tacubaya y la prolongación de la de Benito Juárez, corriendo al costado occidental del convento a bajar hasta cerca del río Grande. La huerta fue seccionada en lotes levantándose casas a uno y otro lado de las calles nuevas [6, pp. 260].

El templo fue remozado en 1839 “con magnificencia y buen gusto” al decir de la época, por el prior fray Manuel del Corazón de Jesús. A principios del siglo XX se le hicieron algunas adaptaciones, poniéndole piso de azulejos, luz incandescente y varias otras cosas. Sin embargo, a finales del siglo, el piso fue cambiado por uno de mármol [6, pp. 260-261].

Desde 1978 el convento se destinó para albergar la Casa de la Cultura, al mismo tiempo se arregló el atrio, cercándolo con una verja semejante a la de catedral; se liberó el lado oriente de la capilla sabatina y el espacio se convirtió en atrio secundario [6, pp. 261].

Descripción arquitectónica

Su orientación es de Este a Oeste, la fachada principal mira al Oeste y la lateral hacia el Sur. El atrio se extiende hacia el Sur, prolongándose al oeste para dar vista a la fachada principal. El declive pronunciado que presenta el terreno hacia el Norte, requirió que se transformara rellenando y aplanando el mismo, esto con el fin de hacer los grandes espacios a un solo nivel, por lo que el atrio quedó a un nivel más bajo que el jardín [6, pp. 261].

Materiales de construcción y conservación general

Las múltiples modificaciones que ha sufrido el templo han dejado huella de diversas maneras. En la última restauración se renovó el aplanado en la fachada principal así como en los arcos del muro sur, dejando invisibles al exterior las ventanas que se ven al interior; la mampostería del resto de los muros se limpió. El aplanado del interior que cubre muros y bóveda con pintura tipo papel tapiz se

hallan muy deterioradas, así como la espadaña. El piso de mosaico fue sustituido por uno de mármol, cuyo diseño es extraño al estilo del templo [6, pp. 271].

2. MATERIALES

Como ya se mencionó anteriormente: el material en estudio sobre el cual trata esta tesis, son las Ignimbritas, que son una roca de carácter ígneo extrusivo. Para tener una mayor percepción sobre este material, a continuación se presenta una descripción general de las rocas.

2.1 Clasificación de las Rocas

Para poder dar una clasificación empezaremos definiendo lo que se entiende por roca. El término “roca” se utiliza para designar al material natural, semiduro a duro, compuesto por uno o varios minerales. Estas rocas se pueden constituir de diferentes formas: producto del enfriamiento de magma (roca fundida), que procede de grandes profundidades de la tierra; por la precipitación de materia inorgánica contenida en los cuerpos de agua; por el depósito de conchas pertenecientes a diferentes organismos; por condensación de un gas que contenga partículas minerales; por la desintegración de otras rocas y consiguiente combinación de los minerales resultantes, constituyendo nuevas rocas; por la acción de altas temperaturas y/o presión sobre rocas preexistentes [7, pp. 39].

Por lo tanto una de las clasificaciones y la más general, es la que se hace a partir de su formación, dividiéndolas en tres grupos principales: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Todas las rocas pueden ser clasificadas en cualquiera de estos tres grupos, aunque para el ámbito ingenieril, esta clasificación no aporta una idea, o escasa, de las propiedades ingenieriles de las mismas [7, pp. 39]. A continuación se hará una descripción de cada uno de estos tres grupos.

2.1.1 Rocas Ígneas

La palabra “Ígneo” significa “relativo al fuego”, las rocas ígneas son aquellas que se forman por el enfriamiento del magma (material rocoso en estado de fusión, ubicado en grandes depósitos debajo de corteza terrestre) o de la lava

(magma que fluye sobre la superficie de la Tierra durante un evento volcánico), estos materiales se encuentran constituidos por silicatos en estado de fusión. Por lo que la temperatura y el tiempo de enfriamiento influyen sobre la textura de la roca y en algunos casos en la estructura de la misma. Uno de los factores para que se dé esta temperatura y tiempo de enfriamiento es la profundidad a la que se forman [7, pp. 44-46, 8, pp. 38-39], lo cual también da lugar a la siguiente clasificación:

2.1.1.1 Ígneas extrusivas

Las rocas ígneas extrusivas son formadas en la superficie o próximas a ella, generalmente producto de la actividad volcánica. Pueden ser duras y competentes, o bien interestratificadas con materiales volcánicos incoherentes, tales como tobas, cenizas e incluso arenas [7, pp. 49].

La palabra “volcán” se deriva de “Vulcano”, el dios romano del fuego. Estos primeros observadores, pudieron notar que el polvo, la ceniza volcánica y los fragmentos irregulares de roca durante un evento volcánico, solamente necesitaban estar un tanto compactos y un tanto cementados para llegar a ser idénticos a muchas de las rocas mediterráneas [8, pp. 38].

Estas rocas las podemos encontrar en diferentes clases. Una clase general, es aquella que se encuentra formada por depósitos y capas de ceniza volcánica fina, así como fragmentos escoriáceos arrojados durante las erupciones violentas (productos fragmentarios). En otra clase encontramos los flujos de lava, que es material fundido sobre el suelo, que fluye en capas y que al enfriarse forman masas de roca con gran variedad de colores y otras propiedades. Algunos de estos flujos se solidifican rápidamente formando vidrio natural u obsidiana; este rápido enfriamiento no permite el arreglo atómico necesario para formar granos minerales. Otros de estos flujos, de gran extensión y espesor, requieren mayor tiempo para enfriarse, lo que en gran parte generan granos minerales bien definidos, aunque sólo observables al microscopio. La gran mayoría de estas rocas son un tanto porosas e irregulares, por causa de los orificios formados por el

escape de gases en disolución a altas presiones cuando el material se encontraba en el subsuelo. Los mantos de obsidiana generalmente cuentan con gruesas capas de pumicita, o piedra pómez blanquecina, producto de un rápido escape de los gases y que consiste en espuma endurecida [8, pp. 38].

2.1.1.2 Ígneas intrusivas

Como se puede apreciar en la superficie, la actividad de muchos volcanes, ha originado miles de kilómetros cúbicos de roca volcánica, tales derramamientos sugieren la existencia de grandes receptáculos de roca fundida a cierta profundidad. El cese de la actividad de un volcán, sugiere que el material contenido en estos receptáculos se ha enfriado y solidificado. Este efecto ha sido demostrado por la naturaleza misma, que por medio de la erosión moderada en diversas montañas, nos ha permitido observar los tapones alargados que tapan los conductos por los cuales la roca ígnea se transporta a la superficie [8, pp. 39].

Estudios comparativos indican que los grandes cuerpos ígneos, que actualmente encontramos expuestos, alguna vez fueron depósitos profundos de magma que proveían de material a los volcanes [8, pp. 39].

Un ejemplo de esta gran variedad de rocas, es el “granito”, el cual tiene una composición química igual a la de la “riolita” (ígnea extrusiva), pero a diferencia de ésta, en él se los granos minerales pueden ser fácilmente observados a simple vista. Por mencionar otro ejemplo tenemos al “gabro”, cuya correspondiente roca de granos finos es el “basalto” (ígnea extrusiva) [8, pp. 41].

2.1.1.3 Textura

“La textura de una roca ígnea está determinada por el tamaño, forma y disposición de los granos que la componen”. En general podemos considerar que las rocas ígneas intrusivas son formadas por granos gruesos, producto del lento enfriamiento que les dió la oportunidad de seguir creciendo. Por otro lado, las rocas ígneas extrusivas tienden a tener granos finos, sólo visibles con un aumento; esta textura es conocida como afanítica, del griego “afanos”, que

significa oculto. También dentro de los dos grupos, podemos encontrar la textura “porfirítica”, en esta podemos encontrar granos de tamaño excepcional diseminados en una pasta de grano más fino; a estos cristales aislados dentro de esta masa fina se les llama “fenocristales” [8, pp. 39-40].

Los materiales fragmentarios arrojados por un volcán, al compactarse y cementarse, llegan a formar una roca maciza. Así, al consolidarse el polvo o ceniza volcánica se forma la “toba volcánica”, o “brecha volcánica” en el caso de fragmentos volcánicos angulosos y más gruesos [8, pp. 40].

2.1.1.4 Composición

Las rocas ígneas se encuentran compuestas en mayor abundancia por silicatos, es decir: Silicio y Oxígeno, que combinados forman los minerales llamados “silicatos”. La unión simple entre Oxígeno y Sílice (SiO_2), comúnmente conocido como “cuarzo”. En caso de incluir más elementos (principalmente K, Ca, Na, Cl, Fe, Mg, y Al), se pueden formar minerales más complejos como los “feldespatos”. Un ejemplo es la “riolita”, cuya composición química es igual a la del “granito”, la cual está formada principalmente por feldespato y granos de cuarzo en abundancia. En un extremo opuesto tenemos rocas con contenidos de sílice menores que el 50% como el “basalto”, el cual presenta un color oscuro (Figura 2.1) [8, pp. 41].

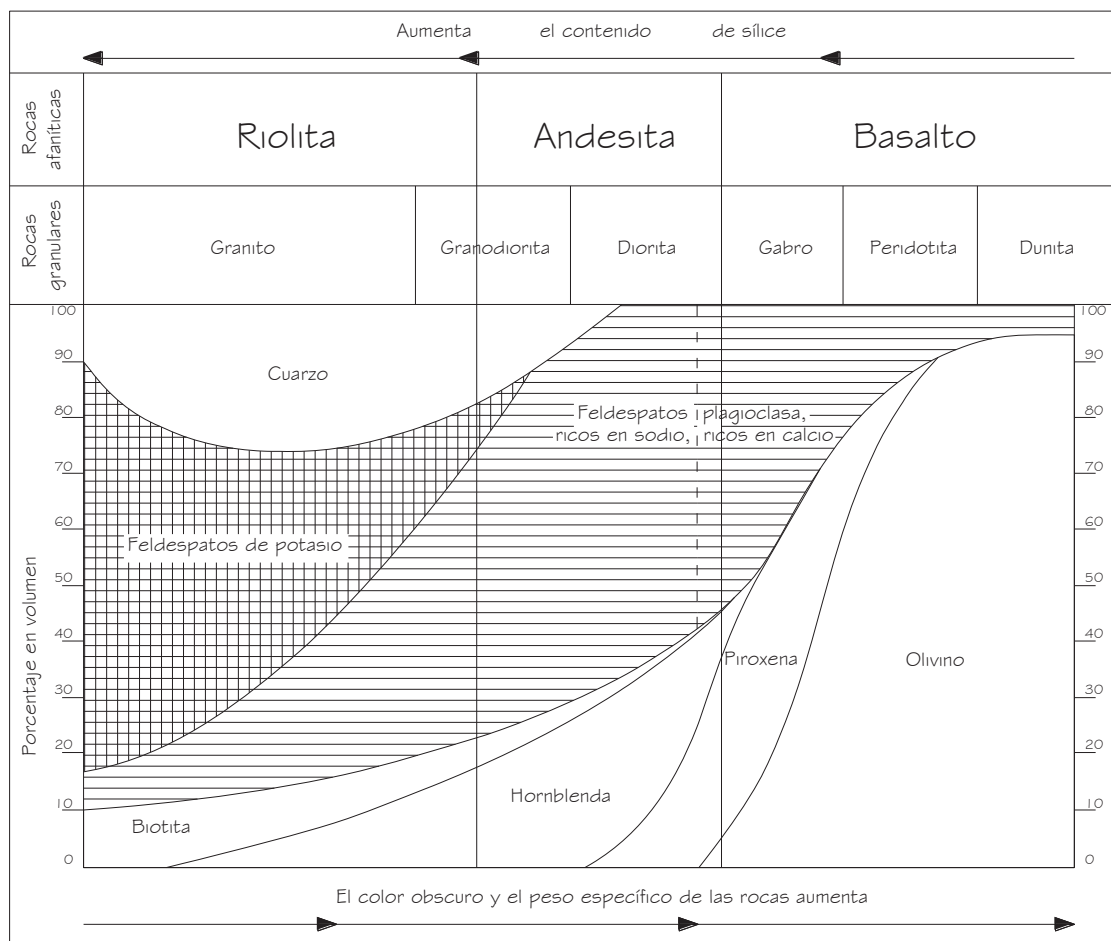


Figura 2.1 Diagrama que muestra las proporciones de los principales minerales en las rocas ígneas comunes [8, pp. 43].

2.1.2 Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias son producto de la desintegración y descomposición de cualquier tipo de roca, los cuales son transportados, depositados, cementados parcial o totalmente, para constituir un nuevo tipo de roca (a este proceso se le llama litificación). Generalmente este tipo de rocas se suelen reconocer porque su estructura se encuentra en forma de lechos o capas [7, pp. 52].

Son las rocas más abundantes sobre la superficie de la tierra. Sus capas pueden encontrarse expuestas en muchas regiones, como en las faldas de algunas montañas o en los cortes de los desfiladeros [8, pp. 42].

Se le llama sedimento a la acumulación de partículas transportadas de roca suelta. Algunos de los agentes de transporte más evidentes son los fluidos como el agua y el viento, sin embargo existen otras formas de transporte y depósito, las cuales no implican necesariamente la suspensión de las partículas sobre algún medio. Lo anterior amplía la definición de sedimento hacia todas aquellas partículas que se muevan, sin importar la forma en que lo hacen [8, pp. 44].

Existen también diferentes tipos de sedimentos, como lo son los sedimentos “clásticos” (del latín “roto”), los cuales son formados a partir de la acumulación de partículas fragmentadas de rocas y/o fósiles [8, pp. 44].

En resumen, las rocas sedimentarias son formadas por: 1) materiales clásticos que varían de gruesos a finos, 2) depósitos químicos tanto orgánicos como inorgánicos, y 3) materiales puramente orgánicos, tales como las capas de carbón formadas por materia vegetal y los estratos formados principalmente por partes duras de animales marinos invertebrados [8, pp. 45].

Algunos ejemplos de rocas sedimentarias son: conglomerado (grava gruesa o fina redondeada y cementada, generalmente derivadas de rocas ricas en cuarzo), brecha (similar al conglomerado, pero con fragmentos angulosos, producto de la trituración de las rocas en movimientos provocados por las fallas),

arenisca (granos cementados de arena que cambian progresivamente de tamaño, los granos gruesos la aproximan al conglomerado y los granos finos a la limotita), lutita (formada por arcilla y limo compactado, de grano tan fino que parece homogénea observándola aún con lupa de mano, pueden tomar diversos tonos de gris, verde, rojo, café y negro si es que la capa tiene una cantidad considerable de carbón), caliza (constituida principalmente por calcita, tiene muchas impurezas y su apariencia es variable, toda caliza efervesce en ácido clorhídrico diluido), roca dolomítica (constituida principalmente por dolomita, que contiene magnesio y calcio, en apariencia es similar a la caliza, pero esta sólo efervesce en una superficie rayada o estando pulverizada) [8, pp. 45-46].

2.1.3 Rocas Metamórficas

Son las rocas formadas como consecuencia de recrystalizaciones completas o incompletas de rocas ígneas o sedimentarias, bajo la acción de temperaturas elevadas y/o altas presiones e intensos cortantes. Lo anterior habla de una transformación o cambio de la forma y contenido mineral, posteriores a la formación de la roca. Las rocas metamórficas están expuestas sobre áreas extensas, particularmente en zonas montañosas que han sufrido repetidos levantamientos y erosión intensa. Algunos ejemplos de estas rocas son: gneis (de grano grueso y frecuentemente bandeada, en ellas encontramos a los minerales feldespato, cuarzo, hornblenda y granate), pizarra (de textura fina que se exfolia en placas muy delgadas, el gris azulado oscuro es su color común, también llamado color pizarra, aunque existen muchas otras de color rojo, verde o negro), mármol (proveniente del metamorfismo de la caliza, la cual desarrolla granos o cristales de calcita que le dan a la roca una apariencia granular, también existe la variedad del mármol dolomítico, formado a partir de roca dolomítica; existen algunos mármoles comerciales que en realidad son calizas o rocas dolomíticas no metamorfizadas que toman muy bien la pulimentación) [8, pp. 47-49].

2.2 El ciclo de las rocas

Toda clase de rocas expuestas en la superficie de la Tierra han sido fracturadas por causas mecánicas o químicas, lo que ha producido el depósito de estos materiales en capas sedimentarias. Rocas muy sólidas han sido deformadas y comprimidas en las zonas montañosas en formación. Las rocas sedimentarias a profundidad en zonas deformadas, pueden metamorfizarse por la presión y la temperatura creciente. En ocasiones ocurre la fusión que convierte en magma a la sección sedimentaria, la cual al enfriarse forma nuevamente una roca ígnea. El ciclo de las rocas puede empezar con cualquier clase de roca y continuar con diversos caminos [8, pp. 49] indicados en la Figura 2.2

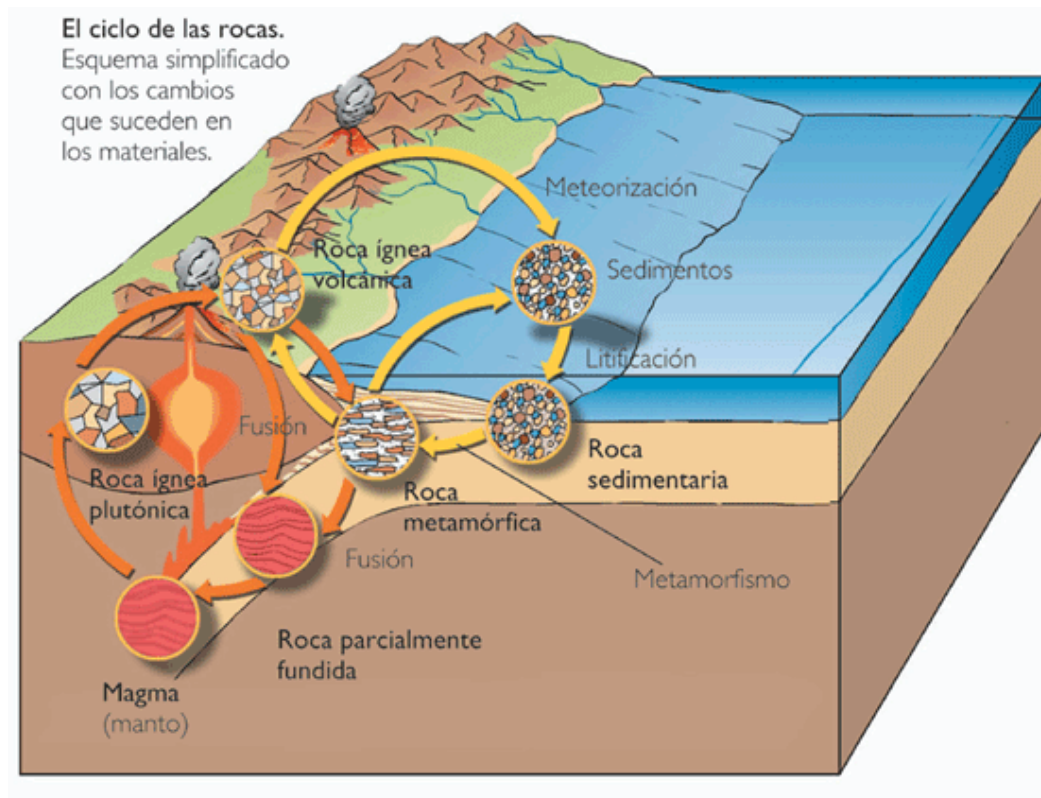


Figura 2.2 Ciclo de las Rocas [9]. Muestra los diferentes tipos de transformaciones que se llevan a cabo entre las tres formas básicas de las rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas).

2.3 Propiedades físicas de los minerales

2.3.1 Color y traza

Para la determinación del color de un mineral, el investigador tendrá que exponer una superficie fresca, la cual se puede lograr al hacer saltar una esquina o arista de la muestra; esto es debido a que una superficie meteorizada o una coloración secundaria producto de impurezas tales como el hierro. Parece fácil reconocer el color del mineral a simple vista, sin embargo, existen tablas de colores patrones para la identificación del mineral. El término “traza” se refiere a la marca blanca o coloreada, producto de las partículas adheridas, obtenidas al frotar el mineral contra una placa de porcelana mate. Esta traza o raya suele ser característico del material [7, pp. 23-24].

2.3.2 Dureza

La dureza de un mineral (símbolo D), se expresa en unidades del 1 al 10, según la escala de Mohs de dureza. La cual muestra una lista de minerales que se sitúan en orden jerárquico, de manera que el mineral con número ordinal más bajo, sólo puede ser rayado por todos los minerales que tengan un número ordinal más alto [7, pp. 24].

2.3.3 Crucero y fractura

Al golpear un mineral con un objeto agudo, este se rompe a lo largo de determinado plano cristalográfico (plano de crucero, paralelo a la cara del cristal). Algunos minerales poseen más de un plano de cruceros, luego entonces, el ángulo formado entre dos planos de crucero puede ser medido de una manera aproximada, mediante la estimación del ángulo que forman los dos rayos de luz reflejada. También existen minerales con “crucero duro” o “difícil”, en los cuales no es fácil determinar la superficie de crucero sin la ayuda de un microscopio.

La fractura de un mineral puede lograrse mediante un golpe seco, sin embargo, la superficie resultante será irregular y no tendrá relación con respecto a

las caras cristalinas del mineral. En ocasiones, sólo un experto puede ser capaz de distinguir entre una fractura y un auténtico crucero. Algunos tipos de fractura son: concoidal (semejante a una superficie suave, cóncava o convexa), desigual (superficie áspera con salientes angulosos y redondeados, astillosa, y mellada (superficie irregular que semeja el extremo de una varilla de acero rota por compresión) [7, pp. 24].

2.3.4 Tenacidad

Es el grado de resistencia al aplastamiento, desgarre o flexión que es capaz de resistir un mineral. En base a esta propiedad, los minerales se pueden clasificar en: quebradizos (arrojan fragmentos al sufrir este tipo de esfuerzo y son fáciles de pulverizar), maleables (son capaces de reducirse a láminas delgadas con solo trabajarlos con un martillo), sectil (capaz de cortarse en capas delgadas con la ayuda de una navaja), dúctil (puede ser estirado en forma de hilos), inelástico (puede ser deformado, al retirar la fuerza no recobra su forma original), elástico (a diferencia del elástico, al retirar la fuerza recobra su forma original) [7, pp. 25].

2.3.5 Forma cristalina

Existen sus excepciones (minerales amorfos), sin embargo, la mayoría de los minerales tienen una forma específica, limitada por varias caras pertenecientes a un sistema cristalográfico, caracterizado por sus ejes cristalográficos (generalmente ejes de simetría del cristal, perpendiculares entre sí) [7, pp. 25].

2.3.6 Peso específico

Relación entre una masa de roca y su volumen respecto a una masa de agua (4°C) con igual volumen. Los minerales no metálicos más comunes en la corteza terrestre tienen una densidad media, del orden de 2.65 a 2.75 [7, pp. 25,28].

2.3.7 Brillo

Es la apariencia característica que presentan los minerales bajo el reflejo de la luz. En los minerales no metálicos podemos observar los siguientes tipos de brillo: vítreo (apariencia de vidrio), grasos (aspecto graso o aceitoso), diamantino (poseen el brillo seco de los diamantes), perlado, sedoso y resinoso [7, pp. 28].

2.3.8 Diafanidad

Capacidad del mineral para transmitir la luz. Se pueden clasificar como transparente (si se pueden ver objetos a través de él), translúcido (sólo permite el paso de la luz, pero no se pueden ver objetos a través de él), opaco (si la luz no se transmite a través de él, ni en sus aristas más finas) [7, pp. 28].

2.4 Ignimbritas

Las Ignimbritas son el más común de los productos volcánicos, pudiéndose encontrar en cualquiera de los arreglos vulcanológicos. Las composiciones principales de este tipo de rocas, son las “riolitas” (70% SiO_2), “dacitas” y “andesitas”. Siendo las riolitas la más común de las Ignimbritas. El evento volcánico por el cual se generan las Ignimbritas, puede ser resumido en tres pasos: un evento pliniano genera una lluvia de pumicita, seguida de una fase de flujo piroclástico en aumento, para terminar en una efusiva etapa de producción de lava [1, pp. 223-229].

Se cree que en el municipio de Morelia ocurrió una violenta explosión, la cual conformó las tobas riolíticas de la región. Sin embargo ocurrió un fenómeno poco común, y es que en este caso no hubo derrame de lava inmediato, por lo que el estrato de cantera, no tuvo el suficiente tiempo y temperatura para favorecer la formación de cristales macroscópicos. Este hecho dio por resultado una matriz vítrea, amorfa y sin hábito cristalino. De la misma manera, encontramos estas canteras muy cercanas a la superficie, sin que estas se encuentren cubiertas de otros minerales producto del derramamiento de lava, lo que ha facilitado su extracción y un proceso de desvitrificación por efectos ambientales. También el hecho de no tener un buen tiempo y temperatura, afecta al soldamiento uniforme del flujo piroclástico, afectando así, directamente en la resistencia mecánica de la roca [10, pp. 8-9].

Los minerales de cristalización encontrados en las Ignimbritas del municipio son cuarzo, tridimita, anortita, anortoclasa, mica como la muscovita y arcilla montmorillonítica, producto de la devitrificación. Este último fenómeno requiere la presencia de bióxido de carbono y agua (encontrados, por ejemplo, en los vegetales y materia orgánica) [10, pp. 12].

3. PRUEBAS

La acción del paso del tiempo sobre nuestras estructuras, recientemente ha generado un gran desarrollo en el estudio de los procesos de alteración y degradación de los materiales. Tales efectos, son causados desde los simples procesos de meteorización de los materiales, hasta aquellos que son causados por la propia composición de los materiales, en los cuales se generan procesos de degradación, más aún cuando estos se encuentran en ambientes que contengan altas concentraciones de contaminantes y/o elementos que reaccionen con los propios del material.

Fuera de las evidentes pérdidas en las características estéticas de los materiales en las estructuras, uno de los aspectos que con gran peso se tratan en el deterioro estructural, son las relacionadas con la estabilidad de las estructuras, las cuales están íntimamente ligadas con las propiedades mecánicas de los materiales que los componen.

Una de estas propiedades mecánicas es la resistencia a la compresión del material, esto debido a que todas las estructuras que erigimos, en gran medida están regidas por la aceleración que ejerce la gravedad en la tierra sobre las estructuras. Lo que condiciona a los materiales a soportar las cargas externas e internas que son transmitidas a la base de la estructura.

Por tal razón existen diferentes métodos para la determinación de este tipo de propiedades, las cuales desde el orden que nos atañe, podríamos dividirlos en destructivos y no destructivos. Un ejemplo de los métodos destructivos, podría ser la extracción de muestras de material, directamente de las estructuras, las cuales son tratadas controladamente para determinar sus propiedades. Como se puede apreciar, estos métodos dejan un daño importante a las estructuras y con la limitación de que el número de pruebas está condicionado por el número de muestreos que se realicen a la estructura.

En el caso de los edificios patrimoniales o monumentos históricos, estos se encuentran protegidos por las legislaciones internacionales, las cuales no justifican la intervención o destrucción de dicho patrimonio, con el sólo fin de estudiar sus materiales. Es por eso que existen métodos indirectos o de carácter no destructivo, los cuales pueden ser realizados infinitas veces sin causar un daño significativo a las estructuras. Uno de estos métodos es la esclerometría.

3.1 Esclerómetro o Martillo de Schmidt

3.1.1 Generalidades

Instrumento portátil y de fácil empleo, creado en 1948 por el Ingeniero suizo, Ernest Schmidt, el cual mide la dureza del concreto o las rocas, permite la determinación indirecta de la resistencia a la compresión del material [11]. El principio que nos permite esta medición, es la lectura de la respuesta a una tracción dinámica, provocada por la proyección de una masa por un resorte calibrado contra un asta metálica de percusión apoyada en la superficie de la roca, este mecanismo es accionado al apoyar el asta metálica sobre la superficie a analizar (perpendicular a la superficie), comprimiendo el resorte y liberando automáticamente la masa batiente. La lectura de este efecto de rebote elástico es proporcional a la resistencia del elemento en estudio. Una aguja indica en una escala, que generalmente va del 0 al 100, el punto de rebote máximo ocasionado por la percusión. Esta lectura se remite a un gráfico o curva de calibración del instrumento, el cual relaciona el rebote obtenido con la resistencia a la compresión del elemento [12]. Es importante hacer mención de que el área a probar debe de ser preparada, es decir, remover posibles irregularidades que darían una lectura falsa o errónea. El instrumento viene equipado con una piedra abrasiva útil para estas tareas [13].

En la antigüedad el hombre, podía intuir o calcular la resistencia de las rocas, esto de una manera puramente empírica. Para ello utilizaba el martillo, que

es una de las herramientas más antiguas, golpeando la superficie de la roca, lo cual genera un fenómeno de propagación de la onda de sonido en función del medio homogéneo y/o heterogéneo producido al golpear dicha superficie, así como la magnitud del rebote que presentará este, bajo una fuerza más o menos estandarizada [14].

3.1.2 Utilidad

La determinación del índice de rebote mediante el empleo del esclerómetro sirve para evaluar la uniformidad superficial, para delimitar zonas de diferente resistencia o zonas en las que la roca se encuentre deteriorada, así como para indicar cambios de las características de la roca a través del tiempo [13].

Este método no se debe emplear como una alternativa para la determinación de la resistencia a la compresión y dentro de sus limitaciones es confiable para la evaluación comparativa de las resistencias [11].

3.1.3 Preparación de la superficie y elección de sitios de ensaye

Para seleccionar los puntos de ensaye y preparar la superficie donde se efectuarán, se siguen los siguientes criterios:

Siempre que sea posible deben considerarse en primer lugar, las superficies verticales de la obra, evitándose las regiones porosas, o excesivamente rugosas. Es necesario prestar especial atención a los elementos delgados, como elementos con espesores menores de 10 cm y pilares de menos de 12 cm de espesor, que pueden tener lecturas erróneas, debido a la elasticidad de las piezas. También es necesario efectuar ensayes en diferentes puntos de la superficie, para obtener resultados fiables [11].

Antes del ensaye se deberá limpiar la superficie de posible pintura o pequeñas desigualdades, mismas que pueden ser suprimidas con la piedra abrasiva que se suministra con cada aparato. Esta piedra está constituida por

granos de carburos de silicio de tamaño medio o de algún otro material de dureza y textura similar [13].

3.1.4 Metodología

Una vez que la superficie esté preparada, se procederá al ensaye de percusión, como mínimo en 5 puntos diferentes. Se calcula el valor medio “R” de las 5 lecturas, eliminando aquellas lecturas consideradas falsas, las cuales deben ser reemplazadas por otras nuevas mediciones. Se entiende como lectura falsa aquella que varíe en más de 5 unidades del promedio de las demás; lo cual generalmente ocurre cuando se realiza el ensaye sobre superficies porosas [11]. La International Society for Rock Mechanics sugiere tomar 10 lecturas y descartar las 5 menores, calculando un valor representativo con la media aritmética de las 5 mayores [15].

Para poder calcular la resistencia de la roca, se llevará el valor obtenido sobre la escala graduada incorporada en el armazón del esclerómetro, sobre el eje de las abscisas de la gráfica de calibración, elevándose verticalmente hasta la intersección con la curva que atraviesa la gráfica diagonalmente. Este punto se lleva a la izquierda hasta el eje de las ordenadas indicando el valor de la resistencia [13].

4. RESULTADOS

En la presente investigación se analizaron y compararon datos de valores de resistencias puntuales obtenidos utilizando el Esclerómetro o Martillo de Schmidt, de los cuatro edificios patrimoniales anteriormente descritos, es decir: Catedral [16], El Colegio de San Nicolás [14], Templo de Capuchinas [17] y Templo del Carmen [18].

La distribución de las mediciones se hizo a cada metro de longitud y a las alturas de 0.5, 1.0 y 1.5m (a lo largo de cada una de las fachadas de estos edificios, distinguiéndose así por su orientación) (Figura 4.1).

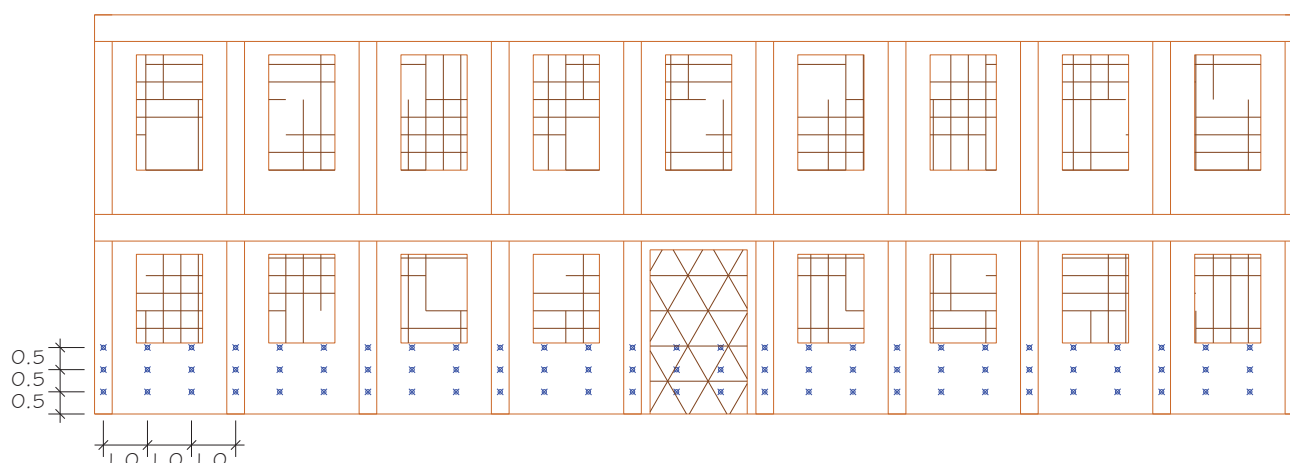


Figura 4.1 Diagrama ilustrativo de la distribución de las mediciones a lo largo de cada fachada.

*Nota: En los casos en que el punto cayó sobre algún hueco de puerta o ventana, la lectura no se realizó. También, en los casos necesarios se hicieron lecturas en cadenamientos intermedios.

| Fachada Oeste de Catedral | | | |
|---------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 431.3 | 315.6 | 315.6 |
| 1 | 590.6 | 64.3 | 164.7 |
| 2 | 431.3 | 281.3 | 281.3 |
| 3 | 249.0 | 233.7 | 249.0 |
| 4 | 204.6 | 264.9 | 190.8 |
| 5 | 281.3 | 164.7 | 390.6 |
| 6 | 519.0 | 298.2 | 177.5 |
| 7 | 264.9 | 298.2 | 390.6 |
| 8 | 281.3 | 98.6 | 164.7 |
| 9 | 542.3 | 204.6 | 352.0 |
| 10 | 298.2 | 298.2 | 298.2 |
| 11 | 298.2 | 249.0 | 352.0 |
| 12 | 190.8 | 190.8 | 249.0 |
| 13 | 315.6 | 190.8 | 190.8 |
| 14 | 496.3 | 152.4 | 233.7 |
| 15 | 281.3 | 129.4 | 190.8 |
| 16 | 410.6 | 218.9 | 164.7 |
| 17 | 249.0 | 218.9 | 352.0 |
| 18 | 218.9 | 298.2 | 474.1 |
| 19 | 352.0 | 390.6 | 249.0 |
| 20 | 390.6 | 164.7 | 249.0 |
| 21 | 140.7 | 190.8 | 140.7 |
| 22 | 218.9 | 164.7 | 64.3 |
| 23 | 140.7 | 118.6 | 164.7 |
| 24 | 129.4 | 152.4 | 164.7 |
| 25 | 129.4 | 118.6 | 190.8 |
| 26 | 118.6 | 164.7 | 218.9 |
| 27 | 108.3 | 118.6 | 249.0 |
| 28 | 281.3 | 218.9 | 390.6 |
| 29 | 264.9 | 190.8 | 164.7 |
| 30 | 190.8 | 164.7 | 315.6 |
| 31 | 190.8 | 218.9 | 177.5 |
| 32 | 118.6 | 177.5 | 218.9 |
| 33 | 190.8 | 164.7 | 152.4 |
| 34 | 177.5 | 164.7 | 118.6 |
| 35 | 118.6 | 152.4 | 129.4 |
| 36 | 519.0 | 298.2 | 298.2 |
| 37 | 190.8 | 298.2 | 233.7 |
| 38 | 390.6 | 431.3 | 315.6 |
| 39 | 315.6 | 233.7 | 352.0 |
| 40 | 333.6 | 233.7 | 431.3 |
| 41 | 452.4 | 315.6 | 315.6 |
| 42 | 566.2 | 431.3 | 352.0 |
| 43 | 542.3 | 474.1 | 233.7 |
| 44 | 410.6 | 190.8 | 315.6 |
| 45 | 315.6 | 190.8 | 233.7 |
| 46 | 641.0 | 352.0 | 164.7 |

| Fachada Oeste de Catedral | | | |
|---------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 47 | 352.0 | 281.3 | 249.0 |
| 48 | 566.2 | 249.0 | 333.6 |
| 49 | 431.3 | 218.9 | 218.9 |
| 50 | 164.7 | 315.6 | 315.6 |
| 51 | 474.1 | 431.3 | 218.9 |
| 52 | 615.5 | 249.0 | 566.2 |
| 53 | 352.0 | 431.3 | 352.0 |
| 54 | 431.3 | 352.0 | 281.3 |
| 55 | 566.2 | 315.6 | 281.3 |
| 56 | 410.6 | 315.6 | 190.8 |
| 57 | 452.4 | 390.6 | 164.7 |
| 58 | 177.5 | 152.4 | 177.5 |
| 59 | 566.2 | 410.6 | 281.3 |
| 60 | 519.0 | 390.6 | 249.0 |
| 61 | 264.9 | 190.8 | 164.7 |
| 62 | 590.6 | 233.7 | 371.0 |
| 63 | 249.0 | 164.7 | 140.7 |
| 64 | 233.7 | 281.3 | 352.0 |
| 65 | 164.7 | 204.6 | 431.3 |
| 66 | 352.0 | 298.2 | 264.9 |
| 67 | 298.2 | 410.6 | 519.0 |
| 68 | 315.6 | 431.3 | 281.3 |
| 69 | 218.9 | 519.0 | 390.6 |
| 70 | 298.2 | 352.0 | 390.6 |
| 71 | 298.2 | 264.9 | 333.6 |
| 72 | 315.6 | 390.6 | 390.6 |
| 73 | 204.6 | 281.3 | 233.7 |
| 74 | 281.3 | 218.9 | 352.0 |
| 75 | 152.4 | 352.0 | 390.6 |
| 76 | 249.0 | 264.9 | 218.9 |
| 77 | 264.9 | 298.2 | 452.4 |
| 78 | 129.4 | 233.7 | 298.2 |
| 79 | 315.6 | 264.9 | 352.0 |
| 80 | 410.6 | 233.7 | 474.1 |
| 81 | 333.6 | 264.9 | 431.3 |
| 82 | 352.0 | 218.9 | 371.0 |
| 83 | 190.8 | 315.6 | 264.9 |
| 84 | 566.2 | 352.0 | 431.3 |
| 85 | 496.3 | 390.6 | 264.9 |
| 86 | 281.3 | 264.9 | 218.9 |
| 87 | 164.7 | 352.0 | 298.2 |
| 88 | 190.8 | 190.8 | 190.8 |
| 89 | 218.9 | 164.7 | 249.0 |
| 90 | 98.6 | 218.9 | 164.7 |
| 91 | 249.0 | 264.9 | 249.0 |
| 91.55 | 452.4 | 333.6 | 315.6 |
| 92.64 | 333.6 | 233.7 | 315.6 |

| Fachada Oeste de Catedral | | | |
|---------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 93.55 | 249.0 | 233.7 | 218.9 |
| 94.46 | 298.2 | 264.9 | 315.6 |
| 95.37 | 390.6 | 410.6 | 249.0 |
| 96.28 | 264.9 | 80.5 | 80.5 |
| 97.19 | 177.5 | 152.4 | 204.6 |
| 98.1 | 177.5 | 190.8 | 204.6 |
| 99.01 | 190.8 | 190.8 | 352.0 |
| 99.92 | 190.8 | 177.5 | 177.5 |
| 100.83 | 298.2 | 233.7 | 190.8 |
| 101.74 | 352.0 | 190.8 | 80.5 |
| 102.65 | 233.7 | 164.7 | 218.9 |
| 103.56 | 204.6 | 164.7 | 129.4 |
| 104.47 | 177.5 | 190.8 | 519.0 |
| 105.38 | 80.5 | 164.7 | 164.7 |
| 106.29 | 298.2 | 249.0 | 352.0 |
| 107.2 | 249.0 | 190.8 | 249.0 |
| 108.11 | 190.8 | 190.8 | 390.6 |
| 109.02 | 390.6 | 315.6 | 315.6 |
| 109.93 | 218.9 | 218.9 | 390.6 |
| 110.84 | 233.7 | 218.9 | 315.6 |
| 111.75 | 333.6 | 218.9 | 264.9 |
| 112.66 | 352.0 | 352.0 | 352.0 |
| 113.57 | 315.6 | 390.6 | 315.6 |
| 114.48 | 281.3 | 218.9 | 352.0 |
| 115.39 | 281.3 | 249.0 | 249.0 |
| 116.3 | 315.6 | 298.2 | 233.7 |
| 117.21 | 352.0 | 281.3 | 233.7 |
| 118.12 | 190.8 | 264.9 | 352.0 |
| 119.03 | 281.3 | 190.8 | 218.9 |
| 119.94 | 164.7 | 190.8 | 298.2 |
| 120.85 | 218.9 | 371.0 | 352.0 |
| 121.76 | 264.9 | 298.2 | 390.6 |
| 122.67 | 249.0 | 264.9 | 264.9 |
| 123.58 | 249.0 | 218.9 | 390.6 |
| 124.49 | 264.9 | 164.7 | 204.6 |
| 125.4 | 233.7 | 164.7 | 371.0 |
| 126.31 | 333.6 | 371.0 | 352.0 |
| 127.22 | 315.6 | 315.6 | 431.3 |

| Fachada Sur de Catedral | | | |
|-------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 281.3 | 264.9 | 315.6 |
| 1 | 233.7 | 390.6 | 264.9 |
| 2 | 264.9 | 204.6 | 352.0 |
| 3 | 315.6 | 298.2 | 352.0 |
| 4 | 371.0 | 281.3 | 264.9 |
| 5 | 298.2 | 315.6 | 352.0 |
| 6 | 431.2 | 352.0 | 298.2 |
| 7 | 315.6 | 390.6 | 333.6 |
| 8 | 204.6 | 218.9 | 233.7 |
| 9 | 264.9 | 233.7 | 281.3 |
| 10 | 190.8 | 264.9 | 519.0 |
| 11 | 315.6 | 249.0 | 190.8 |
| 12 | 80.4 | 129.4 | 140.7 |
| 13 | 164.7 | 80.4 | 80.4 |
| 14 | 164.7 | 118.6 | 190.8 |
| 15 | 98.5 | 64.3 | 152.4 |
| 16 | 108.3 | 140.7 | 218.9 |
| 17 | 164.7 | 64.3 | 190.8 |
| 18 | 204.6 | 190.8 | 218.9 |
| 19 | 233.7 | 140.7 | 152.4 |
| 20 | 89.3 | 204.6 | 164.7 |
| 21 | 190.8 | 249.0 | 233.7 |
| 22 | 108.3 | 152.4 | 218.9 |
| 23 | 281.3 | 218.9 | 72.1 |
| 24 | 452.4 | 98.5 | 152.4 |
| 25 | 249.0 | 233.7 | 218.9 |
| 26 | 390.6 | 315.6 | 431.2 |
| 27 | 190.8 | 264.9 | 452.4 |
| 28 | 410.6 | 164.7 | 190.8 |
| 29 | 190.8 | 27.1 | 249.0 |
| 30 | 352.0 | 281.3 | 390.6 |
| 31 | 333.6 | 315.6 | 371.0 |
| 32 | 352.0 | 37.6 | 164.7 |
| 33 | 218.9 | 315.6 | 204.6 |
| 34 | 390.6 | 140.7 | 118.6 |
| 35 | 108.3 | 281.3 | 164.7 |
| 36 | 371.0 | 410.6 | 152.4 |
| 37 | 80.4 | 264.9 | 333.6 |
| 38 | 129.4 | 108.3 | 129.4 |
| 39 | 190.8 | 333.6 | 333.6 |
| 40 | 177.5 | 164.7 | 249.0 |
| 41 | 249.0 | 281.3 | 204.6 |
| 42 | 452.4 | 315.6 | 333.6 |
| 43 | 352.0 | 218.9 | 190.8 |
| 44 | 108.3 | 190.8 | 218.9 |
| 45 | 249.0 | 129.4 | 118.6 |
| 46 | 333.6 | 164.7 | 164.7 |

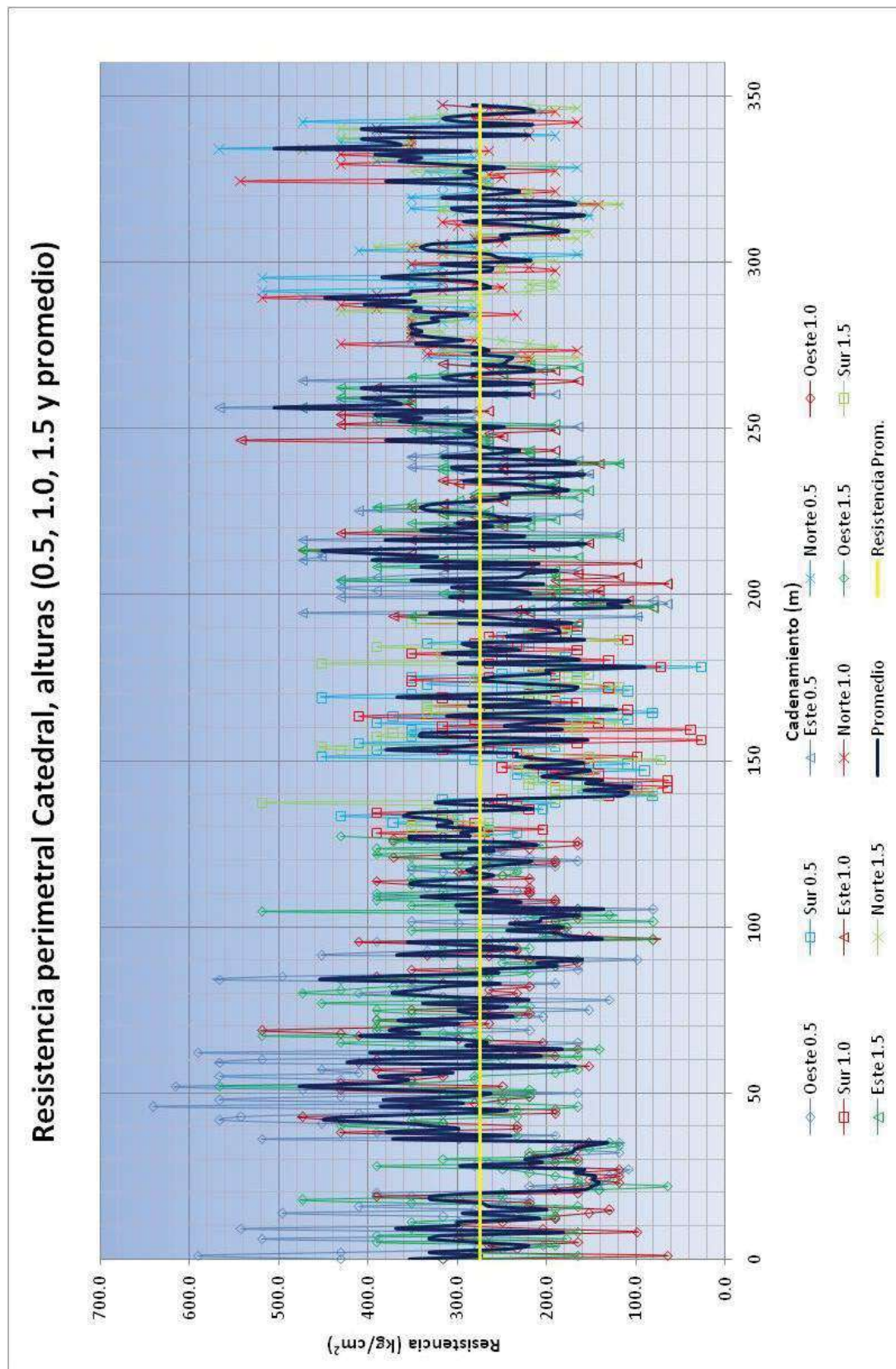
| Fachada Sur de Catedral | | | |
|-------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 47 | 190.8 | 352.0 | 281.3 |
| 48 | 352.0 | 264.9 | 164.7 |
| 49 | 249.0 | 190.8 | 152.4 |
| 50 | 164.7 | 218.9 | 218.9 |
| 51 | 27.1 | 72.1 | 177.5 |
| 52 | 177.5 | 264.9 | 452.4 |
| 53 | 177.5 | 129.4 | 190.8 |
| 54 | 177.5 | 249.0 | 190.8 |
| 55 | 281.3 | 352.0 | 315.6 |
| 56 | 249.0 | 164.7 | 281.3 |
| 57 | 218.9 | 233.7 | 390.6 |
| 58 | 333.6 | 281.3 | 264.9 |
| 59 | 249.0 | 108.3 | 118.6 |
| 60 | 249.0 | 264.9 | 218.9 |
| 61 | 190.8 | 177.5 | 190.8 |
| 62 | 164.7 | 218.9 | 177.5 |
| 63 | 218.9 | 164.7 | 218.9 |
| 64 | 190.8 | 352.0 | 352.0 |

| Fachada Este de Catedral | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 164.7 | 190.8 | 164.7 |
| 1 | 233.7 | 233.7 | 233.7 |
| 2 | 98.5 | 371.0 | 352.0 |
| 3 | 474.1 | 218.9 | 298.2 |
| 4 | 190.8 | 233.7 | 218.9 |
| 5 | 190.8 | 80.4 | 80.4 |
| 6 | 64.3 | 164.7 | 164.7 |
| 7 | 80.4 | 108.3 | 140.7 |
| 8 | 431.2 | 298.2 | 190.8 |
| 9 | 152.4 | 190.8 | 315.6 |
| 10 | 390.6 | 140.7 | 164.7 |
| 11 | 431.2 | 298.2 | 190.8 |
| 12 | 298.2 | 64.3 | 249.0 |
| 13 | 431.2 | 190.8 | 431.2 |
| 14 | 390.6 | 118.6 | 190.8 |
| 15 | 315.6 | 164.7 | 190.8 |
| 16 | 164.7 | 218.9 | 190.8 |
| 17 | 315.6 | 315.6 | 390.6 |
| 18 | 249.0 | 98.5 | 281.3 |
| 19 | 474.1 | 315.6 | 390.6 |
| 20 | 452.4 | 352.0 | 164.7 |
| 21 | 452.4 | 352.0 | 390.6 |
| 22 | 390.6 | 474.1 | 474.1 |
| 23 | 190.8 | 218.9 | 281.3 |
| 24 | 164.7 | 152.4 | 164.7 |
| 25 | 474.1 | 352.0 | 315.6 |
| 26 | 281.3 | 281.3 | 118.6 |
| 27 | 118.6 | 431.2 | 315.6 |
| 28 | 315.6 | 315.6 | 390.6 |
| 29 | 315.6 | 249.0 | 218.9 |
| 30 | 249.0 | 298.2 | 352.0 |
| 31 | 218.9 | 249.0 | 190.8 |
| 32 | 218.9 | 281.3 | 264.9 |
| 33 | 164.7 | 315.6 | 315.6 |
| 34 | 410.6 | 315.6 | 264.9 |
| 35 | 281.3 | 352.0 | 390.6 |
| 36 | 315.6 | 315.6 | 352.0 |
| 37 | 281.3 | 249.0 | 298.2 |
| 38 | 281.3 | 281.3 | 164.7 |
| 39 | 281.3 | 190.8 | 281.3 |
| 40 | 190.8 | 190.8 | 152.4 |
| 41 | 190.8 | 190.8 | 218.9 |
| 42 | 218.9 | 298.2 | 190.8 |
| 43 | 281.3 | 315.6 | 281.3 |
| 44 | 190.8 | 218.9 | 190.8 |
| 45 | 152.4 | 164.7 | 164.7 |
| 46 | 298.2 | 249.0 | 315.6 |

| Fachada Este de Catedral | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| 47 | 352.0 | 249.0 | 315.6 |
| (m) | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 48 | 249.0 | 140.7 | 118.6 |
| 49 | 164.7 | 218.9 | 190.8 |
| 50 | 352.0 | 281.3 | 315.6 |
| 51 | 315.6 | 249.0 | 218.9 |
| 52 | 281.3 | 190.8 | 218.9 |
| 53 | 281.3 | 264.9 | 264.9 |
| 54 | 315.6 | 281.3 | 264.9 |
| 55 | 264.9 | 542.3 | 333.6 |
| 56 | 315.6 | 249.0 | 264.9 |
| 57 | 281.3 | 264.9 | 298.2 |
| 58 | 333.6 | 190.8 | 352.0 |
| 59 | 164.7 | 281.3 | 298.2 |
| 60 | 315.6 | 431.2 | 190.8 |
| 61 | 390.6 | 352.0 | 352.0 |
| 62 | 281.3 | 352.0 | 390.6 |
| 63 | 390.6 | 431.2 | 352.0 |
| 64 | 281.3 | 264.9 | 315.6 |
| 65 | 566.2 | 474.1 | 474.1 |
| 66 | 352.0 | 352.0 | 390.6 |
| 67 | 431.2 | 352.0 | 352.0 |
| 68 | 431.2 | 352.0 | 431.2 |
| 69 | 190.8 | 218.9 | 249.0 |
| 70 | 390.6 | 352.0 | 352.0 |
| 71 | 390.6 | 390.6 | 431.2 |
| 72 | 218.9 | 218.9 | 218.9 |
| 73 | 474.1 | 164.7 | 249.0 |
| 74 | 315.6 | 281.3 | 352.0 |
| 75 | 281.3 | 249.0 | 315.6 |
| 76 | 204.6 | 190.8 | 249.0 |
| 77 | 249.0 | 264.9 | 164.7 |
| 78 | 315.6 | 315.6 | 218.9 |

| Fachada Norte de Catedral | | | |
|---------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 281.3 | 249.0 | 218.9 |
| 1 | 249.0 | 218.9 | 264.9 |
| 2 | 333.6 | 218.9 | 164.7 |
| 3 | 233.7 | 333.6 | 281.3 |
| 4 | 315.6 | 164.7 | 315.6 |
| 5 | 315.6 | 333.6 | 190.8 |
| 6 | 390.6 | 431.2 | 218.9 |
| 7 | 352.0 | 281.3 | 249.0 |
| 8 | 352.0 | 352.0 | 281.3 |
| 9 | 352.0 | 352.0 | 352.0 |
| 10 | 352.0 | 352.0 | 315.6 |
| 11 | 352.0 | 352.0 | 352.0 |
| 12 | 352.0 | 352.0 | 352.0 |
| 13 | 315.6 | 352.0 | 298.2 |
| 14 | 281.3 | 352.0 | 352.0 |
| 15 | 352.0 | 233.7 | 281.3 |
| 16 | 298.2 | 315.6 | 431.2 |
| 17 | 281.3 | 390.6 | 352.0 |
| 18 | 390.6 | 431.2 | 390.6 |
| 19 | 390.6 | 371.0 | 281.3 |
| 20 | 474.1 | 519.0 | 352.0 |
| 21 | 390.6 | 390.6 | 281.3 |
| 22 | 519.0 | 315.6 | 218.9 |
| 23 | 352.0 | 249.0 | 190.8 |
| 24 | 315.6 | 281.3 | 218.9 |
| 25 | 352.0 | 315.6 | 190.8 |
| 26 | 519.0 | 315.6 | 315.6 |
| 27 | 333.6 | 315.6 | 352.0 |
| 28 | 352.0 | 190.8 | 249.0 |
| 29 | 315.6 | 218.9 | 249.0 |
| 30 | 352.0 | 352.0 | 249.0 |
| 31 | 218.9 | 249.0 | 190.8 |
| 32 | 218.9 | 281.3 | 264.9 |
| 33 | 164.7 | 315.6 | 315.6 |
| 34 | 410.6 | 315.6 | 264.9 |
| 35 | 281.3 | 352.0 | 390.6 |
| 36 | 315.6 | 315.6 | 352.0 |
| 37 | 281.3 | 249.0 | 298.2 |
| 38 | 281.3 | 281.3 | 164.7 |
| 39 | 281.3 | 190.8 | 281.3 |
| 40 | 190.8 | 190.8 | 152.4 |
| 41 | 190.8 | 190.8 | 218.9 |
| 42 | 218.9 | 298.2 | 190.8 |
| 43 | 281.3 | 315.6 | 281.3 |
| 44 | 190.8 | 218.9 | 190.8 |
| 45 | 152.4 | 164.7 | 164.7 |
| 46 | 298.2 | 249.0 | 315.6 |

| Fachada Norte de Catedral | | | |
|---------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 47 | 352.0 | 249.0 | 315.6 |
| 48 | 249.0 | 140.7 | 118.6 |
| 49 | 164.7 | 218.9 | 190.8 |
| 50 | 352.0 | 281.3 | 315.6 |
| 51 | 315.6 | 249.0 | 218.9 |
| 52 | 281.3 | 190.8 | 218.9 |
| 53 | 281.3 | 264.9 | 264.9 |
| 54 | 315.6 | 281.3 | 264.9 |
| 55 | 264.9 | 542.3 | 333.6 |
| 56 | 315.6 | 249.0 | 264.9 |
| 57 | 281.3 | 264.9 | 298.2 |
| 58 | 333.6 | 190.8 | 352.0 |
| 59 | 164.7 | 281.3 | 298.2 |
| 60 | 315.6 | 431.2 | 190.8 |
| 61 | 390.6 | 352.0 | 352.0 |
| 62 | 281.3 | 352.0 | 390.6 |
| 63 | 390.6 | 431.2 | 352.0 |
| 64 | 281.3 | 264.9 | 315.6 |
| 65 | 566.2 | 474.1 | 474.1 |
| 66 | 352.0 | 352.0 | 390.6 |
| 67 | 431.2 | 352.0 | 352.0 |
| 68 | 431.2 | 352.0 | 431.2 |
| 69 | 190.8 | 218.9 | 249.0 |
| 70 | 390.6 | 352.0 | 352.0 |
| 71 | 390.6 | 390.6 | 431.2 |
| 72 | 218.9 | 218.9 | 218.9 |
| 73 | 474.1 | 164.7 | 249.0 |
| 74 | 315.6 | 281.3 | 352.0 |
| 75 | 281.3 | 249.0 | 315.6 |
| 76 | 204.6 | 190.8 | 249.0 |
| 77 | 249.0 | 264.9 | 164.7 |
| 78 | 315.6 | 315.6 | 218.9 |

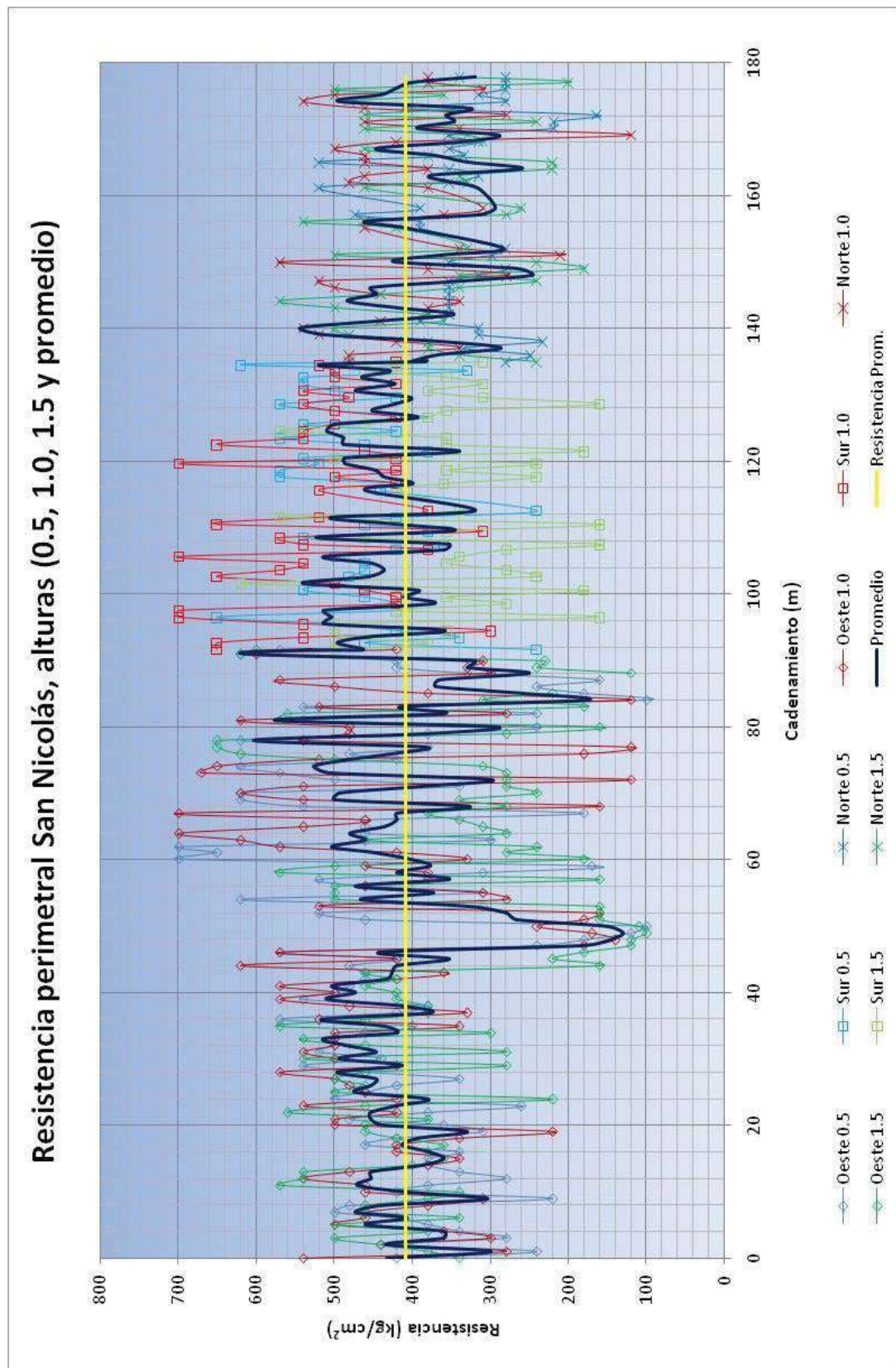


| Fachada Oeste de San Nicolás | | | |
|------------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 420 | 540 | 340 |
| 1 | 240 | 280 | 380 |
| 2 | 420 | 440 | 440 |
| 3 | 280 | 300 | 500 |
| 4 | 340 | 360 | 380 |
| 5 | 380 | 500 | 500 |
| 6 | 420 | 460 | 340 |
| 7 | 500 | 460 | 460 |
| 8 | 480 | 380 | 460 |
| 9 | 220 | 310 | 380 |
| 10 | 420 | 460 | 340 |
| 11 | 380 | 460 | 570 |
| 12 | 280 | 540 | 540 |
| 13 | 340 | 480 | 540 |
| 14 | 380 | 380 | 400 |
| 15 | 380 | 340 | 360 |
| 16 | 340 | 420 | 380 |
| 17 | 460 | 420 | 360 |
| 18 | 420 | 340 | 420 |
| 19 | 310 | 220 | 460 |
| 20 | 360 | 500 | 460 |
| 21 | 480 | 500 | 380 |
| 22 | 380 | 420 | 560 |
| 23 | 260 | 540 | 460 |
| 24 | 500 | 420 | 220 |
| 25 | 460 | 460 | 500 |
| 26 | 420 | 480 | 460 |
| 27 | 340 | 500 | 500 |
| 28 | 460 | 570 | 460 |
| 29 | 540 | 420 | 280 |
| 30 | 440 | 500 | 540 |
| 31 | 520 | 540 | 280 |
| 32 | 500 | 500 | 460 |
| 33 | 500 | 500 | 540 |
| 34 | 460 | 500 | 300 |
| 35 | 400 | 340 | 570 |
| 36 | 570 | 520 | 460 |
| 37 | 420 | 330 | 380 |
| 38 | 380 | 480 | 380 |
| 39 | 540 | 570 | 420 |
| 40 | 500 | 500 | 420 |
| 41 | 480 | 570 | 460 |
| 42 | 460 | 420 | 420 |
| 43 | 460 | 360 | 460 |
| 44 | 480 | 620 | 160 |
| 45 | 420 | 420 | 220 |
| 46 | 570 | 570 | 180 |

| Fachada Oeste de San Nicolás | | | |
|------------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 47 | 240 | 180 | 120 |
| 48 | 180 | 140 | 120 |
| 49 | 120 | 170 | 100 |
| 50 | 100 | 240 | 110 |
| 51 | 460 | 180 | 160 |
| 52 | 520 | 160 | 160 |
| 53 | 310 | 520 | 160 |
| 54 | 620 | 280 | 500 |
| 55 | 310 | 310 | 500 |
| 56 | 460 | 460 | 500 |
| 57 | 520 | 380 | 160 |
| 58 | 310 | 380 | 570 |
| 59 | 170 | 460 | 500 |
| 60 | 700 | 330 | 180 |
| 61 | 650 | 420 | 280 |
| 62 | 700 | 570 | 240 |
| 63 | 300 | 620 | 460 |
| 64 | 460 | 700 | 280 |
| 65 | 460 | 540 | 310 |
| 66 | 460 | 460 | 340 |
| 67 | 180 | 700 | 380 |
| 68 | 540 | 160 | 280 |
| 69 | 620 | 540 | 340 |
| 70 | 620 | 620 | 240 |
| 71 | 340 | 540 | 280 |
| 72 | 500 | 120 | 280 |
| 73 | 570 | 670 | 280 |
| 74 | 620 | 650 | 310 |
| 75 | 420 | 520 | 500 |
| 76 | 480 | 180 | 620 |
| 77 | 380 | 120 | 650 |
| 78 | 620 | 540 | 650 |
| 79 | 380 | 480 | 280 |
| 80 | 240 | 480 | 160 |
| 81 | 540 | 620 | 570 |
| 82 | 240 | 280 | 560 |
| 83 | 540 | 520 | 180 |
| 84 | 100 | 120 | 310 |
| 85 | 180 | 380 | 220 |
| 86 | 240 | 500 | |
| 87 | 160 | 570 | |
| 88 | 330 | 300 | 120 |
| 89 | 420 | 330 | 240 |
| 90 | 420 | 310 | 230 |
| 91 | 620 | 600 | 620 |
| 91.55 | 570 | 420 | 600 |

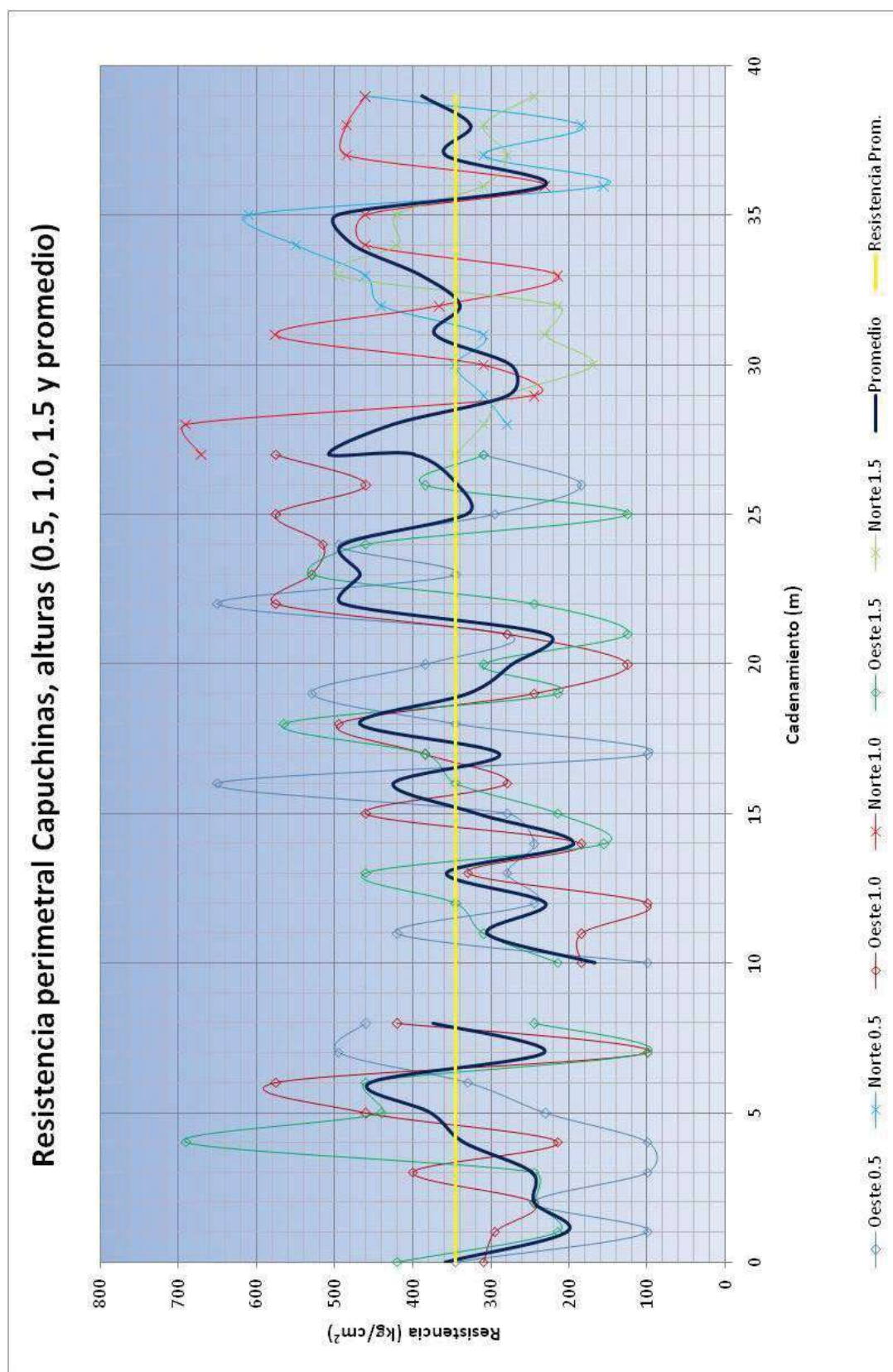
| Fachada Sur de San Nicolás | | | |
|----------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 240 | 650 | 500 |
| 1 | 460 | 650 | 380 |
| 2 | 340 | 540 | 500 |
| 3 | 420 | 300 | 355 |
| 4 | 500 | 540 | 500 |
| 5 | 650 | 700 | 160 |
| 6 | 420 | 700 | 420 |
| 7 | 420 | 420 | 280 |
| 8 | 460 | 420 | 355 |
| 9 | 540 | 460 | 180 |
| 10 | 500 | 500 | 620 |
| 11 | 480 | 650 | 240 |
| 12 | 460 | 570 | 280 |
| 13 | 460 | 540 | 355 |
| 14 | 500 | 700 | 340 |
| 15 | 420 | 380 | 280 |
| 16 | 360 | 540 | 160 |
| 17 | 540 | 570 | 460 |
| 18 | 380 | 310 | 355 |
| 19 | 460 | 650 | 160 |
| 20 | 420 | 520 | 570 |
| 21 | 240 | 380 | 340 |
| 24 | 440 | 520 | 420 |
| 25 | 420 | 420 | 360 |
| 26 | 570 | 500 | 240 |
| 27 | 570 | 420 | 355 |
| 28 | 520 | 700 | 240 |
| 29 | 540 | 420 | 500 |
| 30 | 380 | 460 | 180 |
| 31 | 460 | 650 | 355 |
| 32 | 570 | 540 | 355 |
| 33 | 420 | 540 | 570 |
| 34 | 540 | 500 | 460 |
| 35 | 380 | 420 | 380 |
| 36 | 500 | 500 | 355 |
| 37 | 570 | 540 | 160 |
| 38 | 420 | 480 | 310 |
| 39 | 500 | 540 | 380 |
| 40 | 540 | 420 | 310 |
| 41 | 540 | 500 | 355 |
| 42 | 330 | 500 | 460 |
| 43 | 620 | 520 | 420 |
| 43.5 | 420 | 420 | 310 |

| Fachada Norte de San Nicolás | | | |
|------------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 480 | 480 | 240 |
| 1 | 280 | 480 | 340 |
| 2 | 140 | 340 | 380 |
| 3 | 300 | 420 | 380 |
| 4 | 540 | 520 | 480 |
| 5 | 590 | 540 | 500 |
| 6 | 540 | 440 | 360 |
| 7 | 280 | 380 | 380 |
| 8 | 380 | 380 | 500 |
| 9 | 540 | 340 | 570 |
| 10 | 460 | 440 | 440 |
| 11 | 520 | 500 | 340 |
| 12 | 240 | 520 | 240 |
| 13 | 120 | 280 | 340 |
| 14 | 240 | 380 | 180 |
| 15 | 460 | 570 | 240 |
| 16 | 380 | 210 | 500 |
| 17 | 180 | 340 | 330 |
| 20 | 340 | 460 | 420 |
| 21 | 380 | 460 | 540 |
| 22 | 300 | 360 | 280 |
| 23 | 310 | 310 | 260 |
| 26 | 110 | 380 | 460 |
| 27 | 240 | 480 | 330 |
| 28 | 330 | 460 | 340 |
| 29 | 180 | 380 | 220 |
| 30 | 310 | 460 | 220 |
| 31 | 280 | 460 | 380 |
| 32 | 380 | 500 | 460 |
| 33 | 280 | 420 | 310 |
| 34 | 420 | 120 | 330 |
| 35 | 380 | 340 | 460 |
| 36 | 340 | 460 | 240 |
| 37 | 330 | 280 | 460 |
| 38 | 180 | 460 | 340 |
| 39 | 460 | 540 | 480 |
| 40 | 460 | 500 | 360 |
| 41 | 460 | 310 | 500 |
| 42 | 620 | 380 | 200 |
| 42.85 | 240 | 380 | 340 |



| Fachada Oeste de Capuchinas | | | |
|-----------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 345 | 310 | 420 |
| 1 | 100 | 295 | 215 |
| 2 | 245 | 245 | 245 |
| 3 | 100 | 400 | 245 |
| 4 | 100 | 215 | 690 |
| 5 | 230 | 460 | 440 |
| 6 | 330 | 575 | 460 |
| 7 | 495 | 100 | 100 |
| 8 | 460 | 420 | 245 |
| 9 | | | |
| 10 | 100 | 185 | 215 |
| 11 | 420 | 185 | 310 |
| 12 | 245 | 100 | 345 |
| 13 | 280 | 330 | 460 |
| 14 | 245 | 185 | 155 |
| 15 | 280 | 460 | 215 |
| 16 | 650 | 280 | 345 |
| 17 | 100 | 385 | 385 |
| 18 | 345 | 495 | 565 |
| 19 | 530 | 245 | 215 |
| 20 | 385 | 125 | 310 |
| 21 | 280 | 280 | 125 |
| 22 | 650 | 575 | 245 |
| 23 | 345 | 530 | 530 |
| 24 | 495 | 515 | 460 |
| 25 | 295 | 575 | 125 |
| 26 | 185 | 460 | 385 |
| 27 | 310 | 575 | 310 |

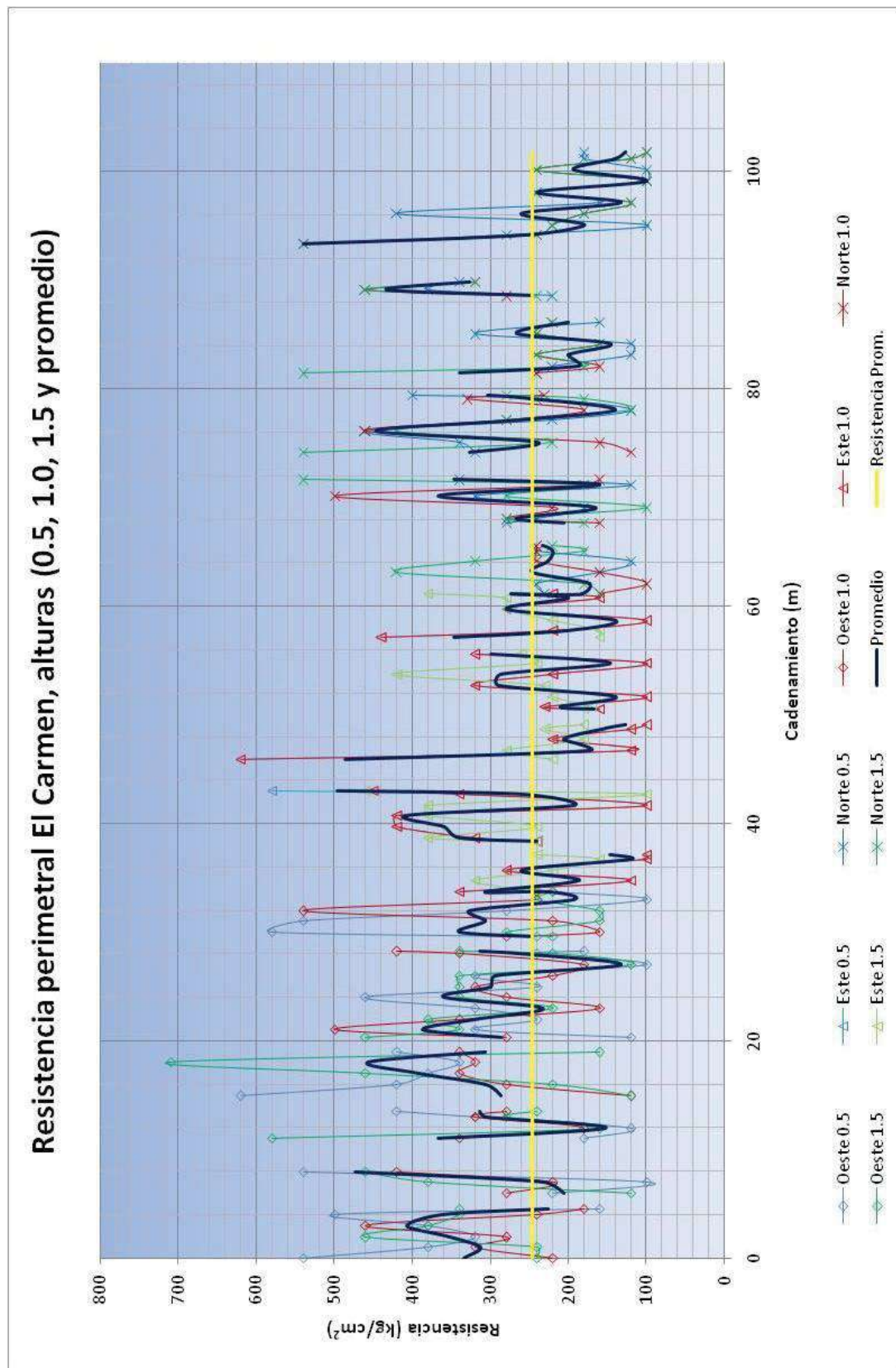
| Fachada Norte de Capuchinas | | | |
|-----------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | | 670 | 345 |
| 1 | 280 | 690 | 310 |
| 2 | 310 | 245 | 280 |
| 3 | 345 | 310 | 170 |
| 4 | 310 | 575 | 230 |
| 5 | 440 | 365 | 215 |
| 6 | 460 | 215 | 495 |
| 7 | 550 | 460 | 420 |
| 8 | 610 | 460 | 420 |
| 9 | 155 | 230 | 310 |
| 10 | 310 | 485 | 280 |
| 11 | 185 | 485 | 310 |
| 12 | 460 | 460 | 245 |



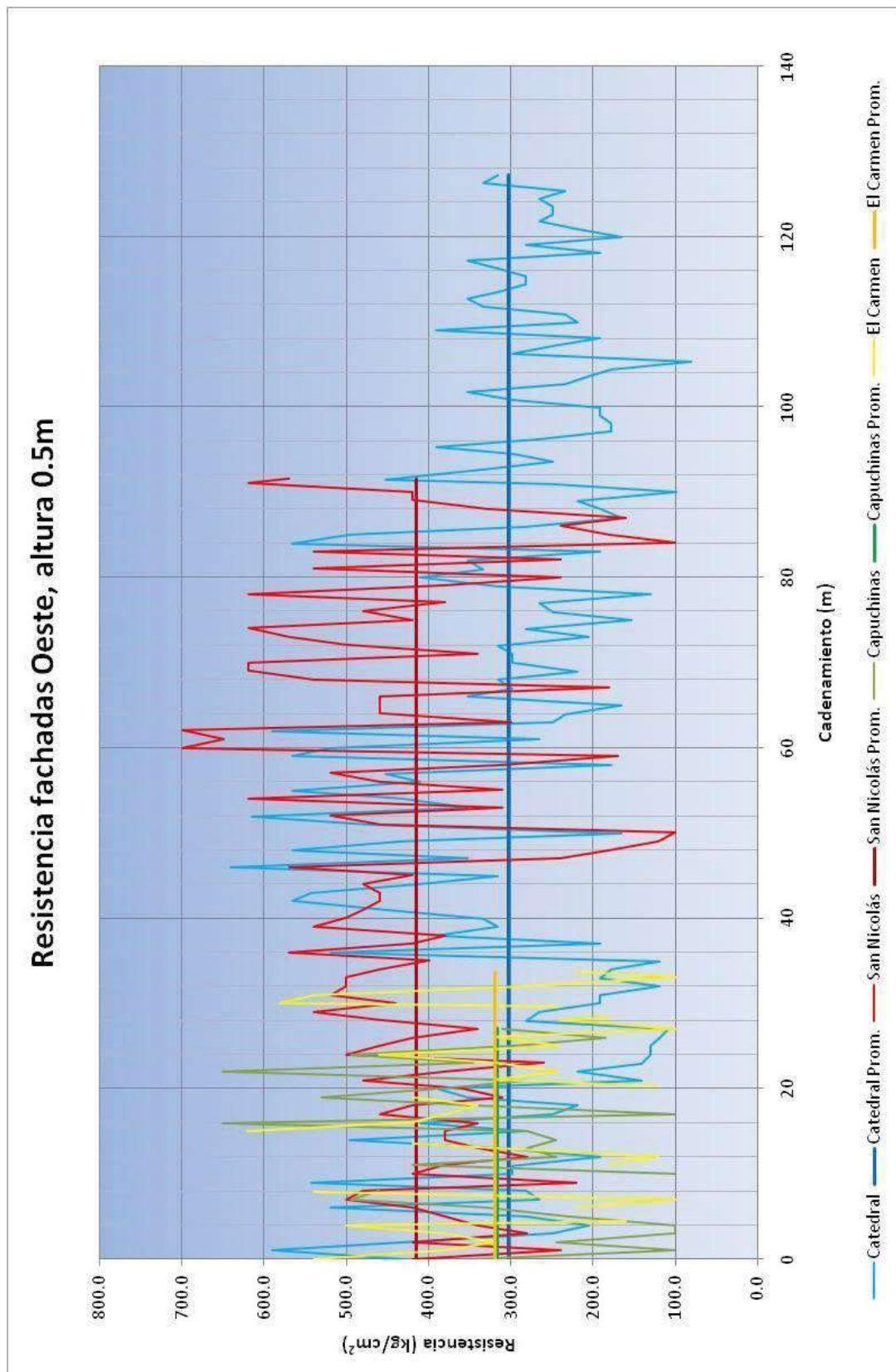
| Fachada Oeste del Carmen | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 540 | 220 | 240 |
| 1 | 380 | 320 | 240 |
| 2 | 320 | 280 | 460 |
| 3 | 380 | 460 | 380 |
| 4 | 500 | 240 | 340 |
| 4.5 | 160 | 180 | 340 |
| 5 | | | |
| 6 | 220 | 280 | 120 |
| 7 | 100 | 220 | 380 |
| 7.9 | 540 | 420 | 460 |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | 180 | 340 | 580 |
| 12 | 120 | 180 | 160 |
| 13 | 320 | 320 | 280 |
| 13.5 | 420 | 280 | 240 |
| 14 | | | |
| 15 | 620 | 120 | 120 |
| 16 | 420 | 280 | 220 |
| 17 | 380 | 340 | 460 |
| 18 | 340 | 320 | 710 |
| 19 | 420 | 340 | 160 |
| 20 | | | |
| 20.3 | 120 | 280 | 460 |
| 21 | 320 | 500 | 340 |
| 22 | 240 | 340 | 380 |
| 23 | 320 | 160 | 220 |
| 24 | 460 | 280 | 340 |
| 25 | 240 | 320 | 340 |
| 26 | 320 | 220 | 340 |
| 27 | 100 | 180 | 120 |
| 28 | 240 | 340 | 220 |
| 28.3 | 180 | 420 | 340 |
| 29 | | | |
| 29.6 | 240 | 280 | 220 |
| 30 | 580 | 160 | 280 |
| 31 | 540 | 220 | 160 |
| 32 | 280 | 540 | 160 |
| 33 | 100 | 240 | 240 |
| 33.7 | 220 | 240 | 220 |

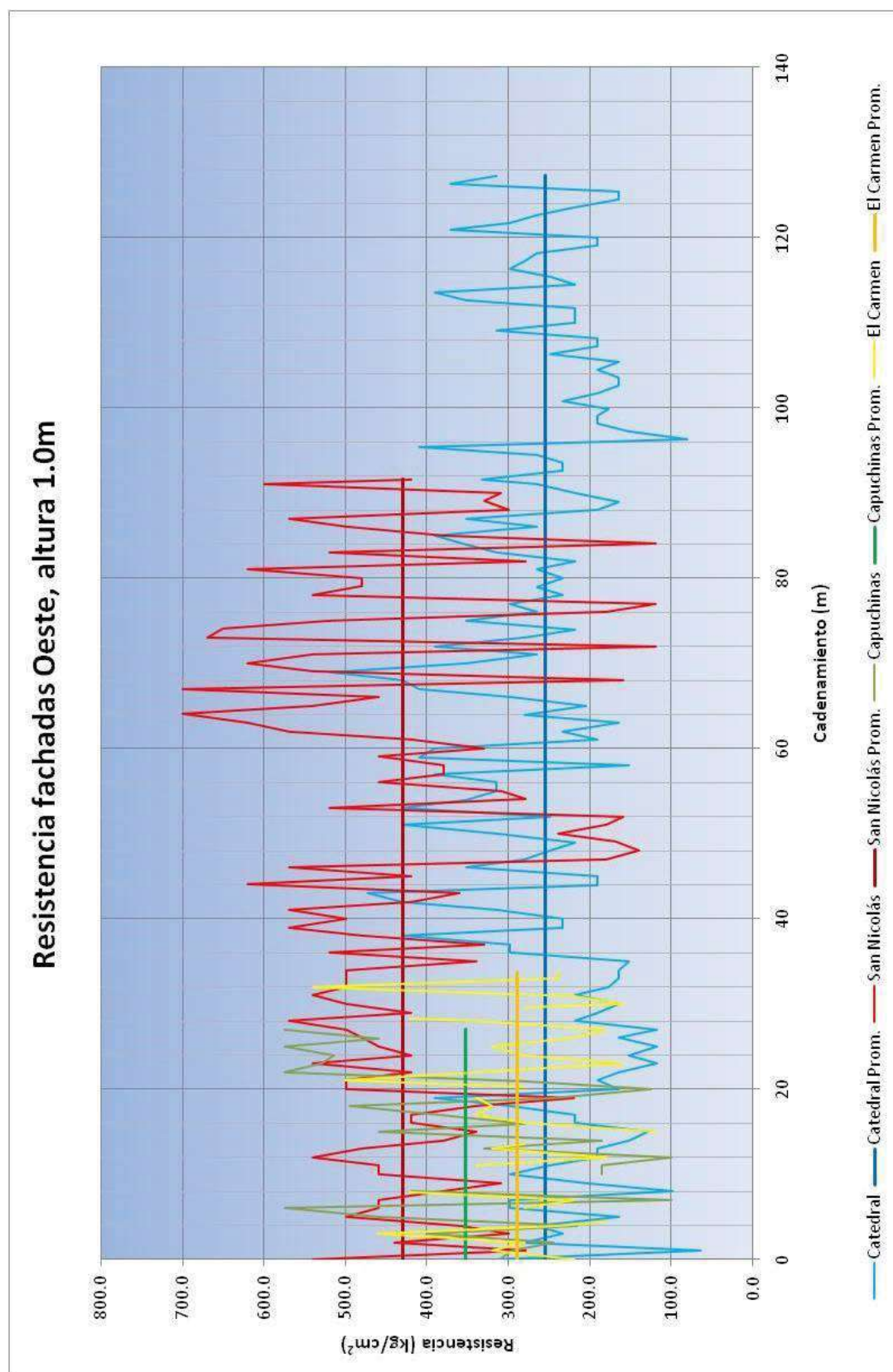
| Fachada Este del Carmen | | | |
|-------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 340 | 340 | 240 |
| 1 | 120 | 120 | 320 |
| 2 | 280 | 280 | 220 |
| 3 | 100 | 100 | 160 |
| 3.4 | 100 | 100 | 240 |
| 4 | | | |
| 4.7 | 240 | 240 | 240 |
| 5 | 320 | 320 | 380 |
| 6 | 420 | 420 | 240 |
| 7 | 420 | 420 | 380 |
| 8 | 100 | 100 | 380 |
| 9 | 340 | 340 | 100 |
| 9.3 | 580 | 450 | 460 |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 12.2 | 620 | 620 | 220 |
| 13 | 120 | 120 | 280 |
| 14 | 220 | 220 | 180 |
| 15 | 120 | 120 | 230 |
| 15.4 | 100 | 100 | 180 |
| 16 | | | |
| 16.8 | 160 | 160 | 180 |
| 17 | 230 | 230 | 170 |
| 18 | 100 | 100 | 220 |
| 19 | 320 | 320 | 230 |
| 20 | 220 | 220 | 420 |
| 21 | 100 | 100 | 240 |
| 21.9 | 320 | 320 | 260 |
| 22 | | | |
| 23 | | | |
| 23.4 | 440 | 440 | 160 |
| 24 | 220 | 220 | 160 |
| 25 | 100 | 100 | 220 |
| 26 | 280 | 280 | 280 |
| 27 | 160 | 160 | 280 |
| 27.4 | 220 | 220 | 380 |

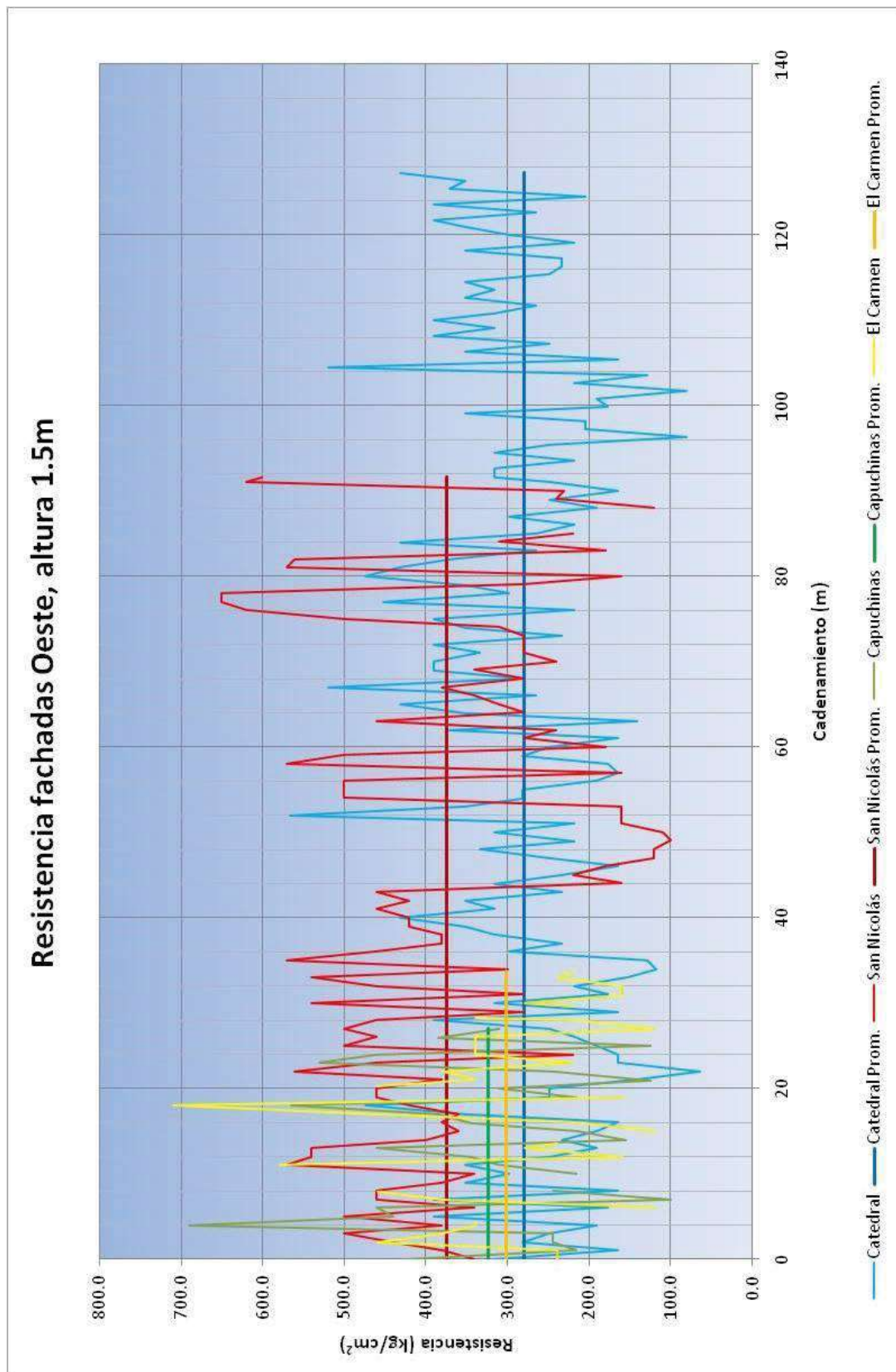
| Fachada Norte del Carmen | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|
| Cadenamiento (m) | Resistencia (kg / cm ²) a las alturas de: | | |
| | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m |
| 0 | 230 | 160 | 160 |
| 1 | 240 | 100 | 180 |
| 2 | 160 | 160 | 420 |
| 3 | 120 | 240 | 320 |
| 4 | 240 | 240 | 180 |
| 4.5 | 240 | 240 | 220 |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 6.5 | 280 | 160 | 180 |
| 7 | 240 | 280 | 280 |
| 8 | 180 | 220 | 100 |
| 9 | 320 | 500 | 280 |
| 10 | 120 | 180 | 180 |
| 10.6 | 340 | 160 | 540 |
| 12 | | | |
| 13 | 320 | 120 | 540 |
| 14 | 340 | 160 | 220 |
| 15 | 460 | 460 | 420 |
| 16 | 220 | 280 | 280 |
| 17 | 120 | 180 | 120 |
| 18 | 240 | 330 | 180 |
| 18.3 | 400 | 230 | 280 |
| 19 | | | |
| 20 | | | |
| 20.4 | 240 | 240 | 540 |
| 21 | 220 | 160 | 180 |
| 22 | 120 | 240 | 240 |
| 23 | 120 | 160 | 160 |
| 24 | 320 | 240 | 240 |
| 25 | 160 | 220 | 220 |
| 26 | | | |
| 27 | | | |
| 27.5 | 220 | 280 | 240 |
| 28 | 380 | 460 | 460 |
| 28.7 | 340 | 320 | 320 |
| 29 | | | |
| 30 | | | |
| 31 | | | |
| 32 | | | |
| 32.2 | 540 | 540 | 540 |
| 33 | 280 | 240 | 240 |
| 34 | 100 | 220 | 220 |
| 35 | 420 | 180 | 180 |
| 36 | 160 | 120 | 120 |
| 37 | 240 | 240 | 240 |
| 38 | 100 | 100 | 100 |
| 39 | 100 | 240 | 240 |
| 40 | 180 | 120 | 120 |
| 40.7 | 180 | 100 | 100 |

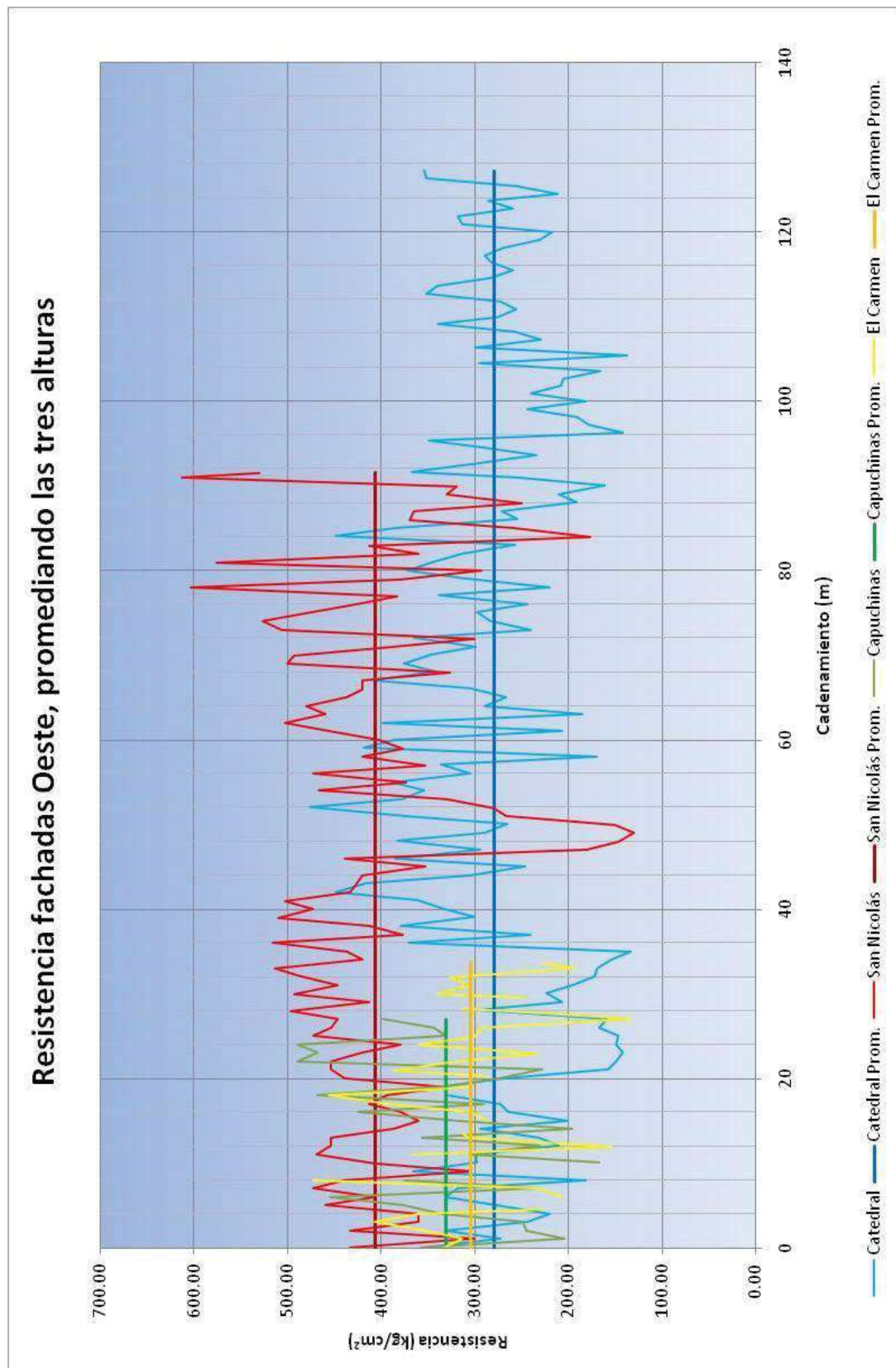


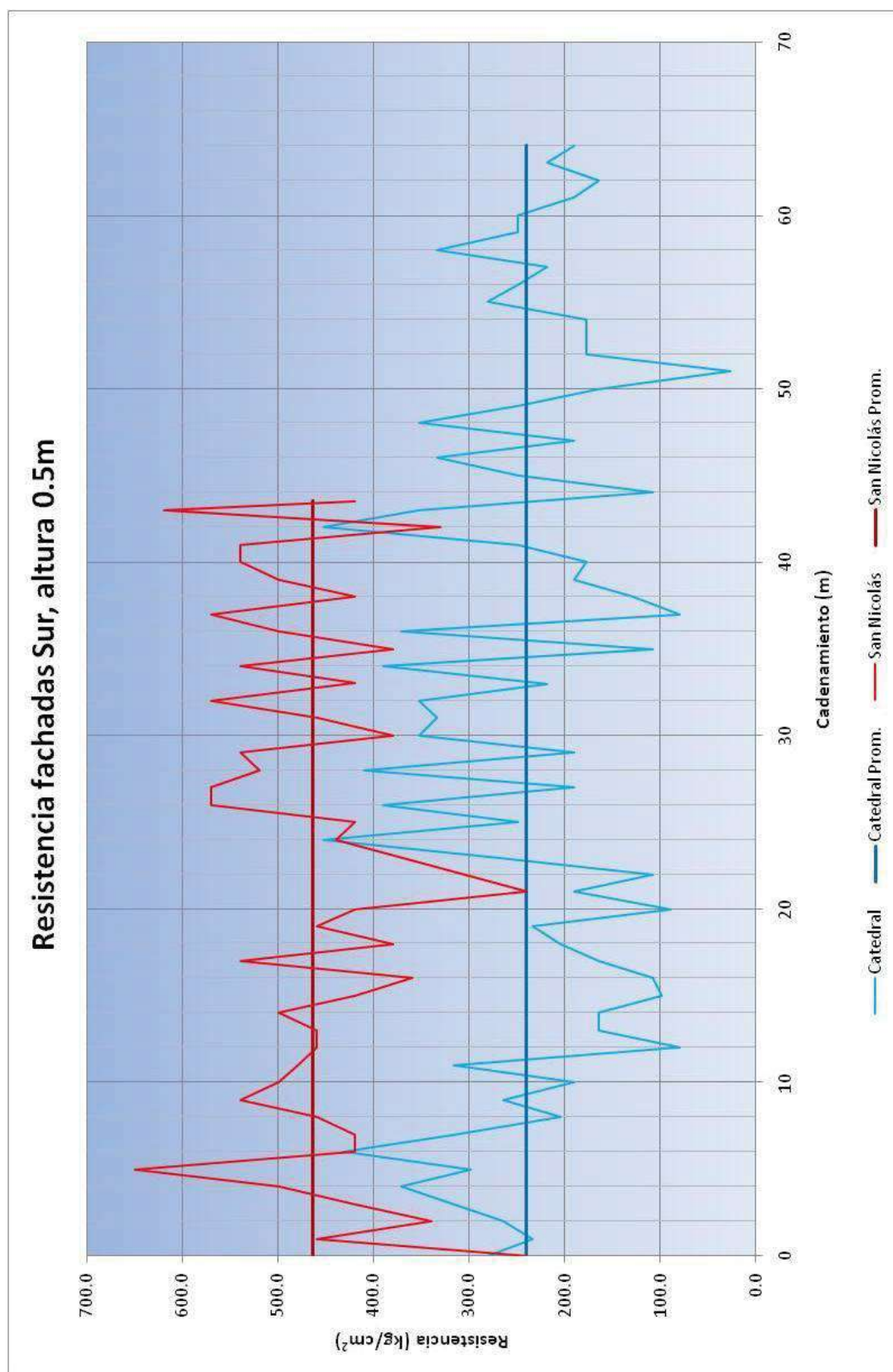
4.2 Gráficas comparativas de resistencia por fachada y por altura

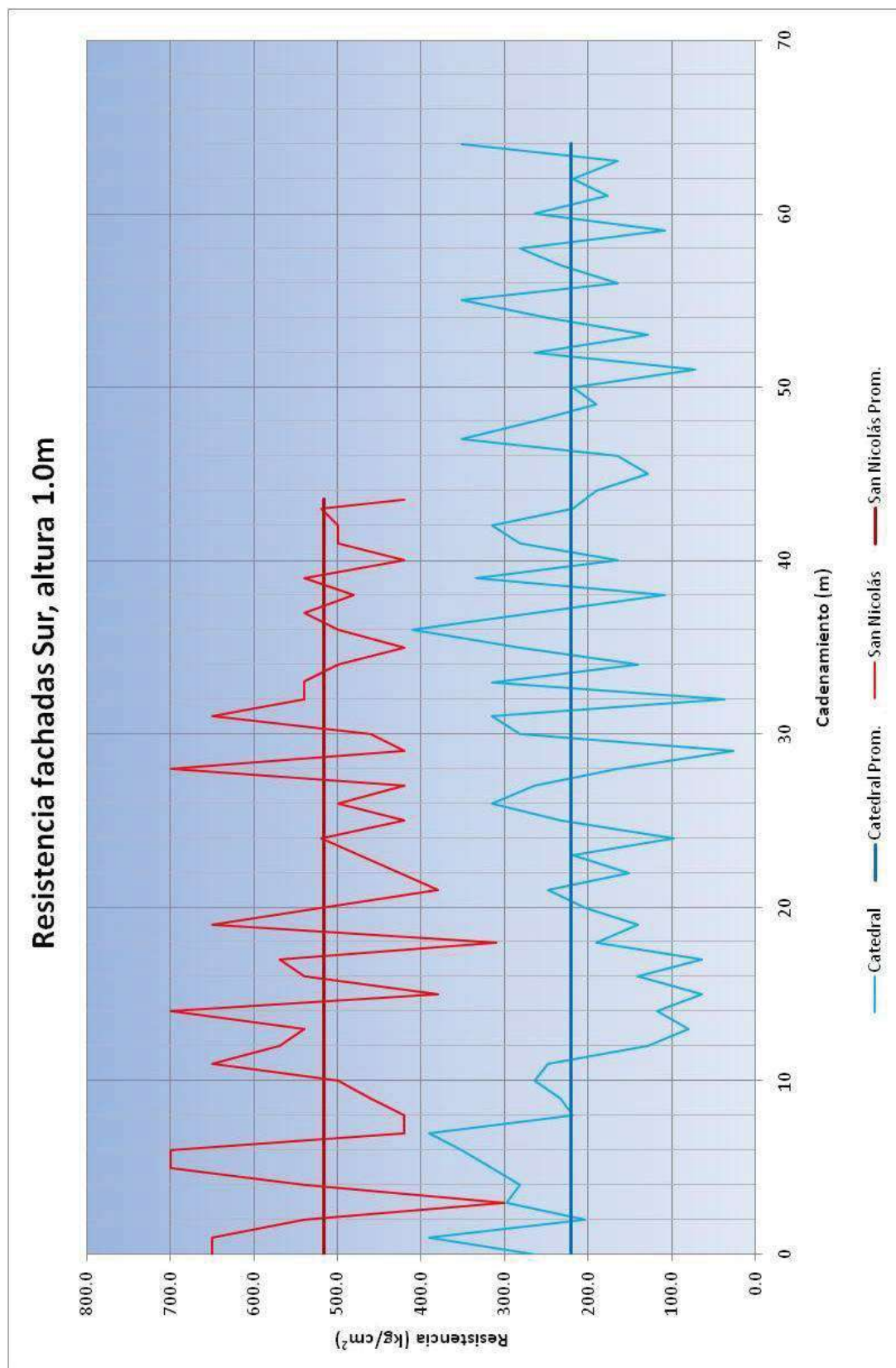


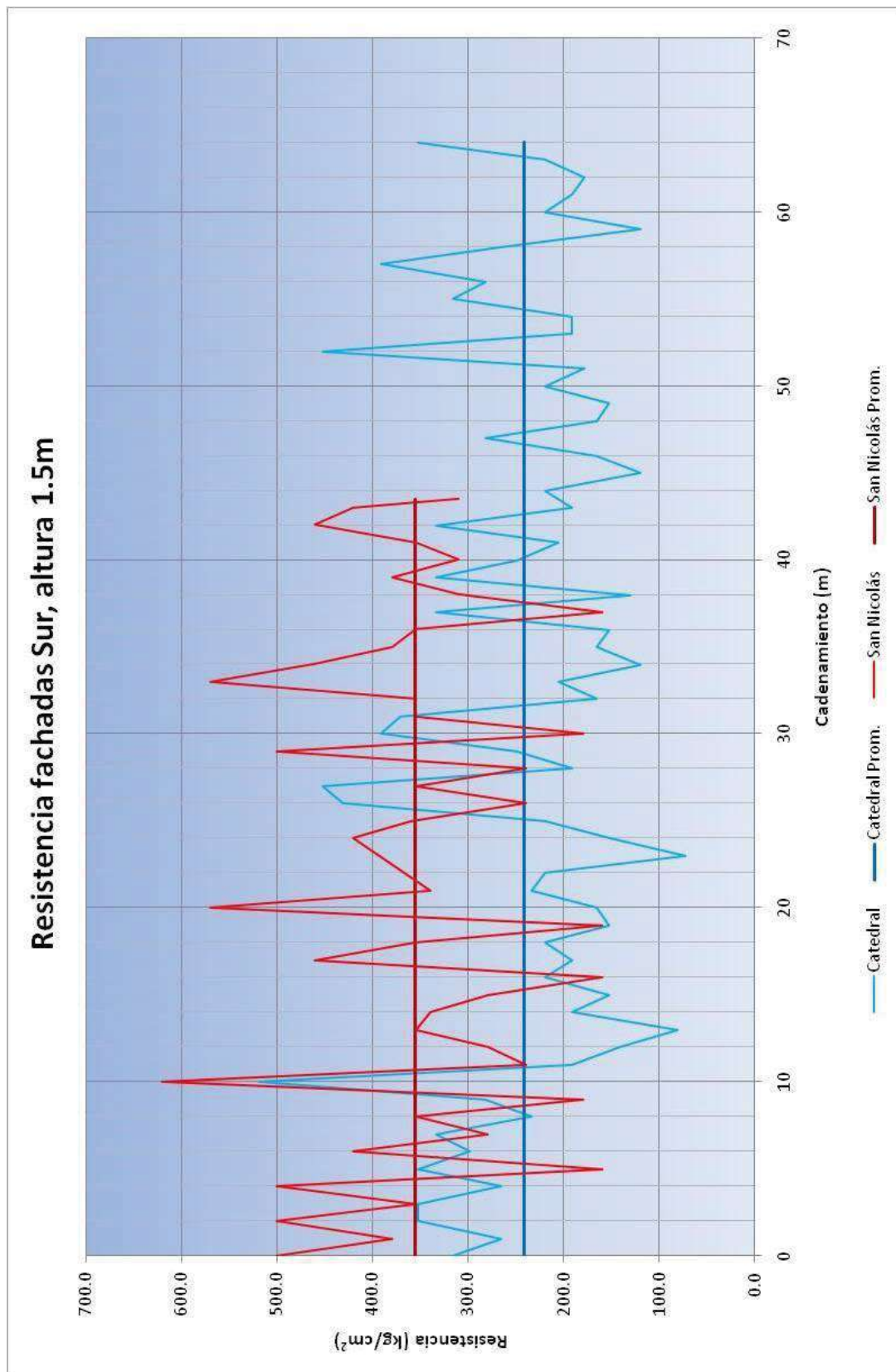


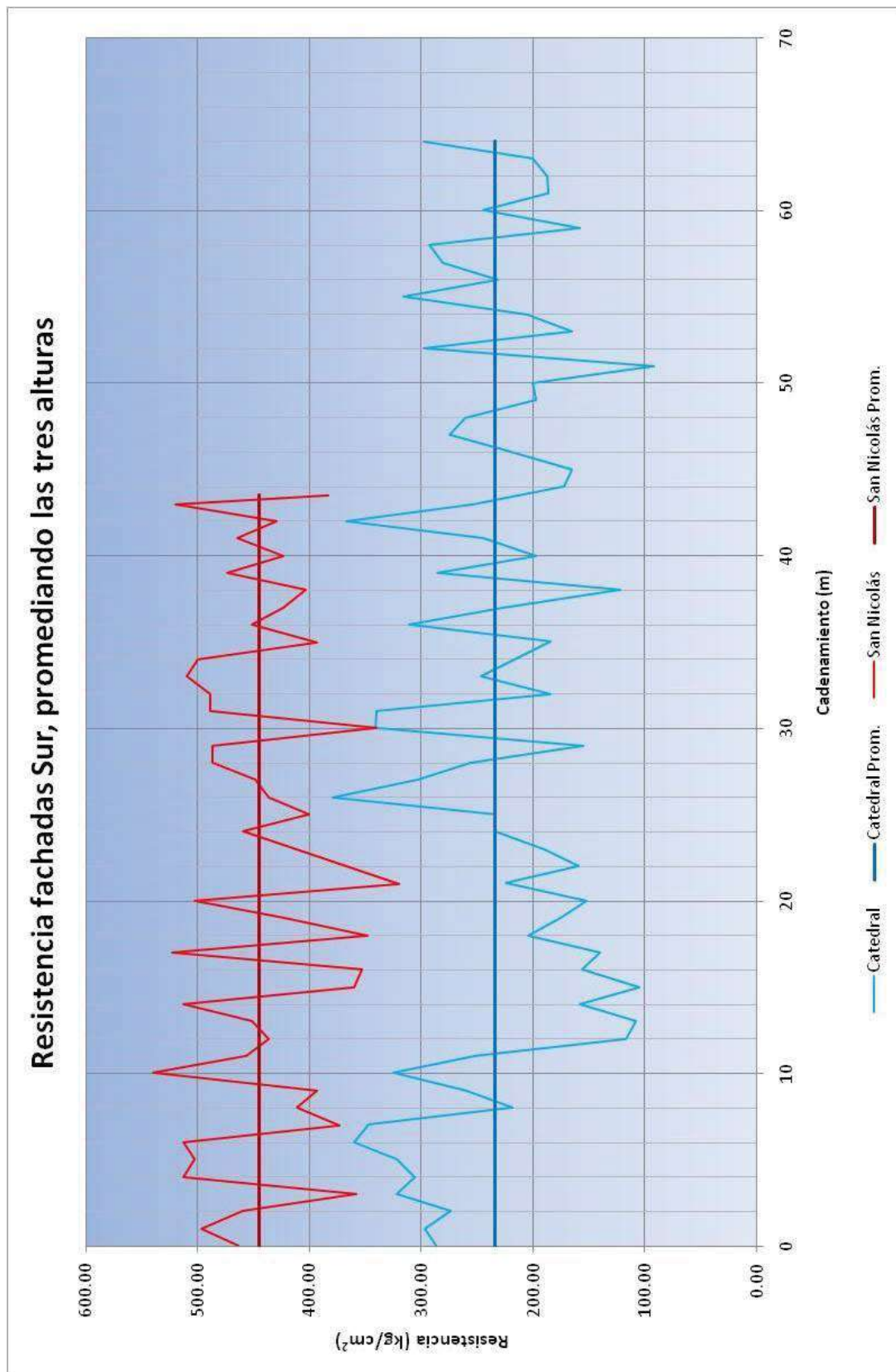


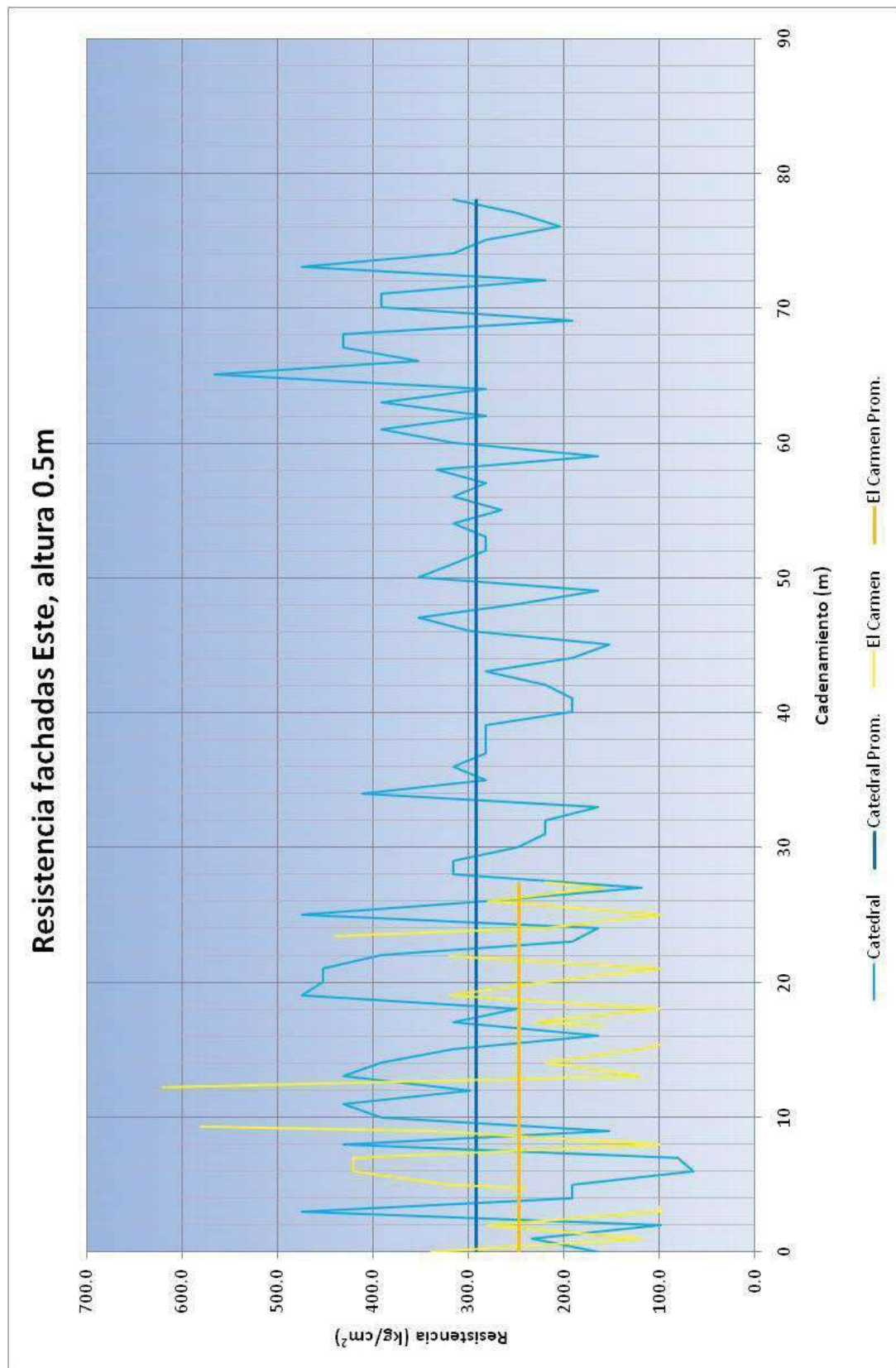


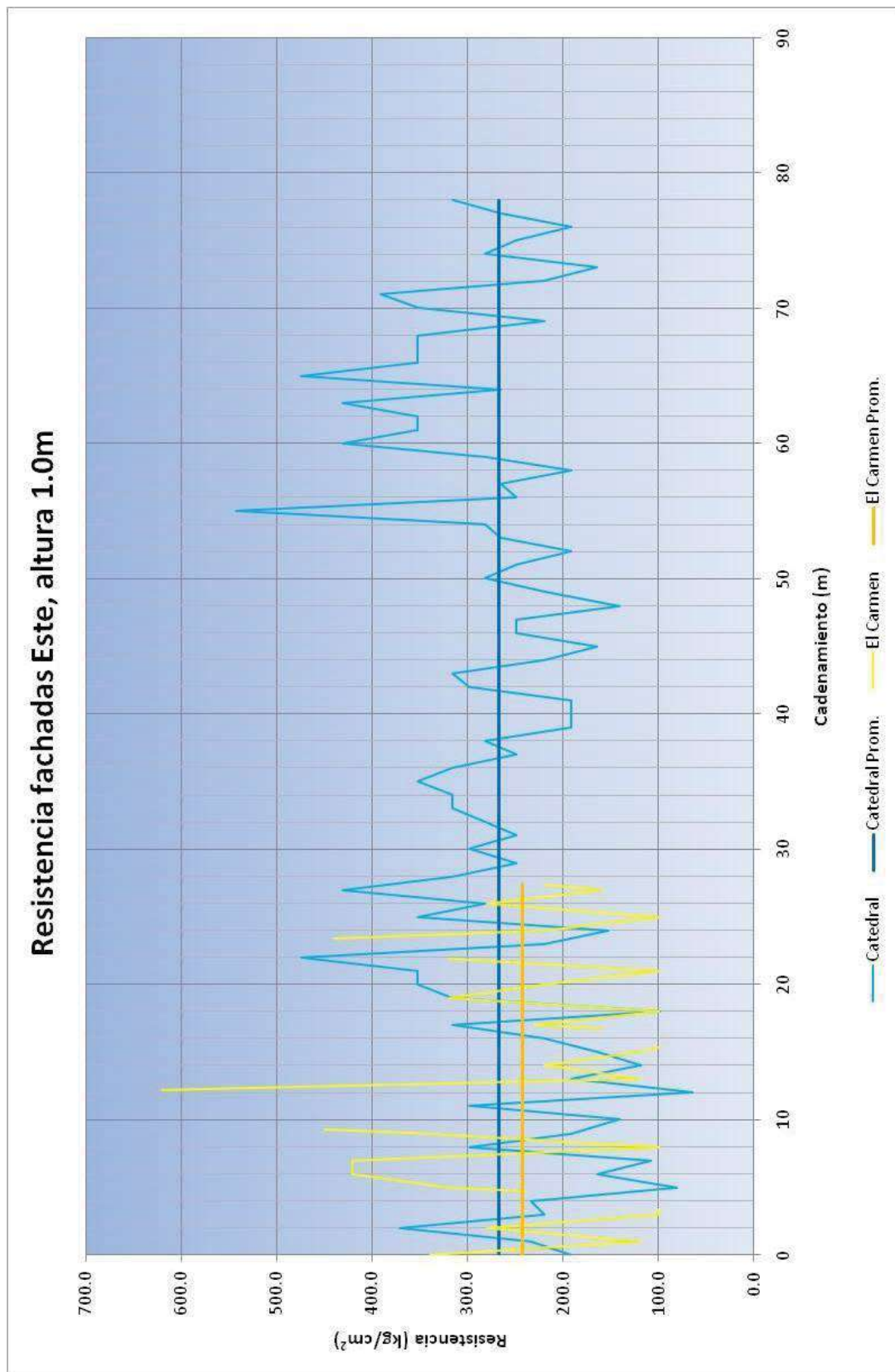


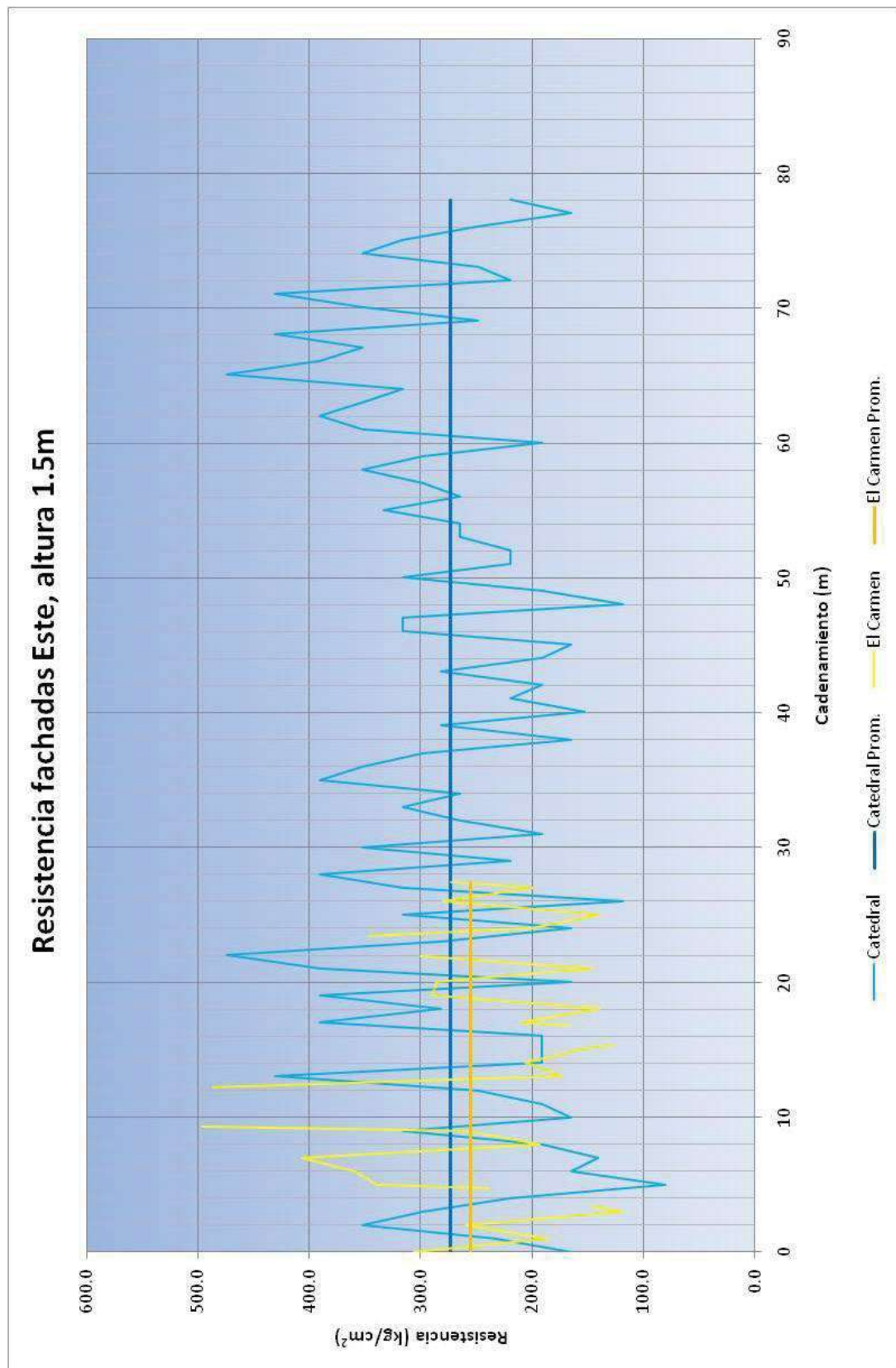


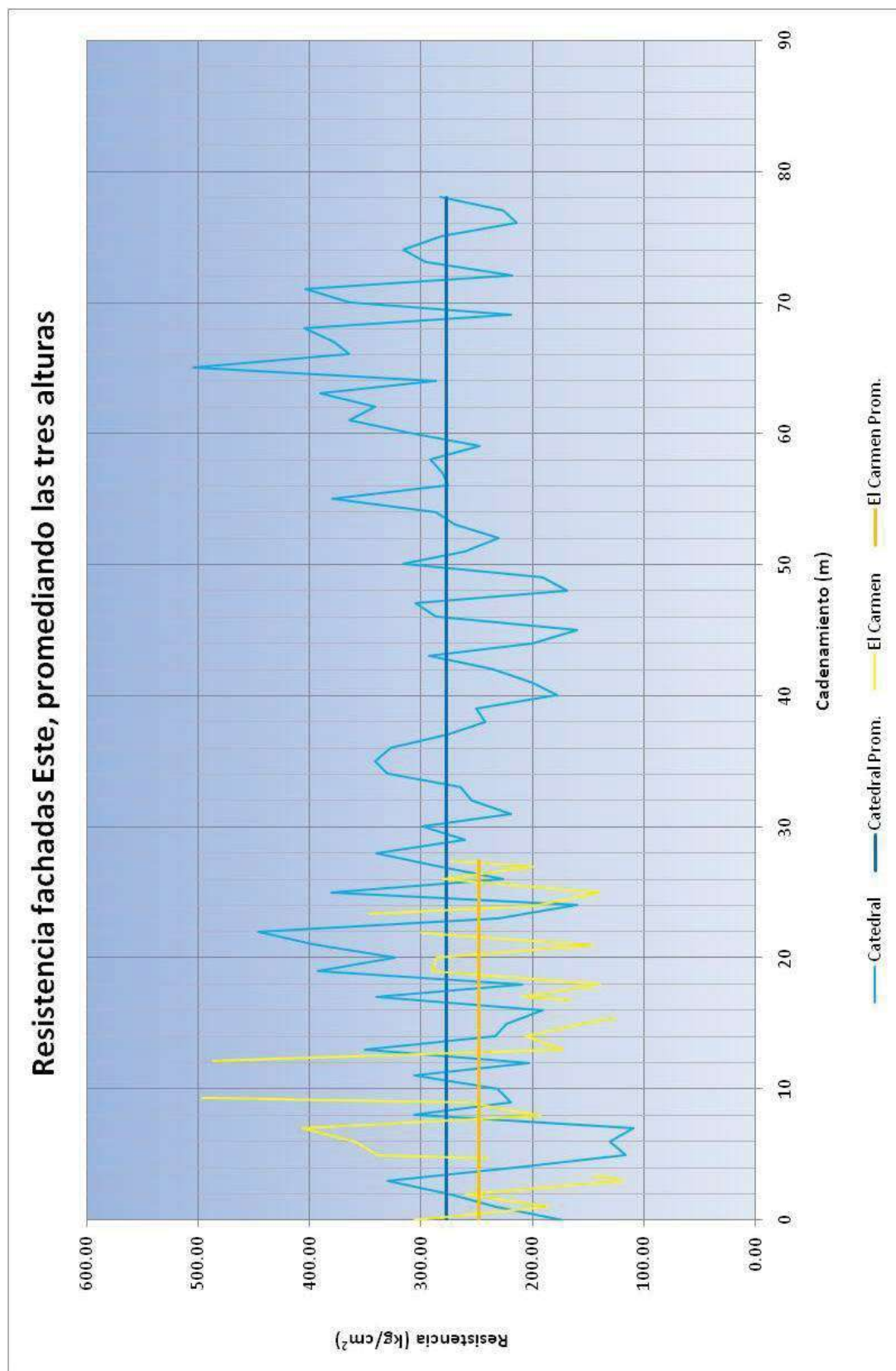


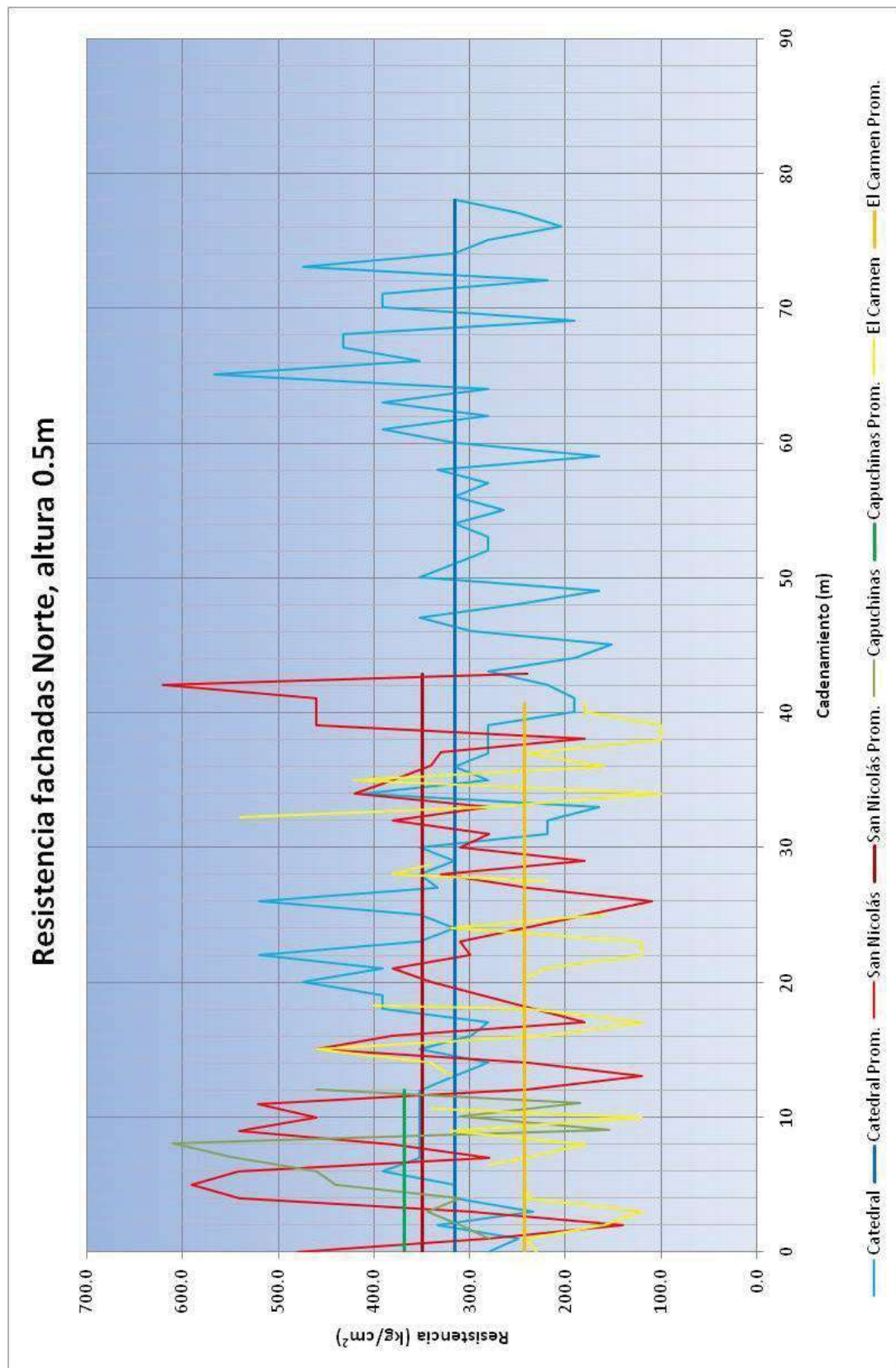


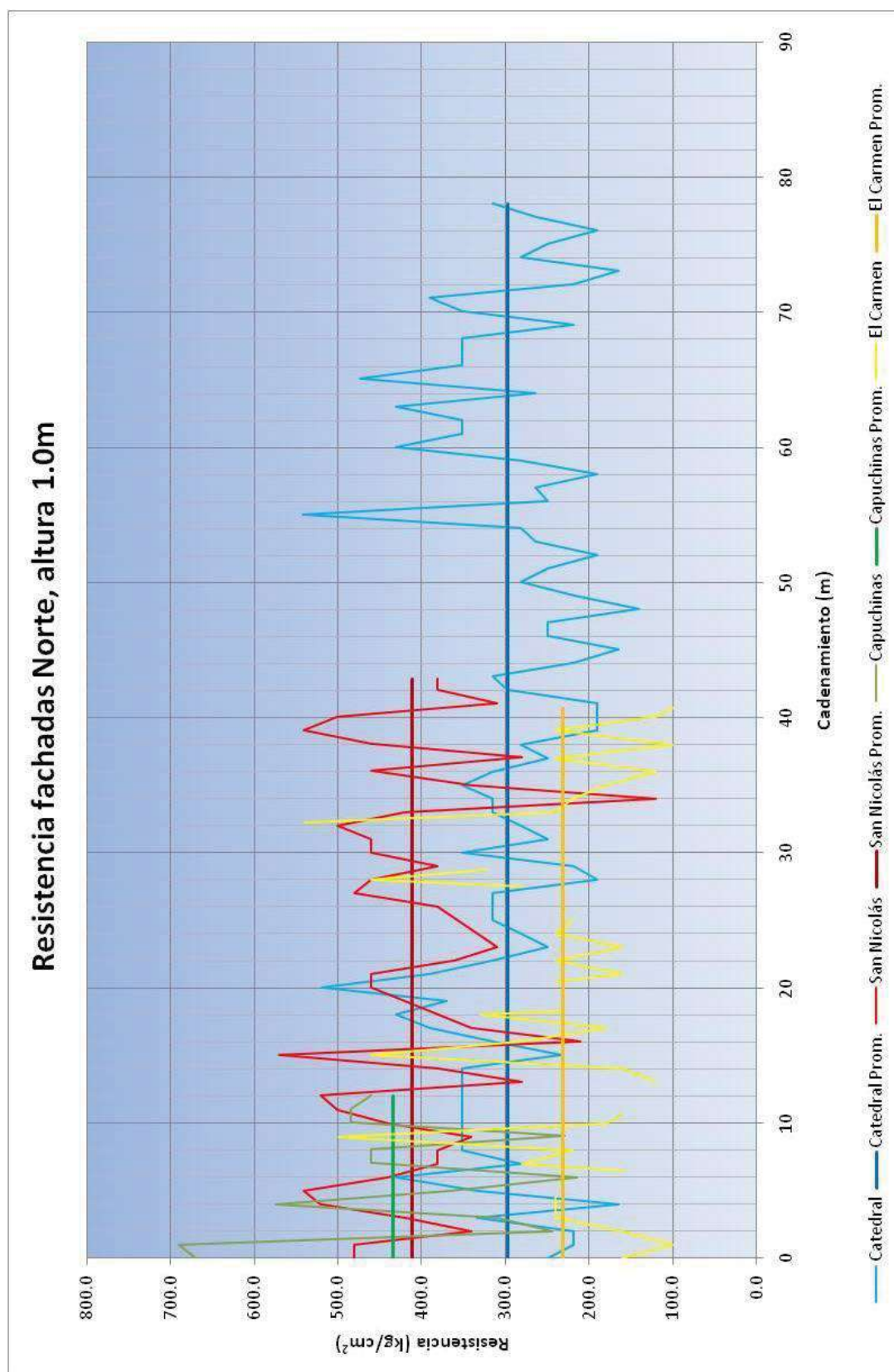


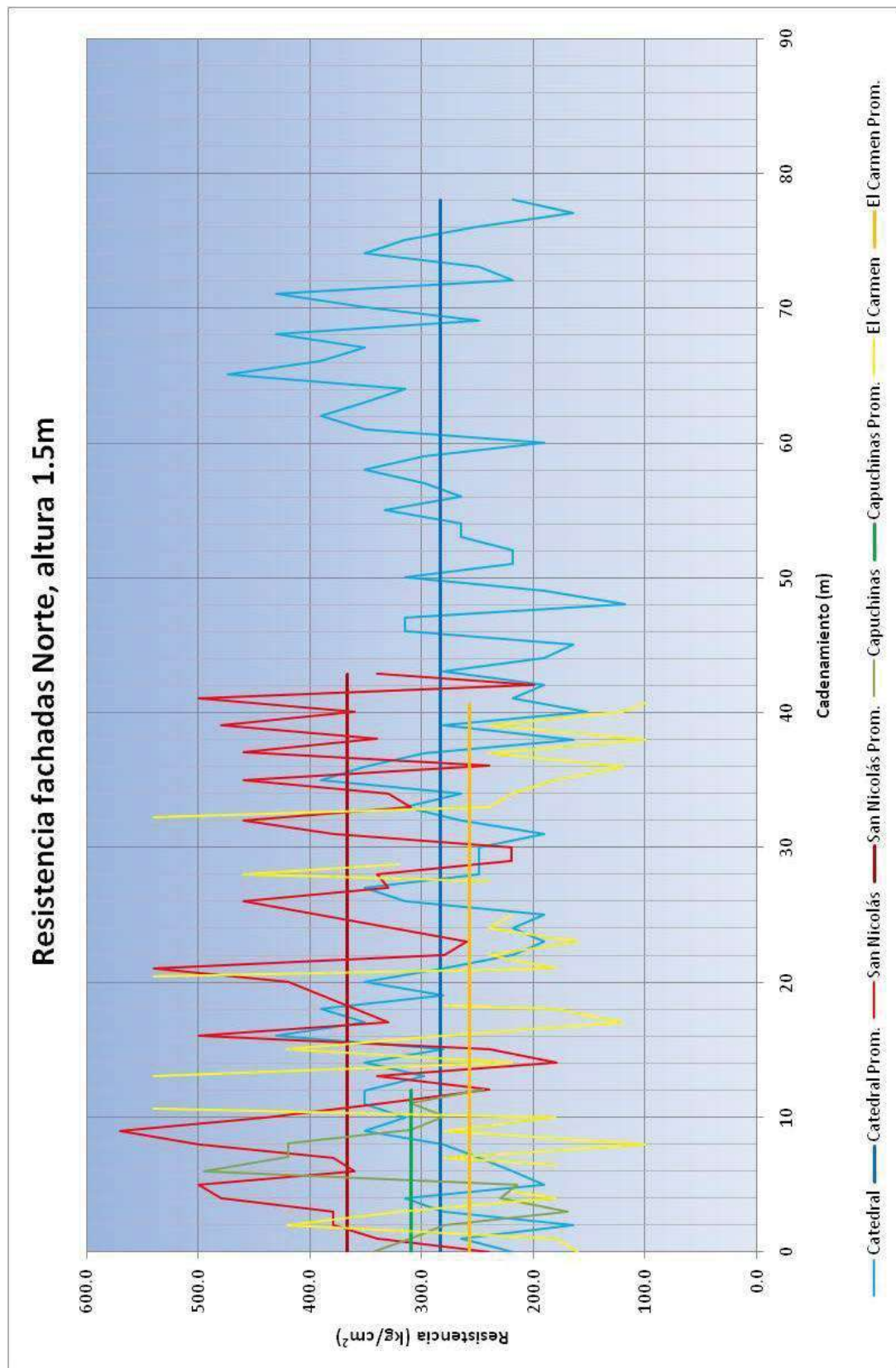


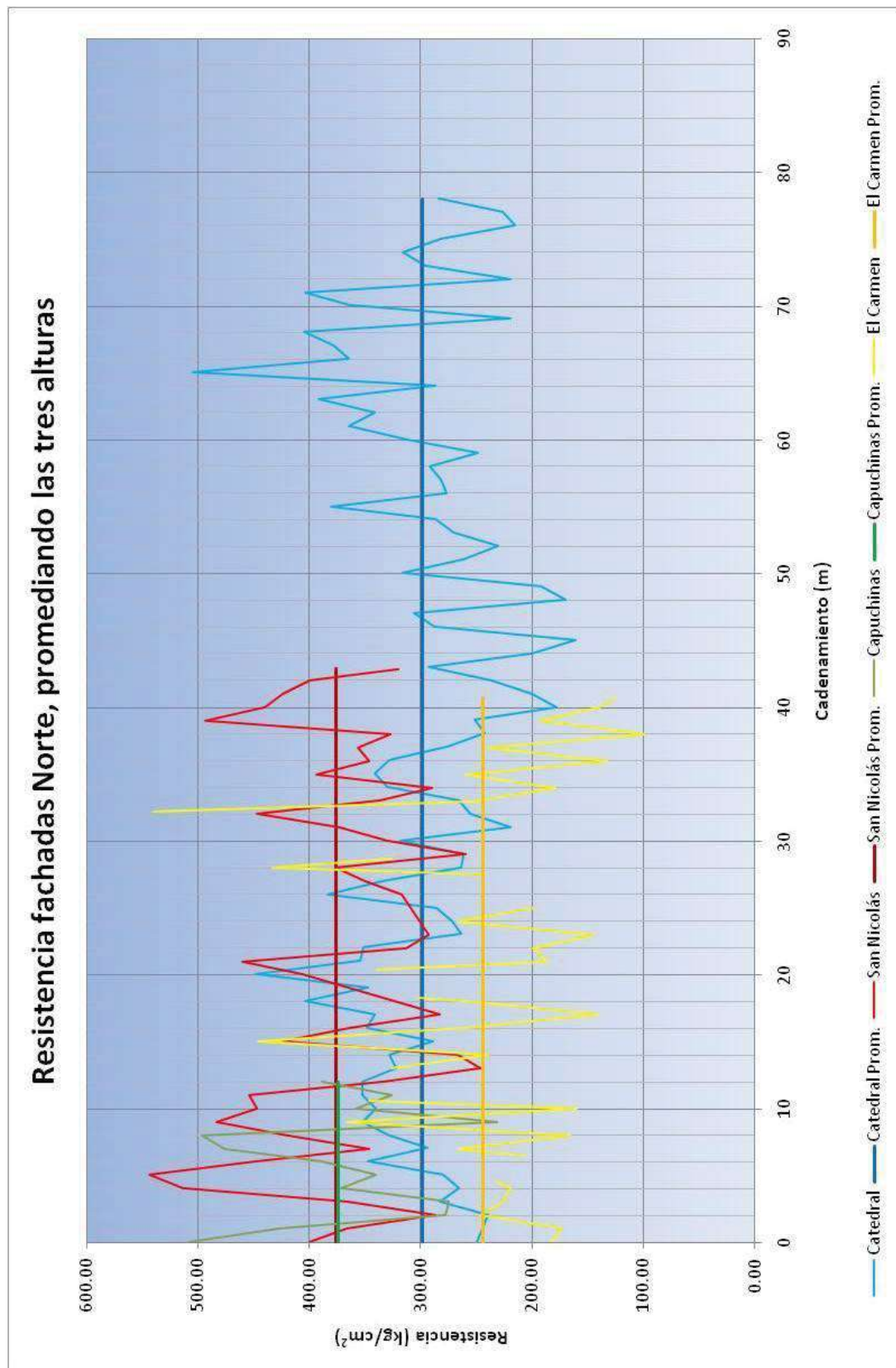




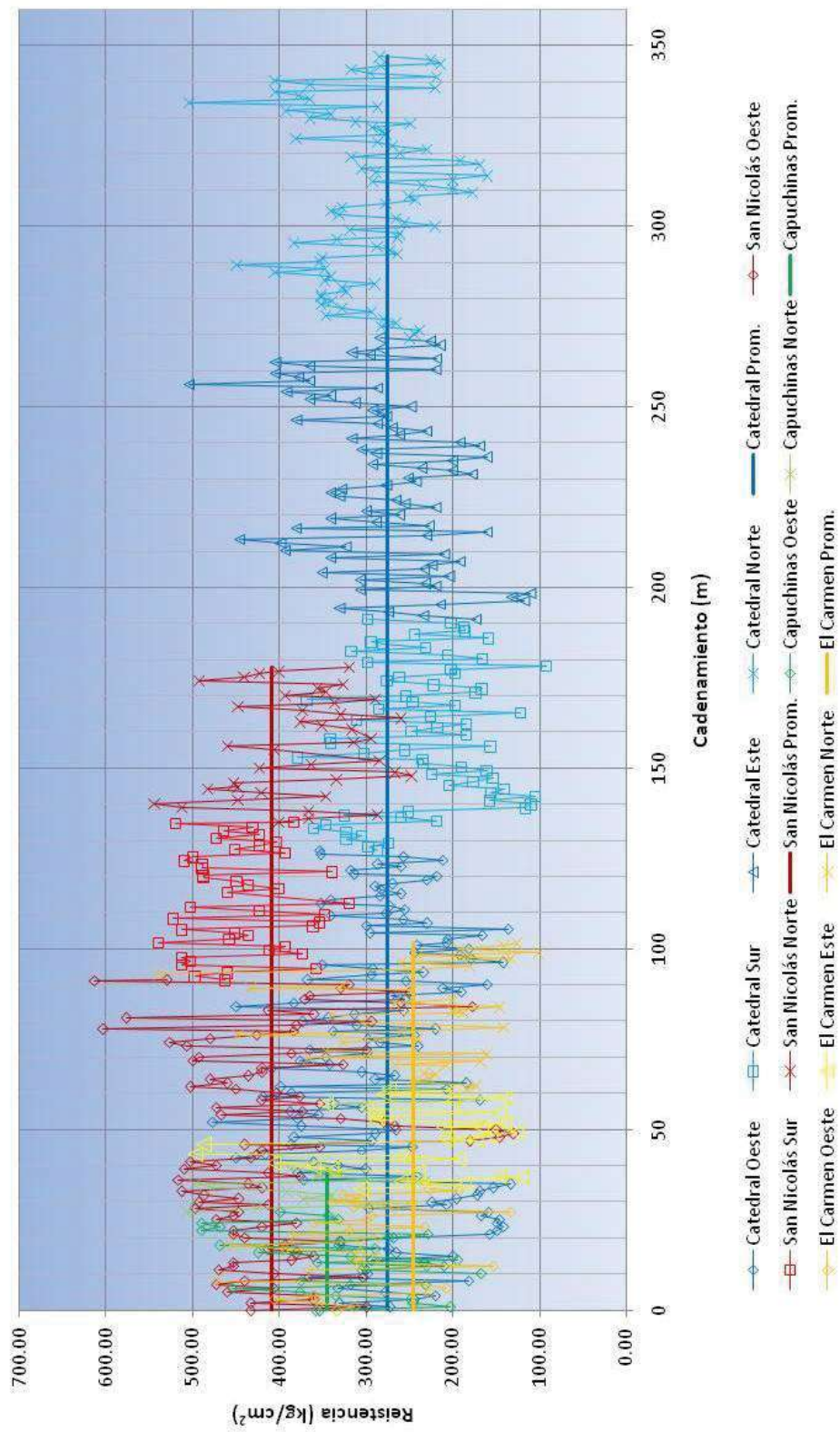








Comportamiento de la resistencia perimetral de los cuatro edificios, promediando las tres alturas.



4.3 Resumen

| Resistencias promedio para cada fachada (kg / cm ²) | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------------------|
| Catedral | | | | |
| Fachada | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m | Prom. (3 alturas) |
| Oeste | 302.8 | 254.8 | 280.2 | 279.3 |
| Sur | 239.6 | 220.6 | 241.4 | 233.8 |
| Este | 292.0 | 266.9 | 272.9 | 277.3 |
| Norte | 315.6 | 297.4 | 282.9 | 298.7 |

Resistencia
perimetral
general
(kg / cm²)

274.8

| Resistencias promedio para cada fachada (kg / cm ²) | | | | |
|--|-----------|-------|-------|-------------------|
| San Nicolás | | | | |
| Fachada | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m | Prom. (3 alturas) |
| Oeste | 415.4 | 429.1 | 375.1 | 406.5 |
| Sur | 463.3 | 516.3 | 355.0 | 444.8 |
| Este | NO APLICA | | | |
| Norte | 350.0 | 411.5 | 366.8 | 376.1 |

Resistencia
perimetral
general
(kg / cm²)

408.9

| Resistencias promedio para cada fachada (kg / cm ²) | | | | |
|--|-----------|-------|-------|-------------------|
| Capuchinas | | | | |
| Fachada | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m | Prom. (3 alturas) |
| Oeste | 316.5 | 352.0 | 324.4 | 331.0 |
| Sur | NO APLICA | | | |
| Este | NO APLICA | | | |
| Norte | 367.9 | 434.6 | 310.0 | 374.4 |

Resistencia
perimetral
general
(kg / cm²)

345.1

| Resistencias promedio para cada fachada (kg / cm ²) | | | | |
|--|-----------|-------|-------|-------------------|
| El Carmen | | | | |
| Fachada | 0.5 m | 1.0 m | 1.5 m | Prom. (3 alturas) |
| Oeste | 319.4 | 290.0 | 302.1 | 303.8 |
| Sur | NO APLICA | | | |
| Este | 247.0 | 242.7 | 255.0 | 248.2 |
| Norte | 242.9 | 232.1 | 257.4 | 244.1 |

Resistencia
perimetral
general
(kg / cm²)

245.9

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la anterior investigación, se observó a grandes rasgos, que el edificio patrimonial, que comparativamente, tuvo una **resistencia a la compresión promedio más alta** a lo largo de todo su perímetro, fue el edificio que ocupa la Preparatoria No. 1 “Colegio Primitivo y Nacional de San Nicolás de Hidalgo”, perteneciente a la UMSNH, presentando un valor promedio general de 408 kg/cm^2 ; con una resistencia promedio máxima en su fachada Sur (444.8 kg/cm^2), con su promedio más alto a la altura de 1.0m (516.3 kg/cm^2); así como una resistencia promedio mínima en su fachada Norte (376 kg/cm^2), en especial a la altura de 0.5m (350 kg/cm^2). Rango de resistencias promedio por fachada y a diferentes alturas ($350 - 516.3 \text{ kg/cm}^2$).

En el **segundo lugar**, por resistencia a la compresión promedio en todo su perímetro, tenemos al edificio del Templo de Capuchinas, con un valor de 345.1 kg/cm^2 ; con una mayor resistencia promedio en su fachada Norte (374.4 kg/cm^2), en especial a la altura de 1.0m (434.6 kg/cm^2); una resistencia promedio más baja en su fachada Oeste (331 kg/cm^2); sin embargo, la resistencia promedio más baja se encontró en la fachada Norte a la altura de 1.5m (310 kg/cm^2). Rango de resistencias promedio por fachada y a diferentes alturas ($310 - 434.6 \text{ kg/cm}^2$).

En **tercer lugar**, tenemos a la Catedral de Morelia, con una resistencia a la compresión perimetral promedio de 274.8 kg/cm^2 . Con la resistencia promedio más alta en su fachada Norte (298.7 kg/cm^2), en especial a la altura de 0.5m (315.6 kg/cm^2); y una resistencia promedio más baja en su fachada Sur (233.8 kg/cm^2), en especial a la altura de 1.0m (220.6 kg/cm^2). Rango de resistencias promedio por fachada y a diferentes alturas ($220.6 - 315.6 \text{ kg/cm}^2$).

De igual forma, el edificio que **menor resistencia a la compresión promedio** a lo largo de todo su perímetro, fue el edificio perteneciente al Templo y Exconvento del Carmen, con el valor de 245.9 kg/cm^2 ; presentando una mayor resistencia promedio en su fachada Oeste (303.8 kg/cm^2), en especial a la altura

de 0.5m (319.4 kg/cm^2); y una menor resistencia promedio en su fachada Norte (244.1 kg/cm^2), y con un valor promedio más bajo a la altura de 1.0m (232.1 kg/cm^2). Rango de resistencias promedio por fachada y a diferentes alturas ($232.1 - 319.4 \text{ kg/cm}^2$).

En general, las resistencias obtenidas ($> 245 \text{ kg/cm}^2$) marcan una notoria superioridad sobre la resistencias a la compresión obtenidas en estudios realizados a especímenes labrados de bancos Ignimbritas de la región; estos bancos de Ignimbrita sana dieron resistencias a la compresión de 75 kg/cm^2 o menores (resistencias que no cumplen con el mínimo especificado en el Reglamento de Construcciones de Michoacán [10]. Debido a esto, resulta inapropiado pensar en utilizar materiales producto de estos bancos en la restitución o restauración de los bloques de Ignimbrita de estos edificios.

Por consiguiente, es necesario proteger y conservar nuestros monumentos por todos los medios posibles, así como la búsqueda exhaustiva de algún banco que cumpla con las características y/o propiedades especificadas por el reglamento, y que no comprometan la estabilidad estructural del edificio, al actuar como puntos concentradores de esfuerzos. Es también importante buscar y cumplir con el sentido estético de la roca, por lo que el material deberá tener una textura y coloración similar a la de los materiales originales.

La velocidad del deterioro de las rocas, puede acelerarse con la combinación de distintos factores como: la temperatura (con sus consecuentes períodos de congelamiento y descongelamiento), la irradiación solar, los contaminantes presentes en el ambiente (como pueden ser los gases emitidos por los motores de combustión de los vehículos, los cuales aumentan día con día), los contaminantes disueltos en el agua procedente de lluvia y del suelo (humedad capilar), así como la eflorescencia. La eflorescencia es el fenómeno por el cual, el agua contenida en los poros de la roca, por la humedad capilar, se evapora dejando dentro de los poros cristales de sal, los cuales pueden llegar a crecer, fracturando por consiguiente a la roca. Este deterioro es conocido como

exfoliación, ya que la superficie de la roca empieza a descascararse en delgadas láminas, que terminan por dañar seriamente al elemento.

En sus inicios, la gran mayoría de los edificios del centro de Morelia estuvieron recubiertos por morteros de albañilería formados con cal, los cuales son utilizados para proteger a los edificios de los ataques de agentes atmosféricos o antropogénicos. Sin embargo, en la década de los 60's, las autoridades de la ciudad impusieron un decreto de ley, en el cual se pedía descubrir las fachadas de los edificios, con el fin de exponer la belleza de la Igimbritas. Esta medida ha provocado que en las últimas tres décadas, los edificios han sufrido grandes daños, no comparables con los daños que habían recibido en todo su tiempo de vida.

Por lo anterior, es evidentemente necesario que se tomen cartas en el asunto, es decir, tomar medidas que ayuden a proteger o conservar el Patrimonio Histórico que representan estos edificios. Sólo por mencionar algunas medidas: tomar en cuenta la instalación de dispositivos que desvíen o interrumpan la ascensión de la humedad capilar, como el utilizado en el edificio de San Nicolás; programas de limpieza exhaustivos, o el uso de recubrimientos no reactivos con las rocas, y que permitan la transpiración las mismas con el fin de no alterar sus propiedades; así también la disminución del tráfico vehicular en el interior del Centro Histórico de Morelia y el impulso hacia el desarrollo y utilización de combustibles más eficientes limpios.

La sociedad en general, debe tomar consciencia de la importancia y/o valor que tienen estos monumentos y la necesidad de conservarlos, ya que representan un gran patrimonio cultural para las generaciones venideras, además de que resulta en una muy buena inversión, tomando en cuenta que la ciudad de Morelia se encuentra mayormente alimentada por los recursos provenientes del sector Turismo.

6. REFERENCIAS

- [1] CAS, R. A. F., and J. V. Wright, (1988), **IGNIMBRITES AND IGNIMBRITE FORMING ERUPTIONS**, “**Volcanic successions, modern and ancient**”, Unwin Hyman Ltd, USA, pp., 223 -266.
- [2] ALONSO, G. E., M. Ávalos, V. Castaño, W. Martínez y L. Martínez, (2005), Estudio del Comportamiento Mecánico de Fachadas de Monumentos Exteriores en Morelia, Michoacán, México, “**La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología**” Volumen II, Academia Mexicana de Ciencia de Materiales, editada por Demetrio Mendoza / Jesús A. Arenas / Ventura Rodríguez, Puebla, Puebla, México, pp., 177-189.
- [3] H. Ayuntamiento de Morelia, <http://www.morelia.gob.mx>, (Consulta: 13 Agosto 2009)
- [4] Universidad Latina de América <http://www.unla.edu.mx/Aspx/morelia.aspx> (Consulta: 13 Agosto 2009)
- [5] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo <http://www.umich.mx/mich/morelia/mor-plano.html> (Consulta: 13 Agosto 2009)
- [6] RAMÍREZ R. E., (1981), “**Catálogo de Construcciones Artísticas, Civiles y Religiosas de Morelia**”, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (División de Ciencias y Humanidades, Departamento de Investigaciones Artísticas) y Fondo de actividades Sociales y Culturales de Michoacán, México.
- [7] LEET, D. L. y S. Judson, (2000), “**Fundamentos de Geología Física**”, Editorial Limusa, México.

- [8] LONGWELL CH. R., Flint R. F., (1983), sexta reimpresión, **“Geología Física”**, Editorial Limusa, México.
- [9] El ciclo de las rocas, <http://uy.kalipedia.com/ciencias-tierra-universo/tema/geosfera/ciclo-rocas.html> (Consulta: 16 Agosto 2009)
- [10] ALONSO G. E., (1998), **“Propiedades Físicas y Mecánicas de Ignimbritas del Municipio de Morelia”**, Tesis de Maestría, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- [11] DIAZ S. J., (2003), **“Calibración del Martillo de Schmidth (Esclerómetro), Para Pruebas No Destructivas en Concreto Endurecido”**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, pp., 20-34.
- [12] ARREYGUE R. E., (2009), INSPECCIÓN DE UN MACIZO ROCOSO, **“Curso de Geología Aplicada”**, Facultad de Ingeniería Civil, Maestría en Infraestructura del Transporte, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, pp., 78.
- [13] (2009) **“Determinación del índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro”**, NMX-C-192-1997-ONNCCE, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto AC
- [14] MÉNDEZ CH. H., (2005), **“Evaluación No Destructiva de Comportamiento Mecánico de Fachadas de Ignimbrita en el Primitivo y Nacional Colegio de San Nicolás de Hidalgo”**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Morelia, México.
- [15] ISRM suggested methods, (1978), Int. Jour Rock Mech. And Min. Sci. Y Geomech. Abst., Pergamon Press, pp., 89-97.

- [16] ALONSO, G. E., V. Castaño, W. Martínez, J. C. Rubio, F. Velasco, L. Martínez y M. Ávalos, (2006), Caracterización Mecánica de Fachadas de Ignimbrita Exteriores de Monumentos Histórico-Arquitectónicos del Centro de Morelia, **“La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología”** Volumen III, Academia Mexicana de Ciencia de Materiales, editada por Demetrio Mendoza / Jesús A. Arenas / Ventura Rodríguez, Puebla, Puebla, México, pp., 253-264.
- [17] VARELAS S. Miguel, (2004), **“Degradación ambiental de las rocas de monumentos del Centro Histórico, caso del Templo de capuchinas del Sector Nueva España de Morelia, Michoacán, México”**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- [18] CARMONA L. N., (2005), **“Correlación entre el Intemperismo y su Resistencia Mecánica con Métodos Indirectos, caso de estudio: Exconvento del Carmen Morelia”**, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.