

**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”

**T e s i s**

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 construidos 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  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Debido a esto y a que el reglamento de Construcción del Estado de Michoacán indica un mínimo de  $100 \text{ kg/cm}^2$  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  $100 \text{ kg/cm}^2$ .

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  $250 \text{ kg/cm}^2$ . Because of this and because of the Construction Regulation Code in Michoacan State, which indicates a minimum of  $100 \text{ kg/cm}^2$  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  $100 \text{ kg/cm}^2$ .

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 Moralez 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 ensayo	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  $19^{\circ}42'10''$  de latitud Norte y a los  $101^{\circ}11'32''$  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 km<sup>2</sup>. 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. <b>Catedral</b>                                   | 20. <b>Templo de Capuchinas</b>     |
| 2. Palacio de Gobierno                               | 21. Cámara de Diputados             |
| 4. Plaza de Armas                                    | 22. Antigua Casa del Diezmo (banco) |
| 5. Palacio de Justicia                               | 23. Casa de García Obeso (banco)    |
| 6. Museo Regional Michoacano                         | 24. Antiguo Hospital San Juan de    |
| 7. Palacio Municipal                                 | Dios (hotel)                        |
| 8. Templo de La Merced                               | 25. Plaza Melchor Ocampo            |
| 9. Tesorería de la Universidad                       | 26. Museo de Arte Colonial          |
| 10. Templo de Las Rosas                              | 34. Palacio Federal                 |
| 11. Conservatorio de Música                          | 35. Templo de las Monjas            |
| 12. Jardín de Las Rosas                              | 36. Templo de San José              |
| 13. Palacio Clavijero                                | 37. <b>Templo del Carmen</b>        |
| 14. <b>Colegio de San Nicolás</b>                    | 50. Teatro Melchor Ocampo           |
| 15. Biblioteca Pública                               | 63. Antigua Central Camionera       |
| 16. Casa Natal de Morelos                            | 66. Hotel Virrey de Mendoza         |
| 17. Ex-convento de San Agustín                       | 68. Centro Cultural Universitario   |
| 18. Casa Museo José Ma. Morelos                      | 70. Mercado Independencia           |
| 19. Palacio del Artesano (Casa de las<br>Artesanías) | 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 m<sup>2</sup> (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; hacia 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, hendiditas 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 Áimas 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 m<sup>2</sup>.



### 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 períodos 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 viguería 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 m<sup>2</sup> (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 costeó 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 “Secretaría 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 “Secretaría 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 m<sup>2</sup> (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 exclaustrados 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 ( $\text{SiO}_2$ ), 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].

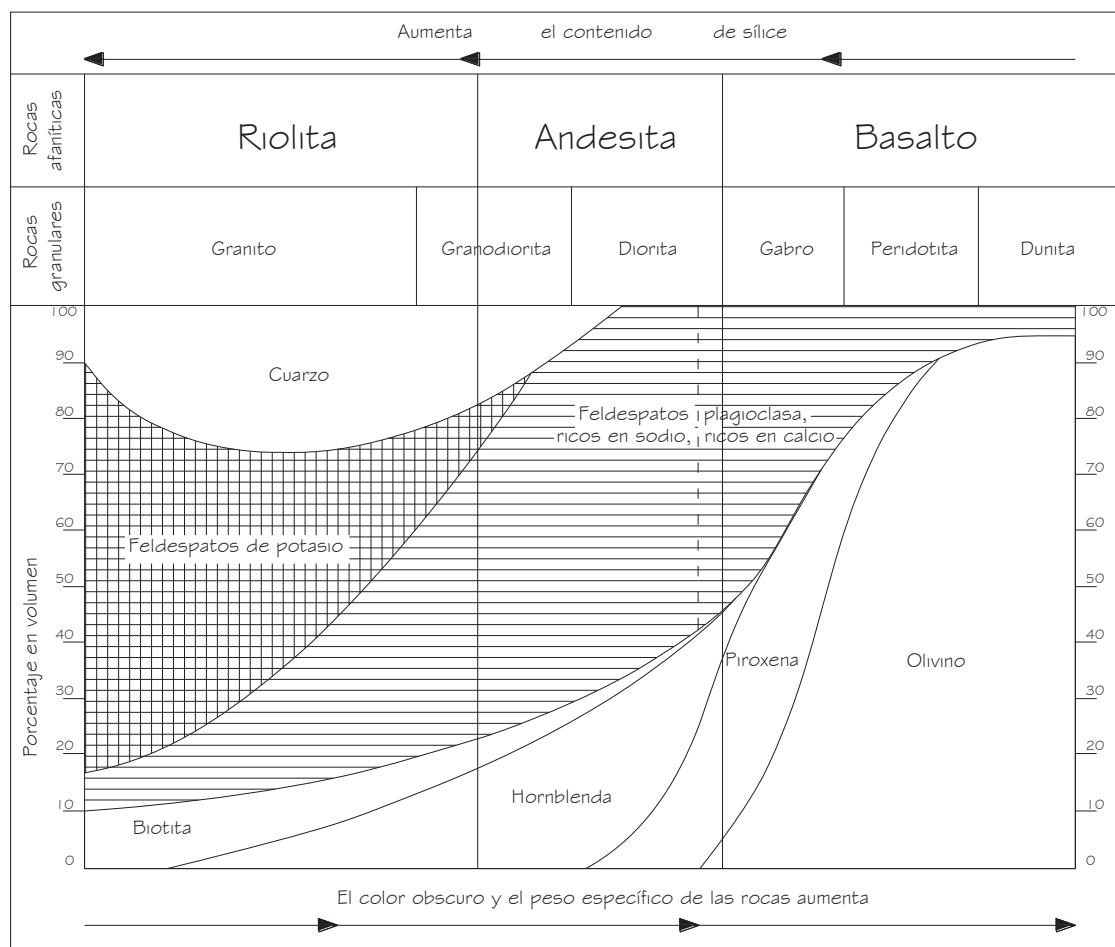


Figura 2.1 Diagrama que muestra las proporciones de los principales minerales en las rocas ígneas comunes [8, pp. 43].

## 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 amplia 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 recristalizaciones 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 bandeadas, en ellas encontramos a los minerales feldespato, cuarzo, hornblenda y granate), pizarra (de textura fina que se exfolia en placas muy delgadas, el gris azuloso 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

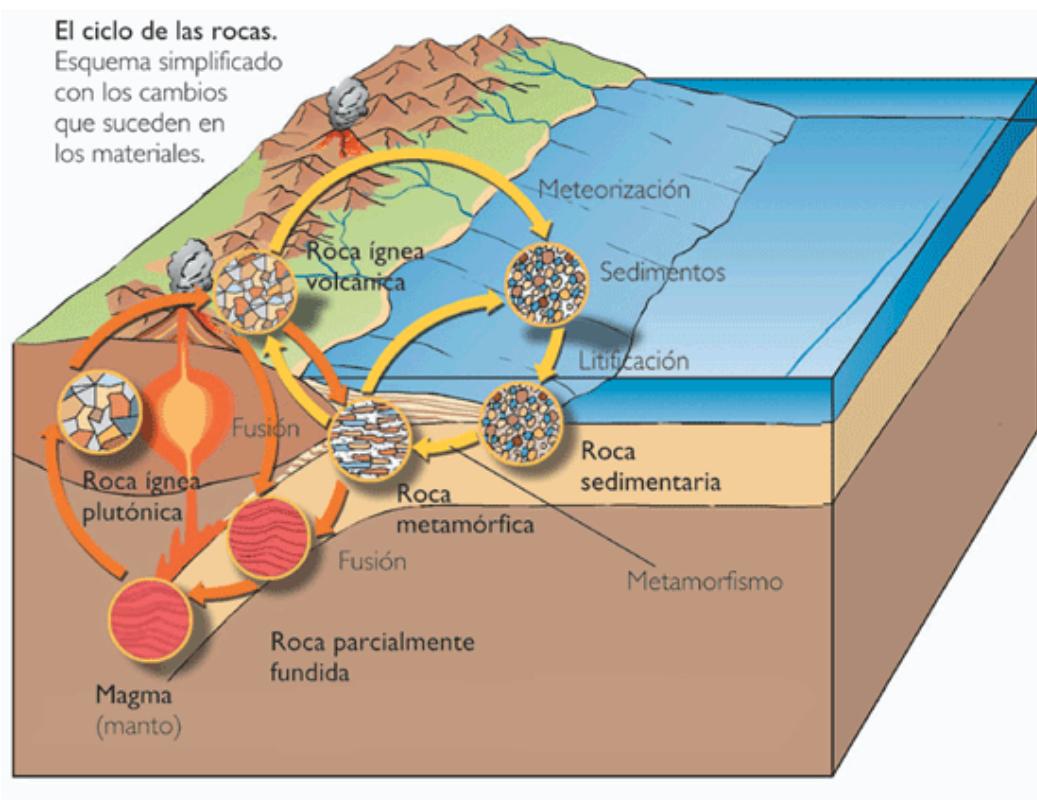


Figura 2.2 Ciclo de las Rocas [9]. Muestra los diferentes tipos de transformaciones que se llevan a cabo entre las tres formas básicas de las rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas).

## 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), ductil (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. Los composiciones principales de este tipo de rocas, son las “riolitas” (70% SiO<sub>2</sub>), “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 devitrificación 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 dividirlas 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 infinidad de 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 ensayos 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).

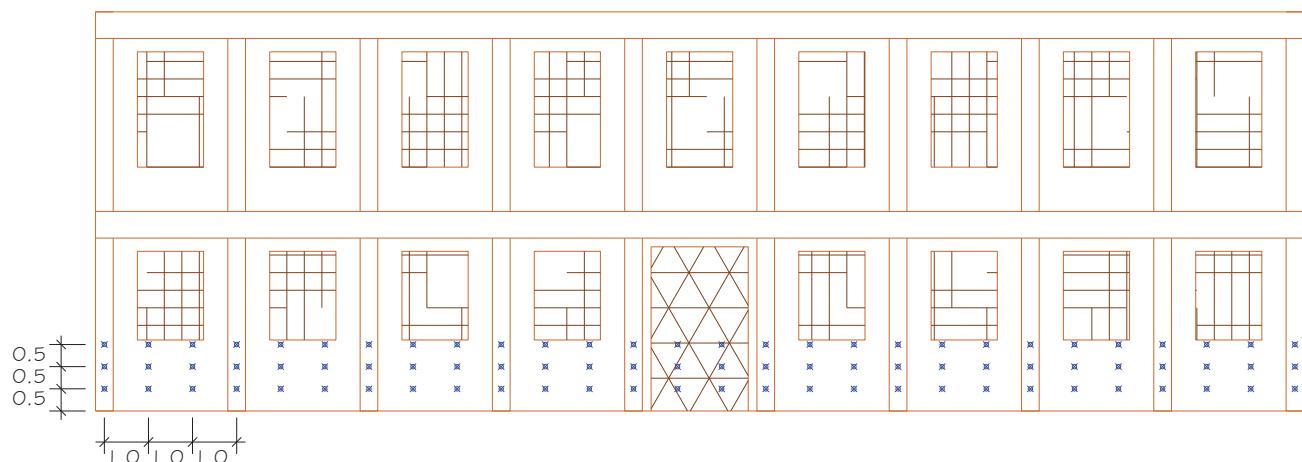


Figura 4.1 Diagrama ilustrativo de la distribución de las mediciones a lo largo de cada fachada.

\*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 <sup>2</sup> ) 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 <sup>2</sup> ) 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 <sup>2</sup> ) 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

Cadenamiento (m)	Fachada Sur de Catedral		
	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

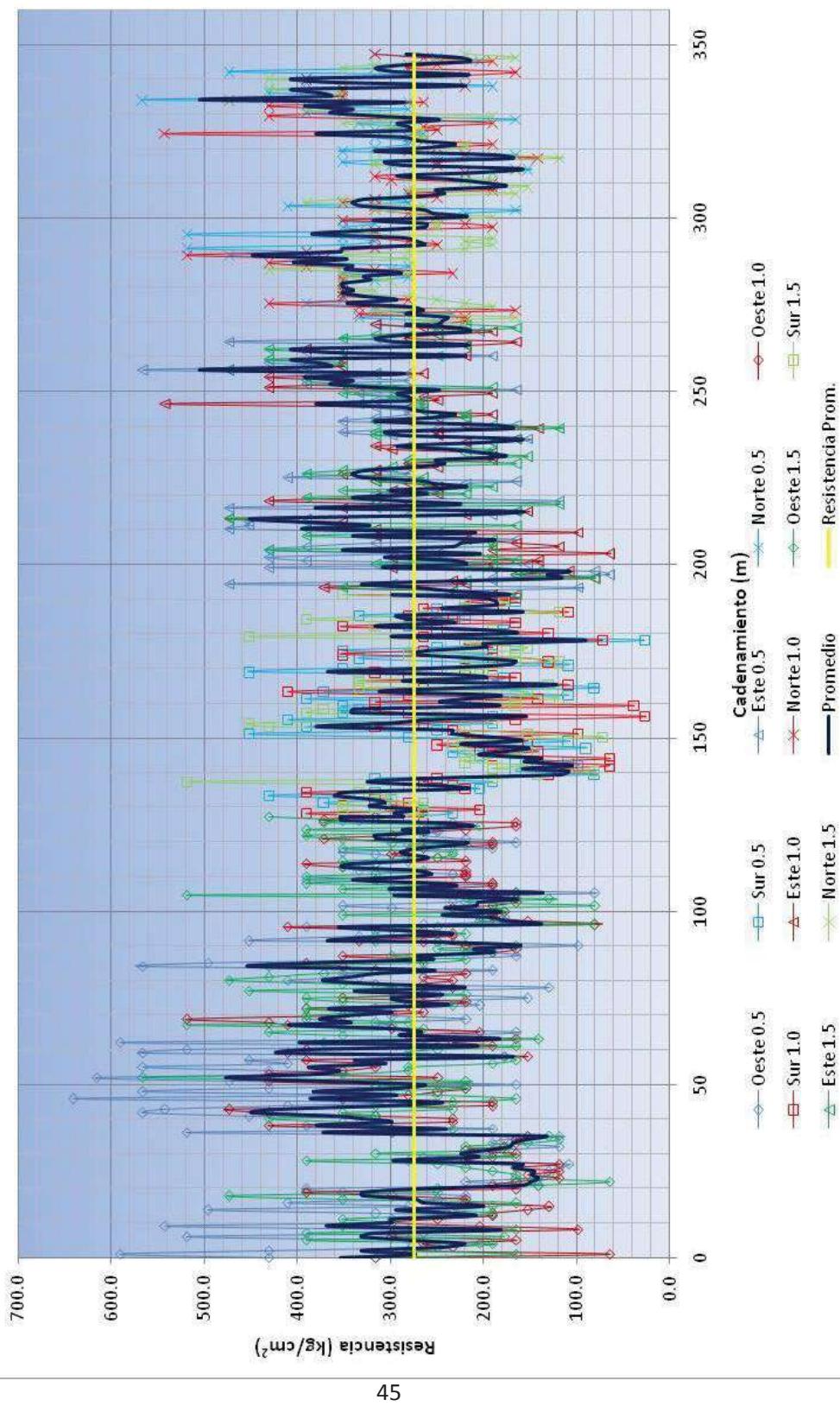
Cadenamiento (m)	Fachada Sur de Catedral		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
47	190.8	352.0	281.3
48	352.0	264.9	164.7
49	249.0	190.8	152.4
50	164.7	218.9	218.9
51	27.1	72.1	177.5
52	177.5	264.9	452.4
53	177.5	129.4	190.8
54	177.5	249.0	190.8
55	281.3	352.0	315.6
56	249.0	164.7	281.3
57	218.9	233.7	390.6
58	333.6	281.3	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 <sup>2</sup> ) 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 <sup>2</sup> ) 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 <sup>2</sup> ) 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

Cadenamiento (m)	Fachada Norte de Catedral		
	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

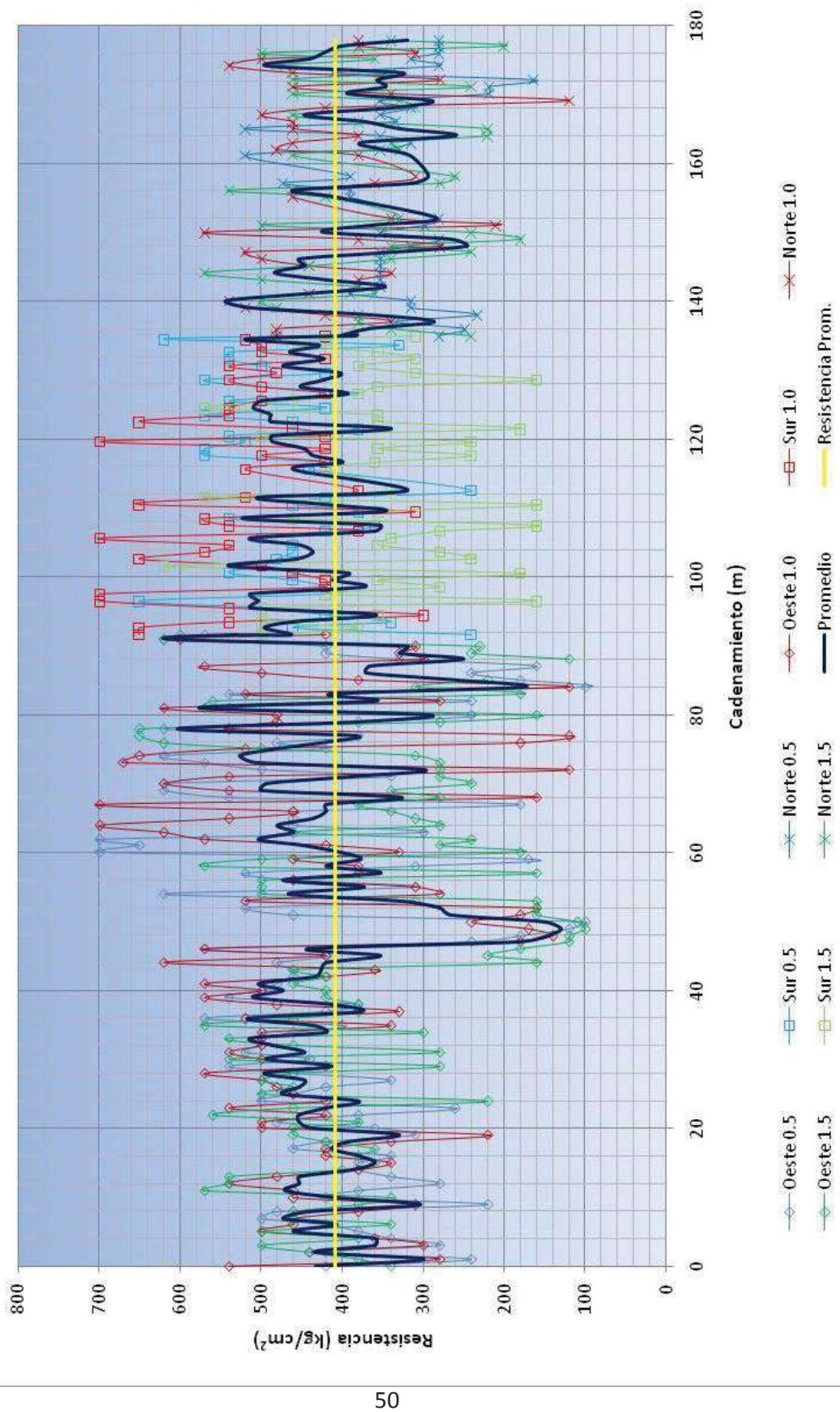
**Resistencia perimetral Catedral, alturas (0.5, 1.0, 1.5 y promedio)**

Cadenamiento (m)	Fachada Oeste de San Nicolás		
	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

Cadenamiento (m)	Fachada Oeste de San Nicolás		
	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

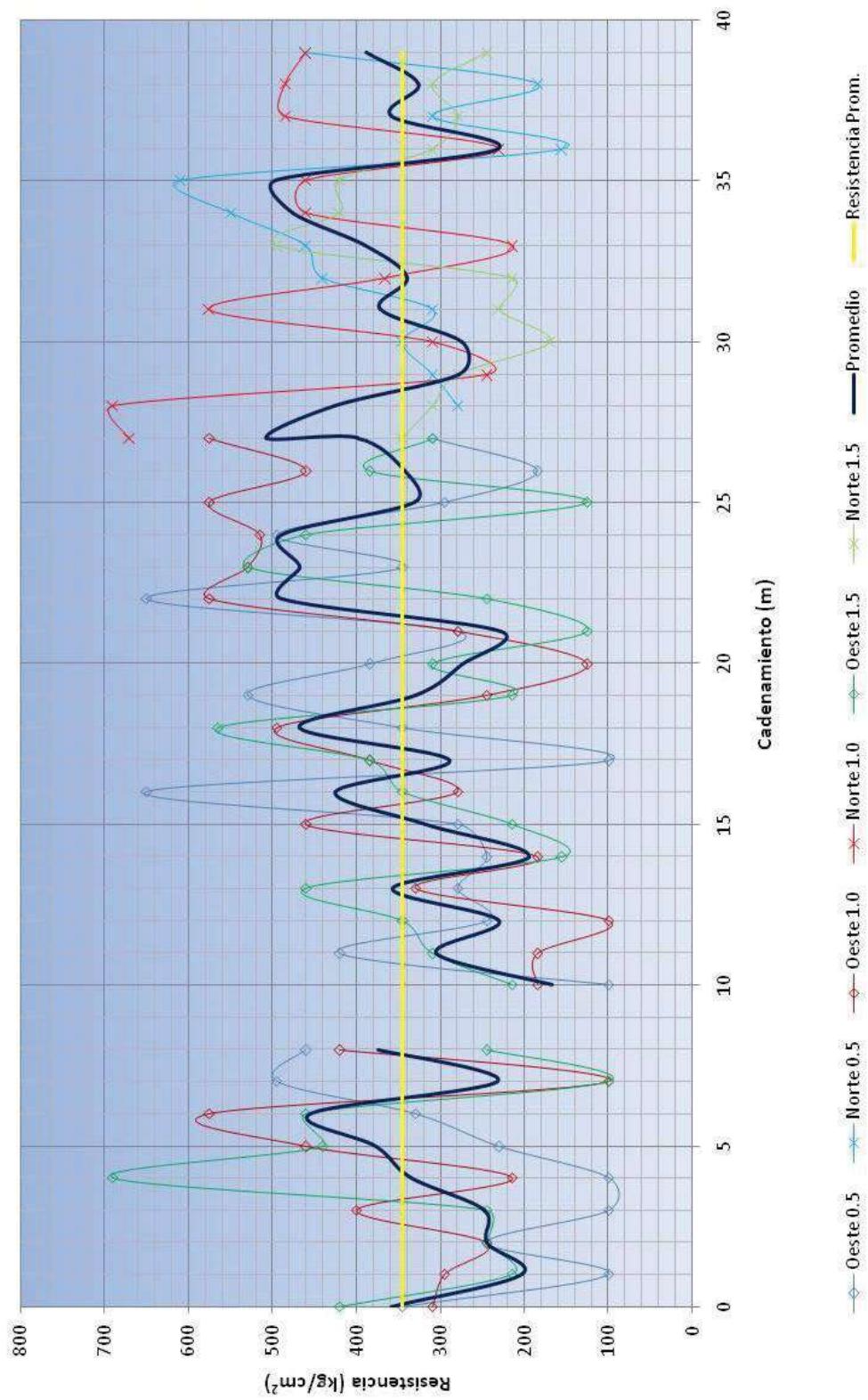
Fachada Sur de San Nicolás			
Cadenamiento (m)	Resistencia ( kg / cm <sup>2</sup> ) a las alturas de:		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
0	240	650	500
1	460	650	380
2	340	540	500
3	420	300	355
4	500	540	500
5	650	700	160
6	420	700	420
7	420	420	280
8	460	420	355
9	540	460	180
10	500	500	620
11	480	650	240
12	460	570	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

Cadenamiento (m)	Fachada Norte de San Nicolás		
	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

**Resistencia perimetral San Nicolás, alturas (0.5, 1.0, 1.5 y promedio)**

Cadenamiento (m)	Fachada Oeste de Capuchinas		
	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

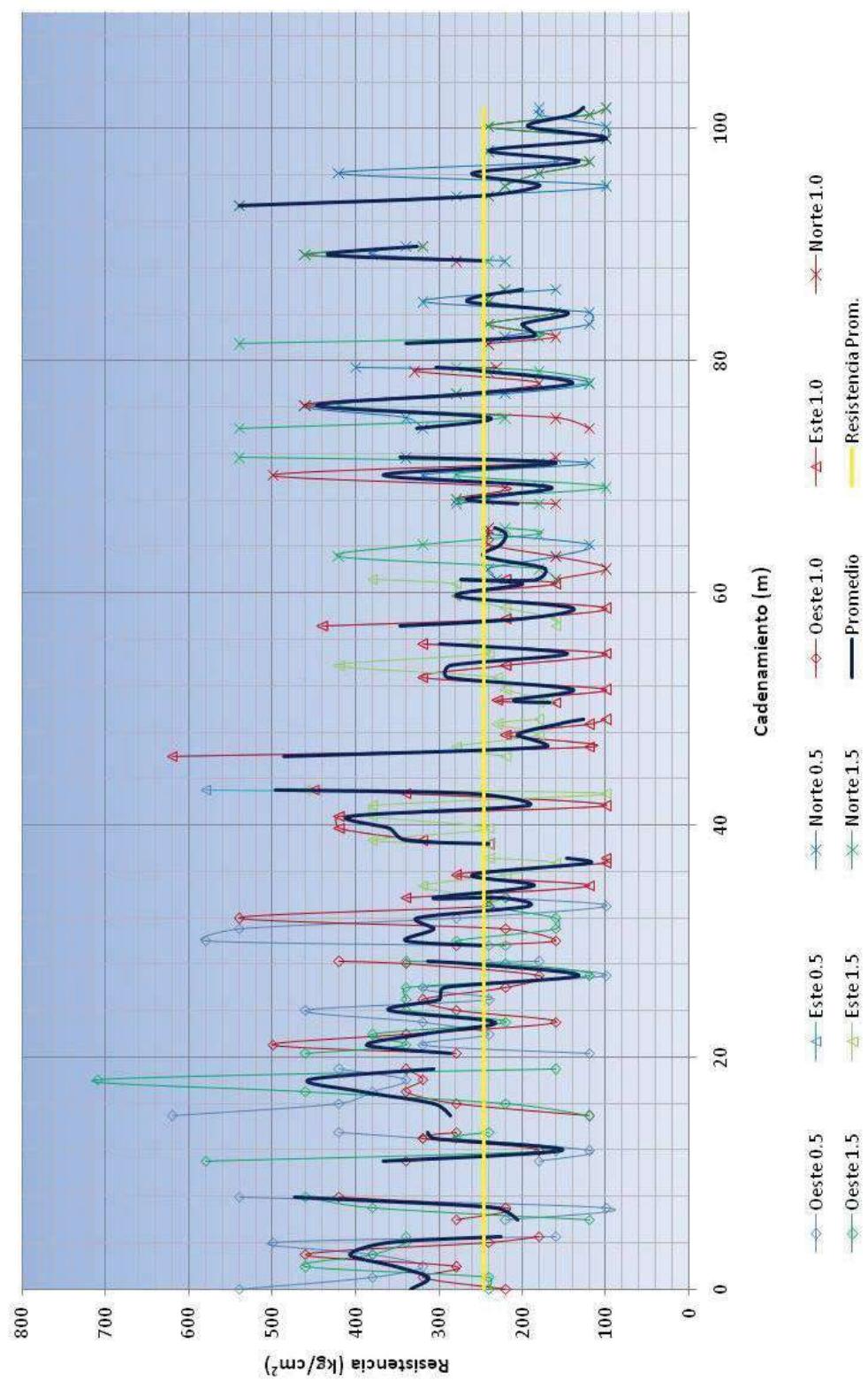
Cadenamiento (m)	Fachada Norte de Capuchinas		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
0		670	345
1	280	690	310
2	310	245	280
3	345	310	170
4	310	575	230
5	440	365	215
6	460	215	495
7	550	460	420
8	610	460	420
9	155	230	310
10	310	485	280
11	185	485	310
12	460	460	245

**Resistencia perimetral Capuchinas, alturas (0.5, 1.0, 1.5 y promedio)**

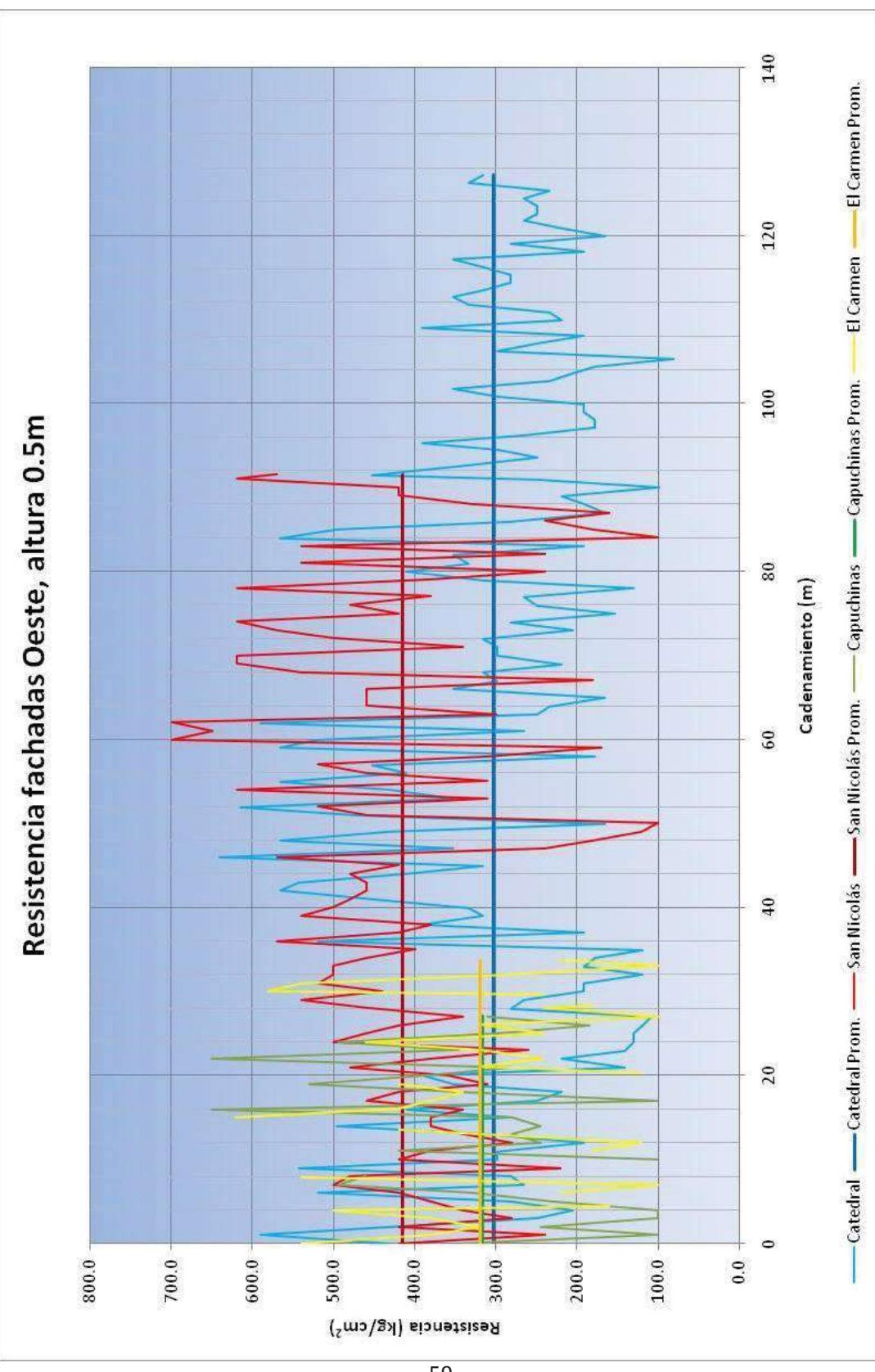
Fachada Oeste del Carmen			
Cadenamiento (m)	Resistencia ( kg / cm <sup>2</sup> ) a las alturas de:		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
0	540	220	240
1	380	320	240
2	320	280	460
3	380	460	380
4	500	240	340
4.5	160	180	340
5			
6	220	280	120
7	100	220	380
7.9	540	420	460
8			
9			
10			
11	180	340	580
12	120	180	160
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

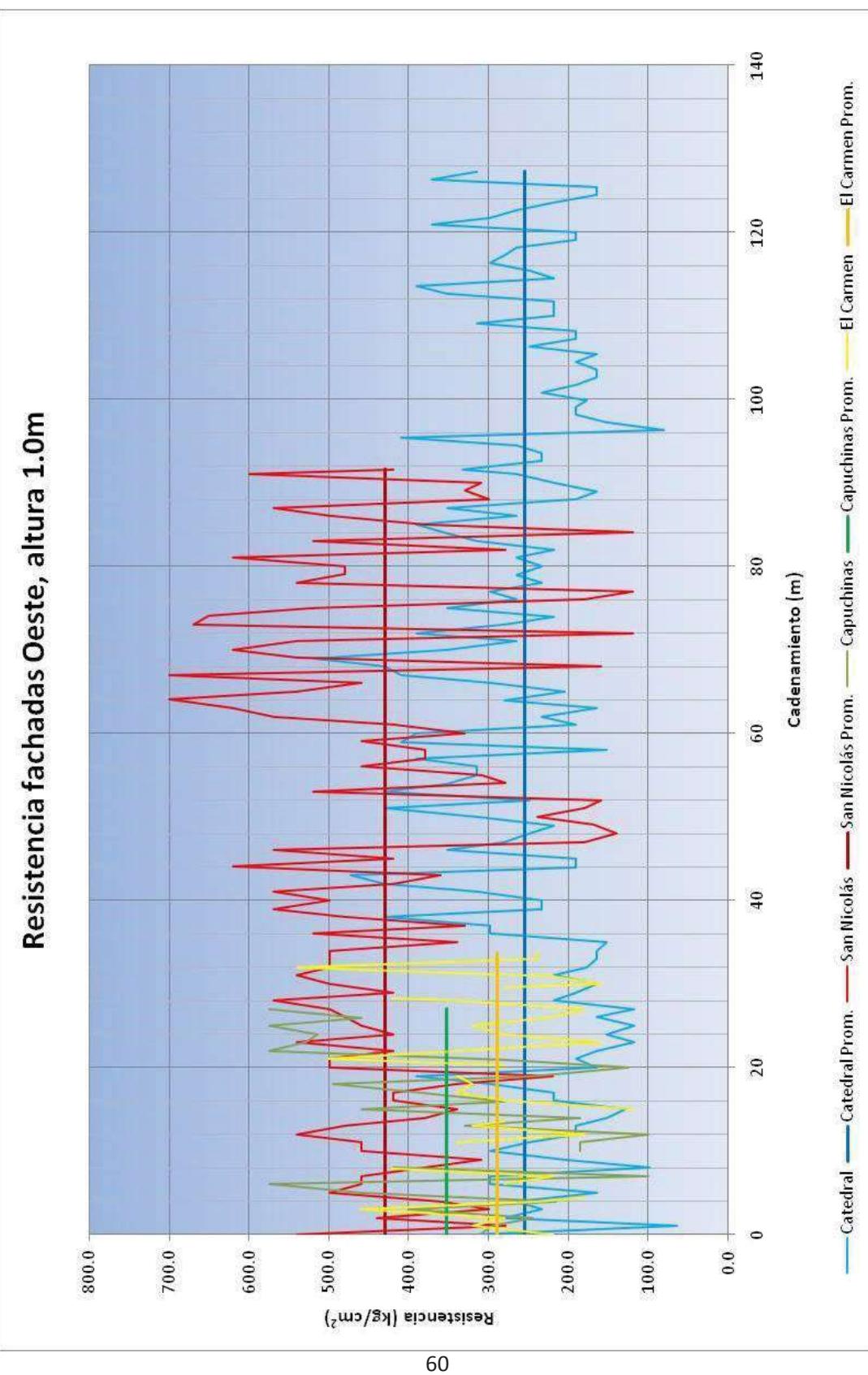
Cadenamiento (m)	Fachada Este del Carmen		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
0	340	340	240
1	120	120	320
2	280	280	220
3	100	100	160
3.4	100	100	240
4			
4.7	240	240	240
5	320	320	380
6	420	420	240
7	420	420	380
8	100	100	380
9	340	340	100
9.3	580	450	460
10			
11			
12			
12.2	620	620	220
13	120	120	280
14	220	220	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

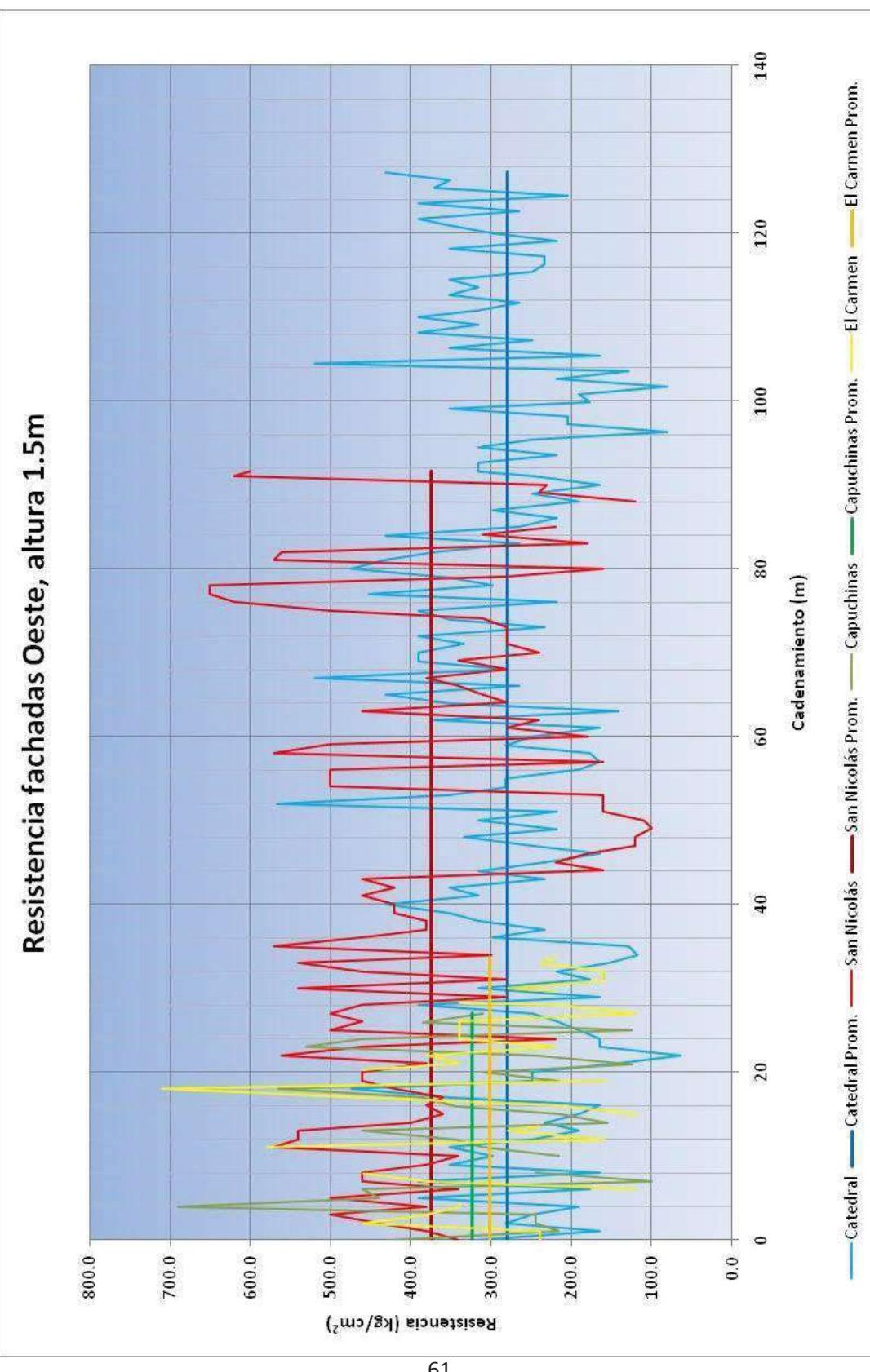
Fachada Norte del Carmen			
Cadenamiento (m)	Resistencia ( kg / cm <sup>2</sup> ) a las alturas de:		
	0.5 m	1.0 m	1.5 m
0	230	160	160
1	240	100	180
2	160	160	420
3	120	240	320
4	240	240	180
4.5	240	240	220
5			
6			
6.5	280	160	180
7	240	280	280
8	180	220	100
9	320	500	280
10	120	180	180
10.6	340	160	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

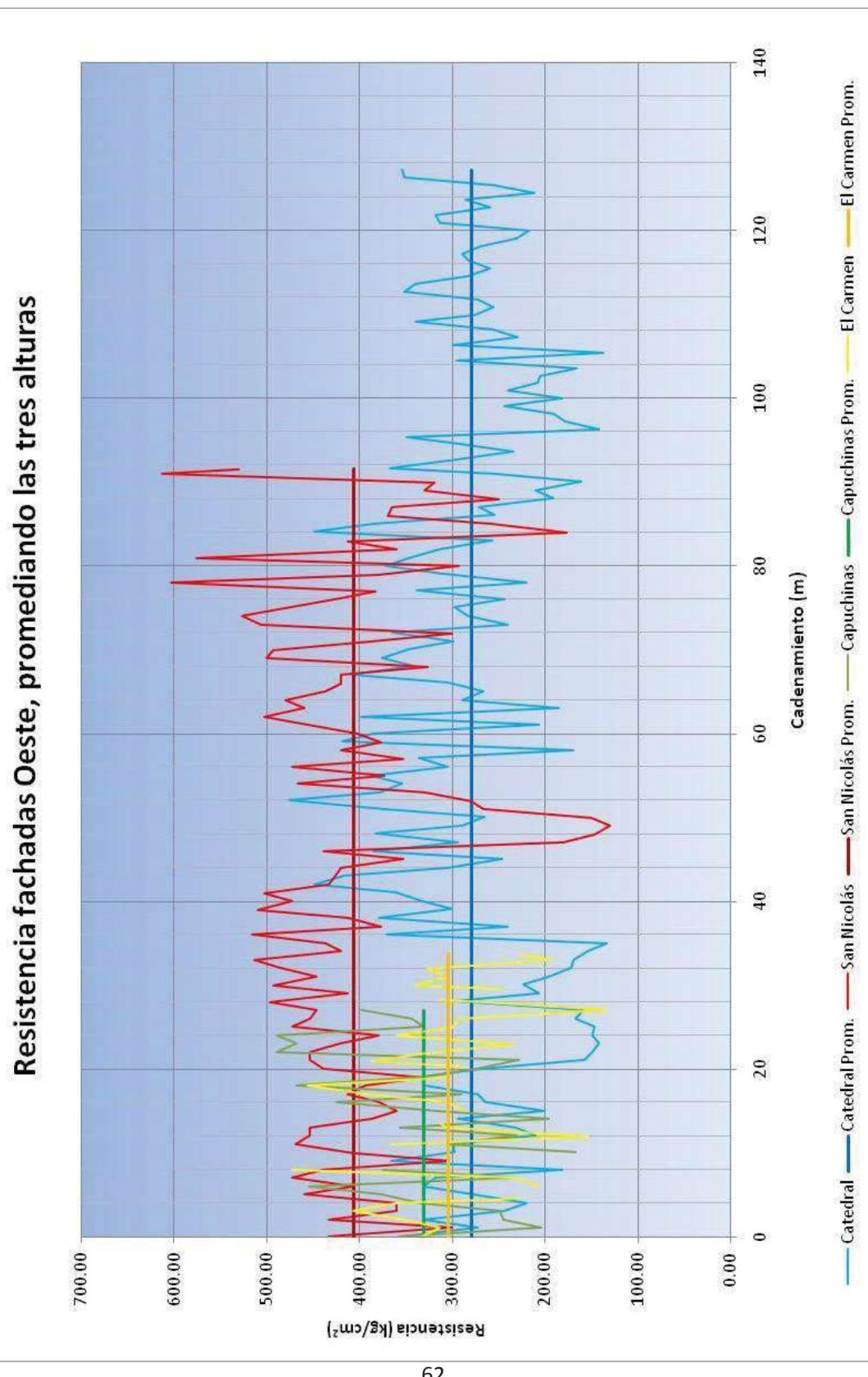
**Resistencia perimetral El Carmen, alturas (0.5, 1.0, 1.5 y promedio)**

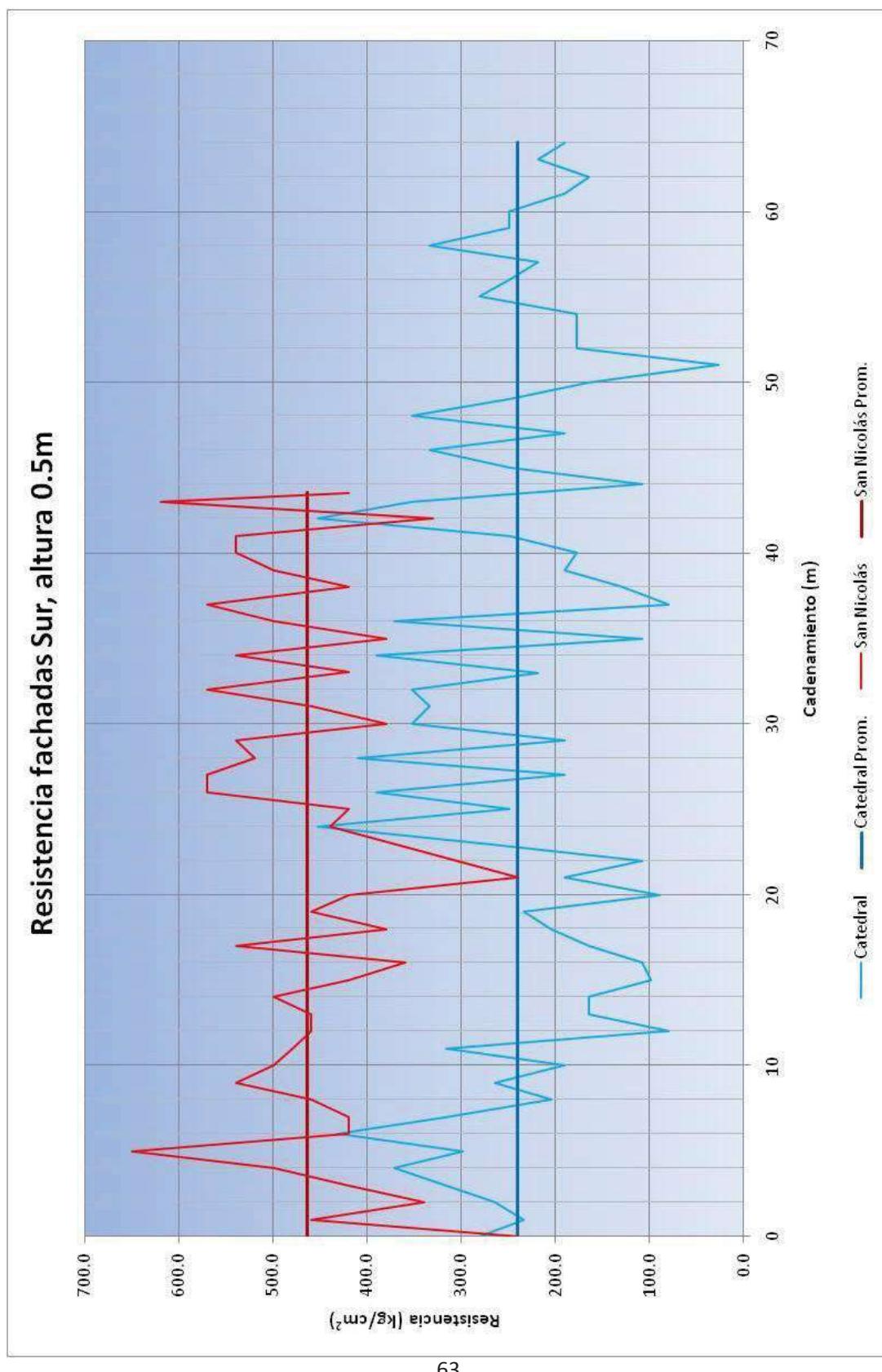
#### 4.2 Gráficas comparativas de resistencia por fachada y por altura

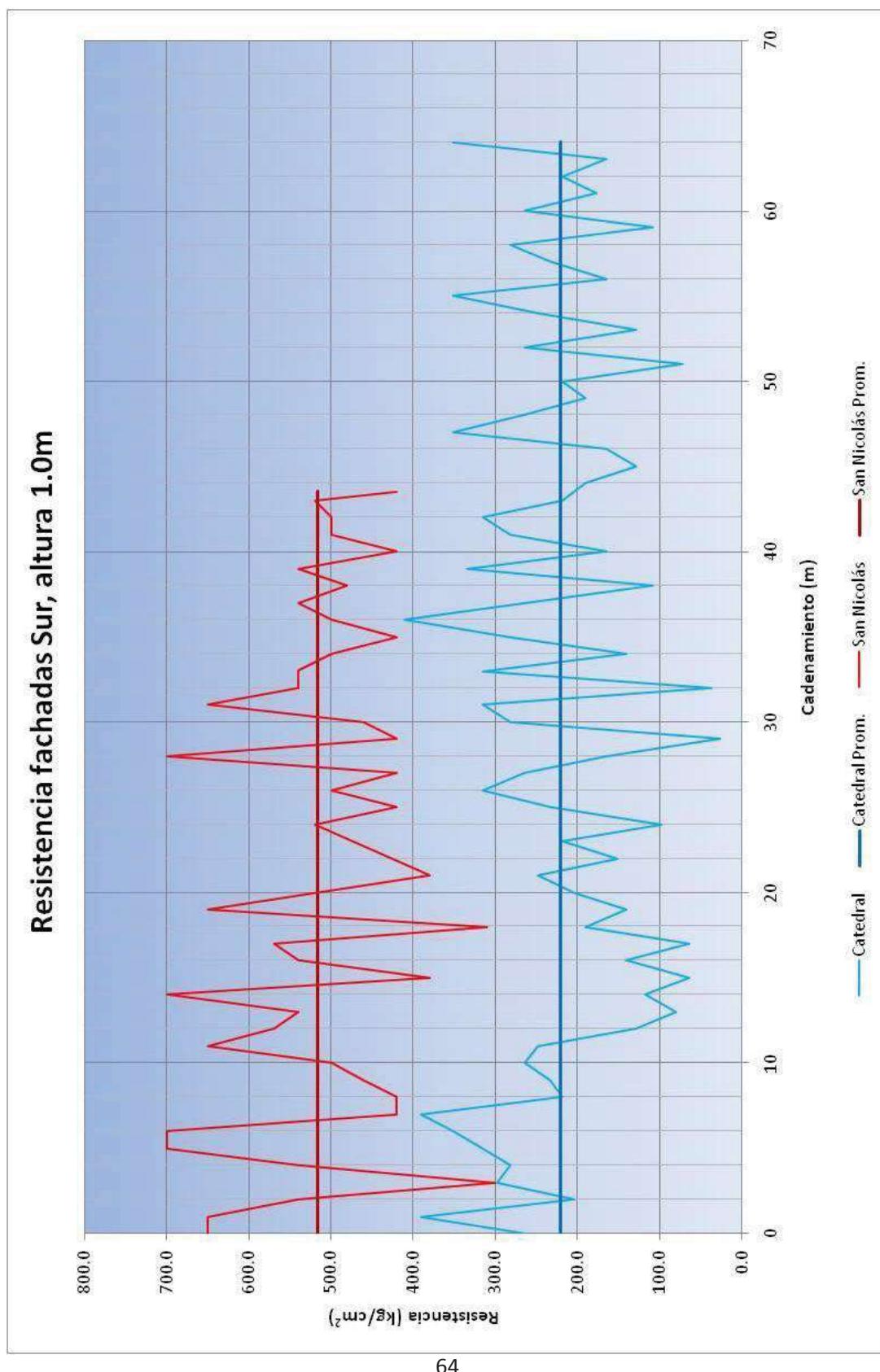


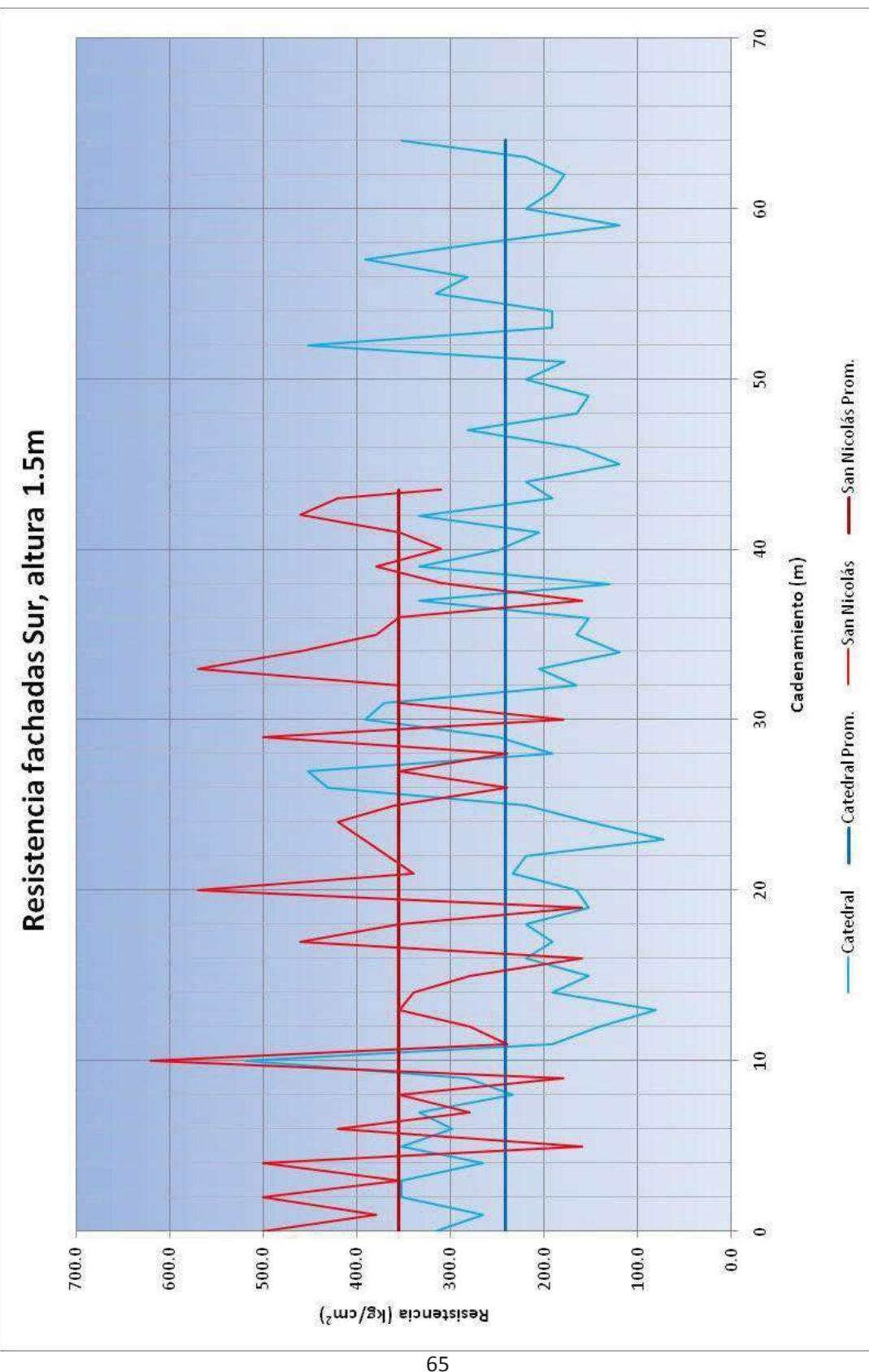


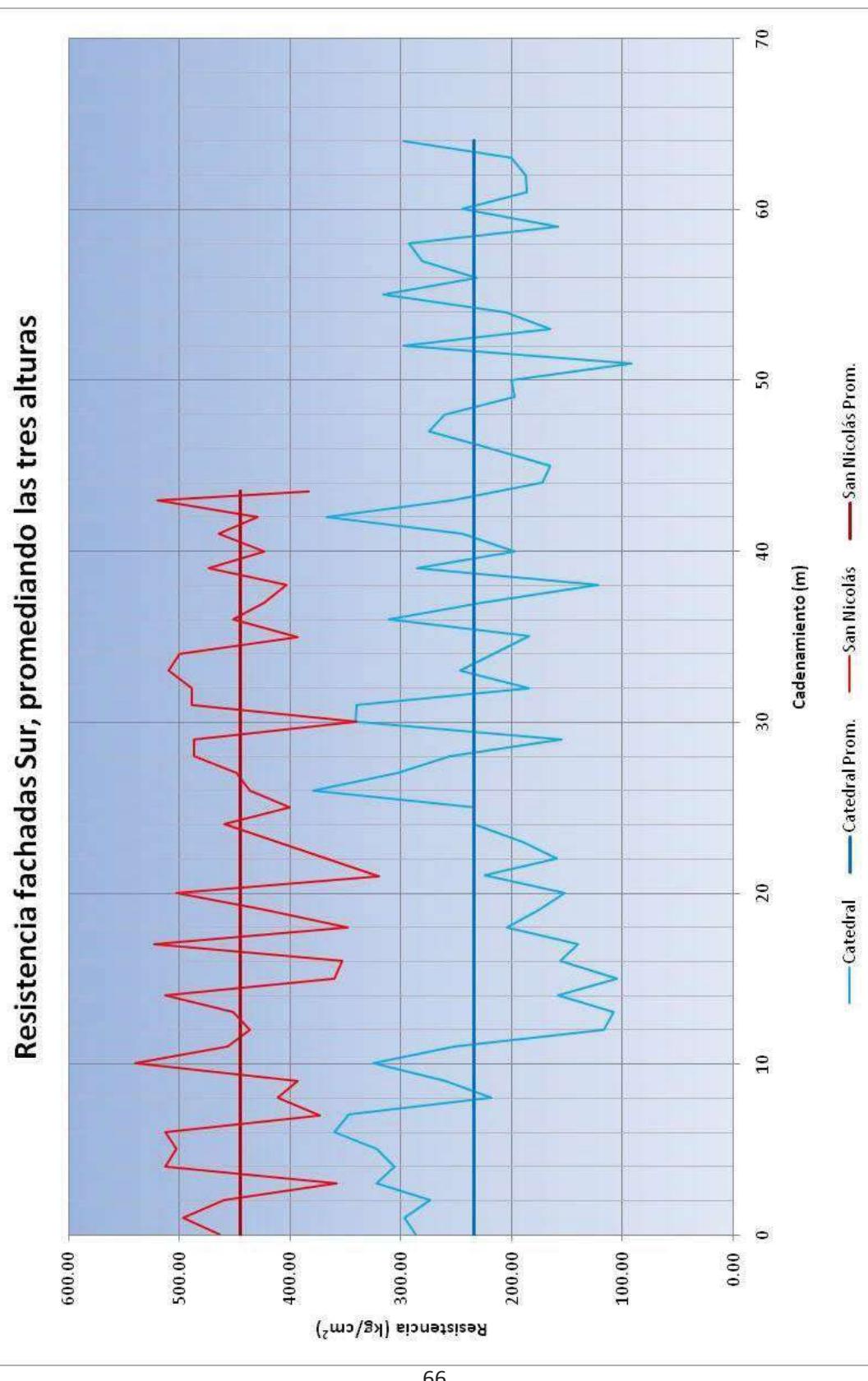


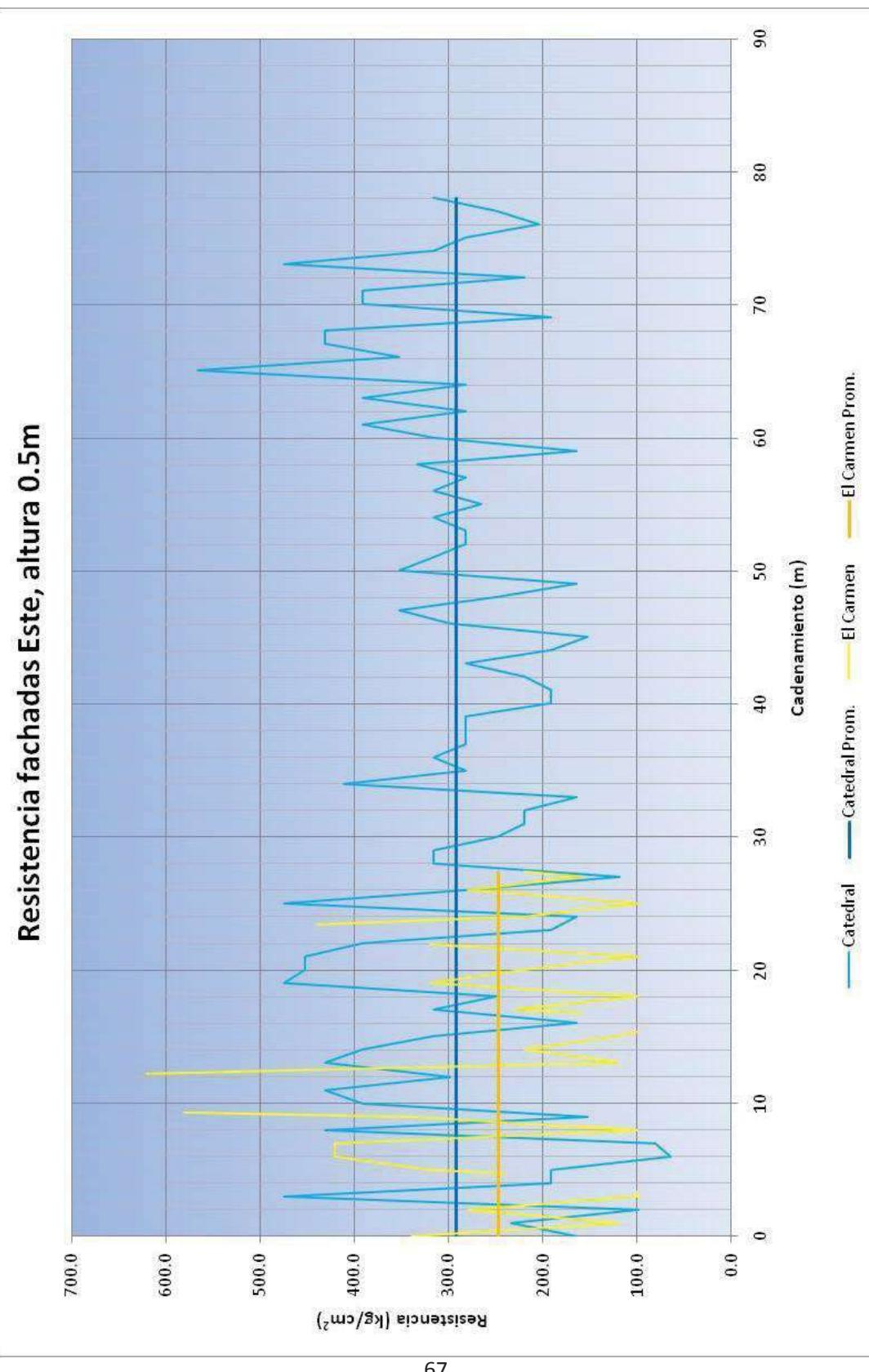


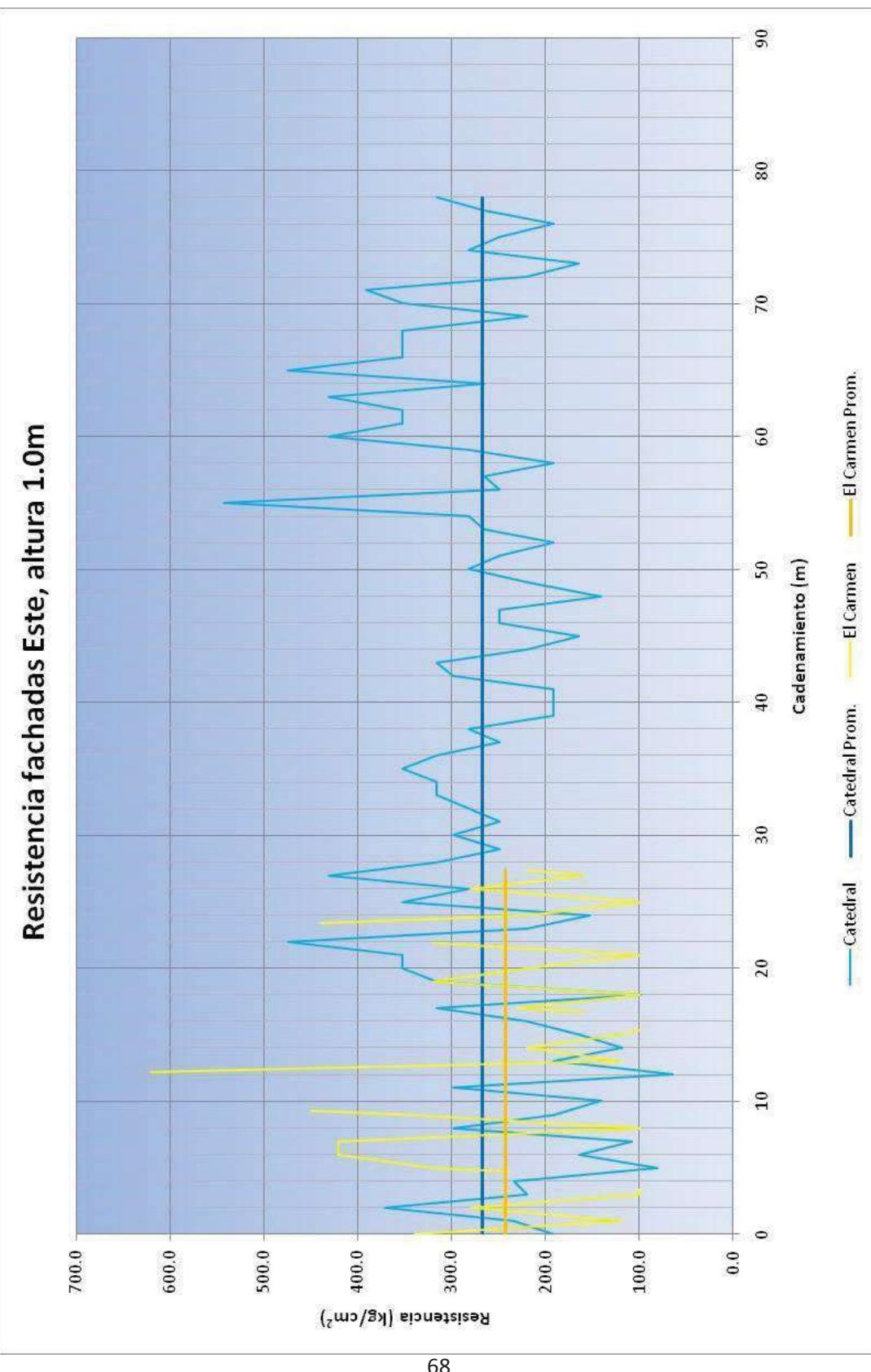


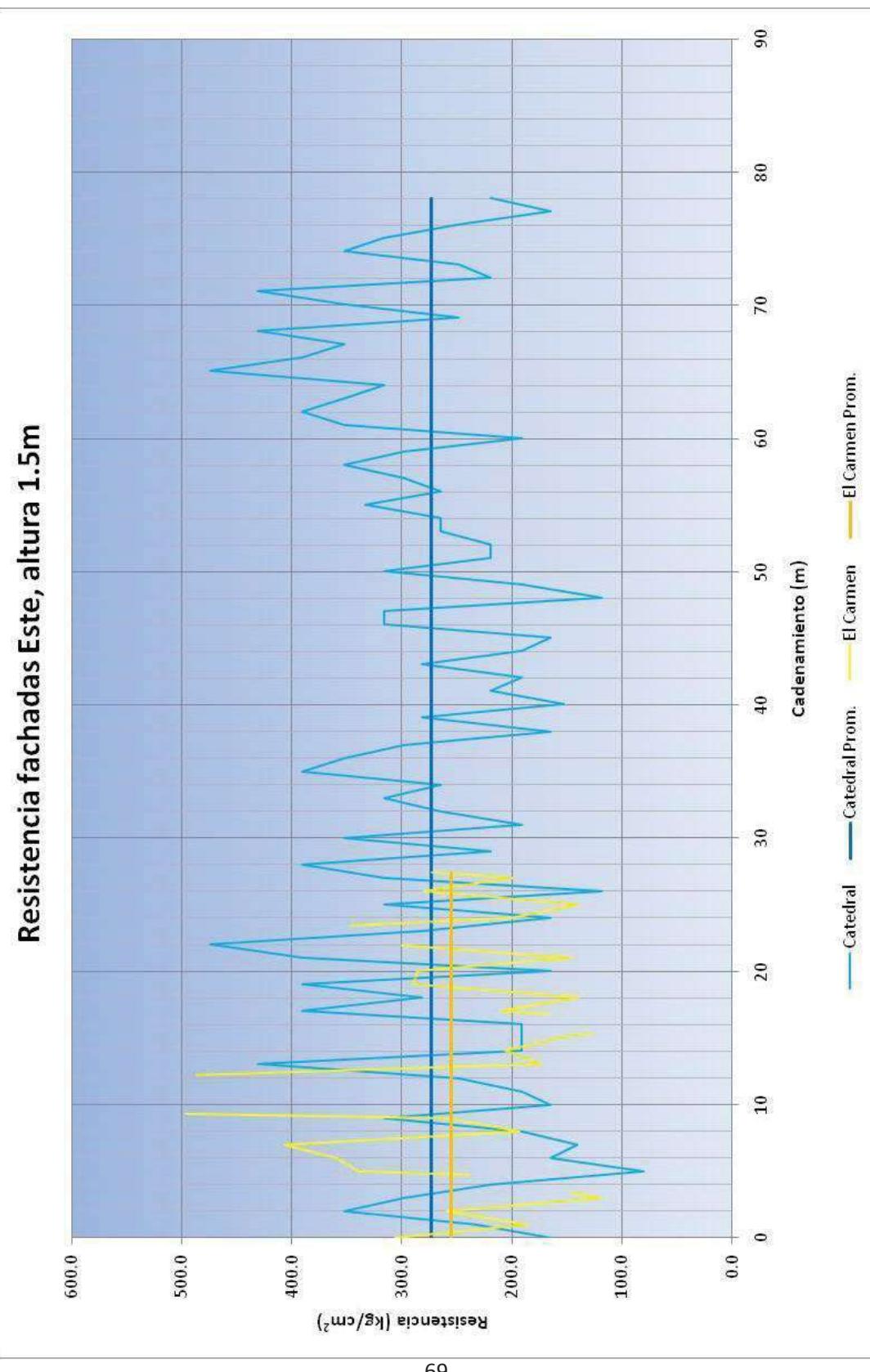


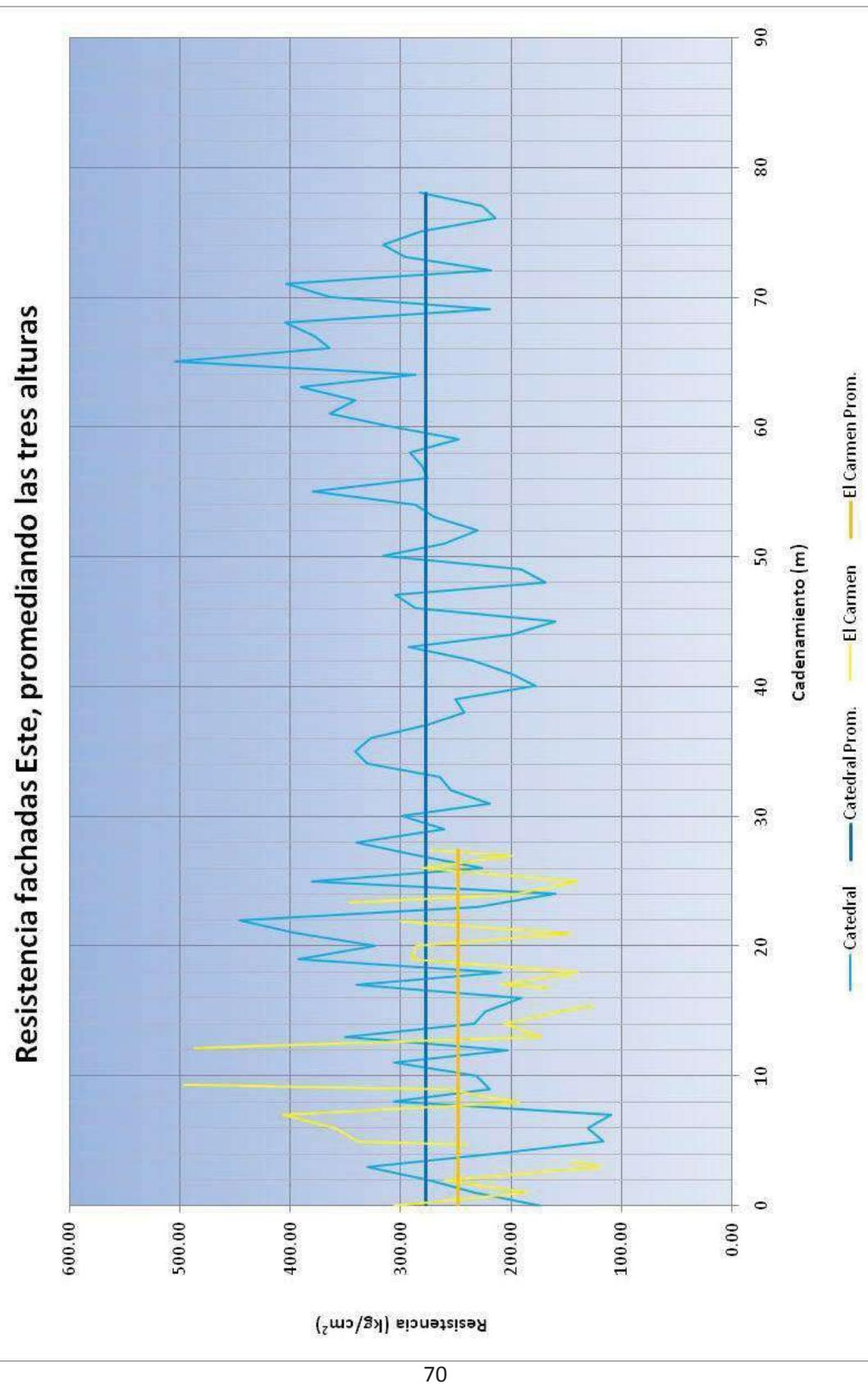


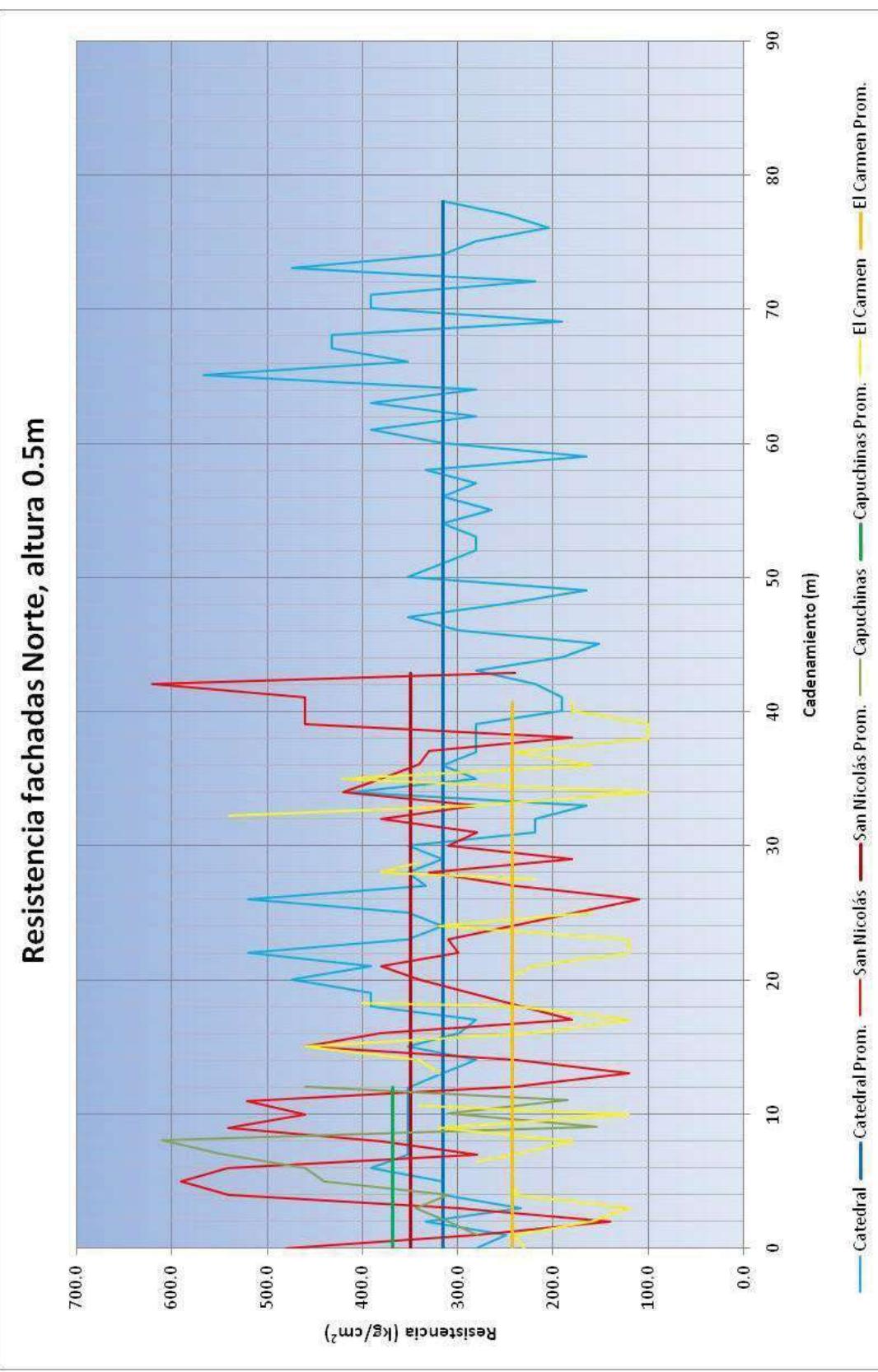


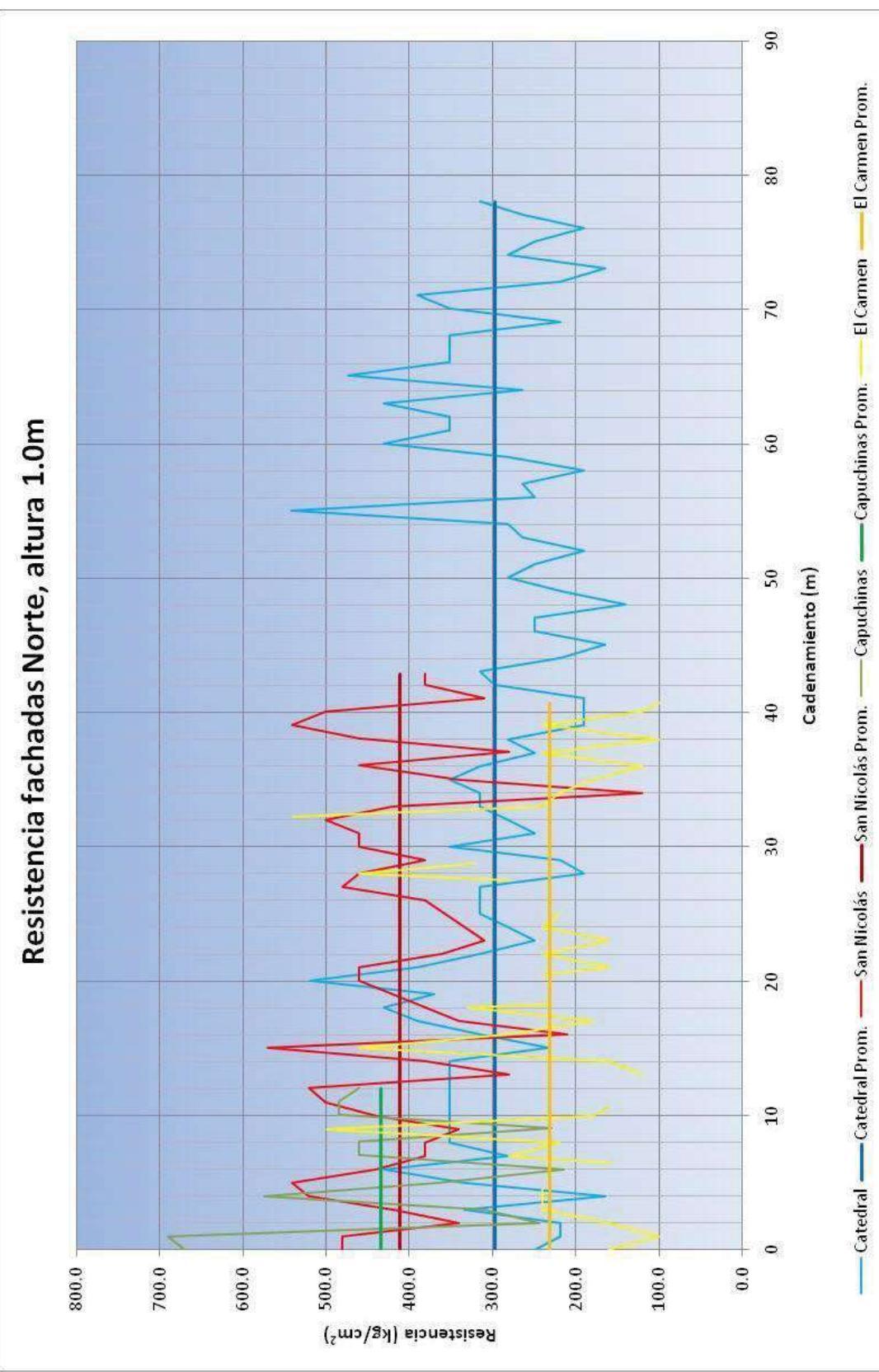


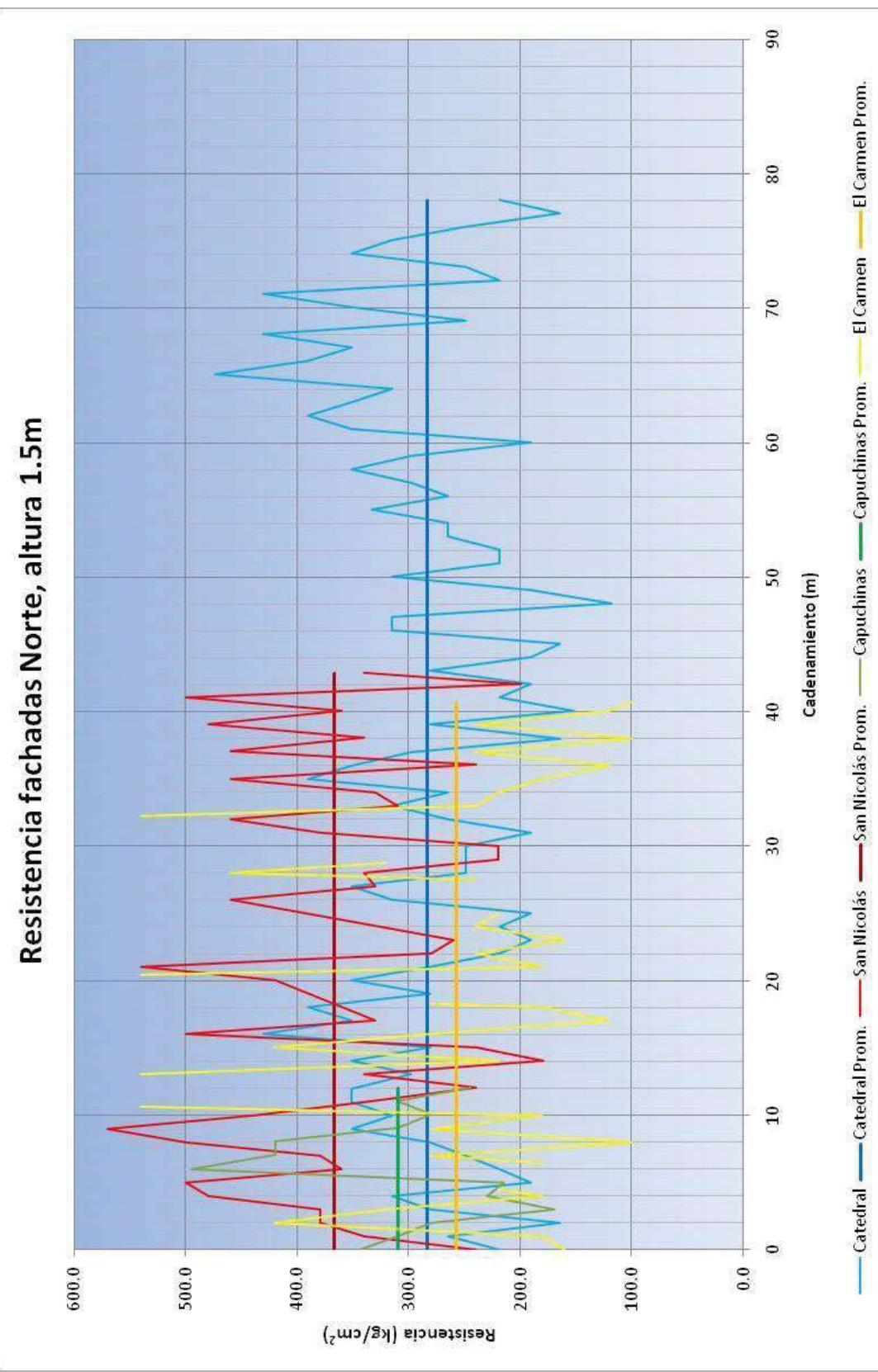


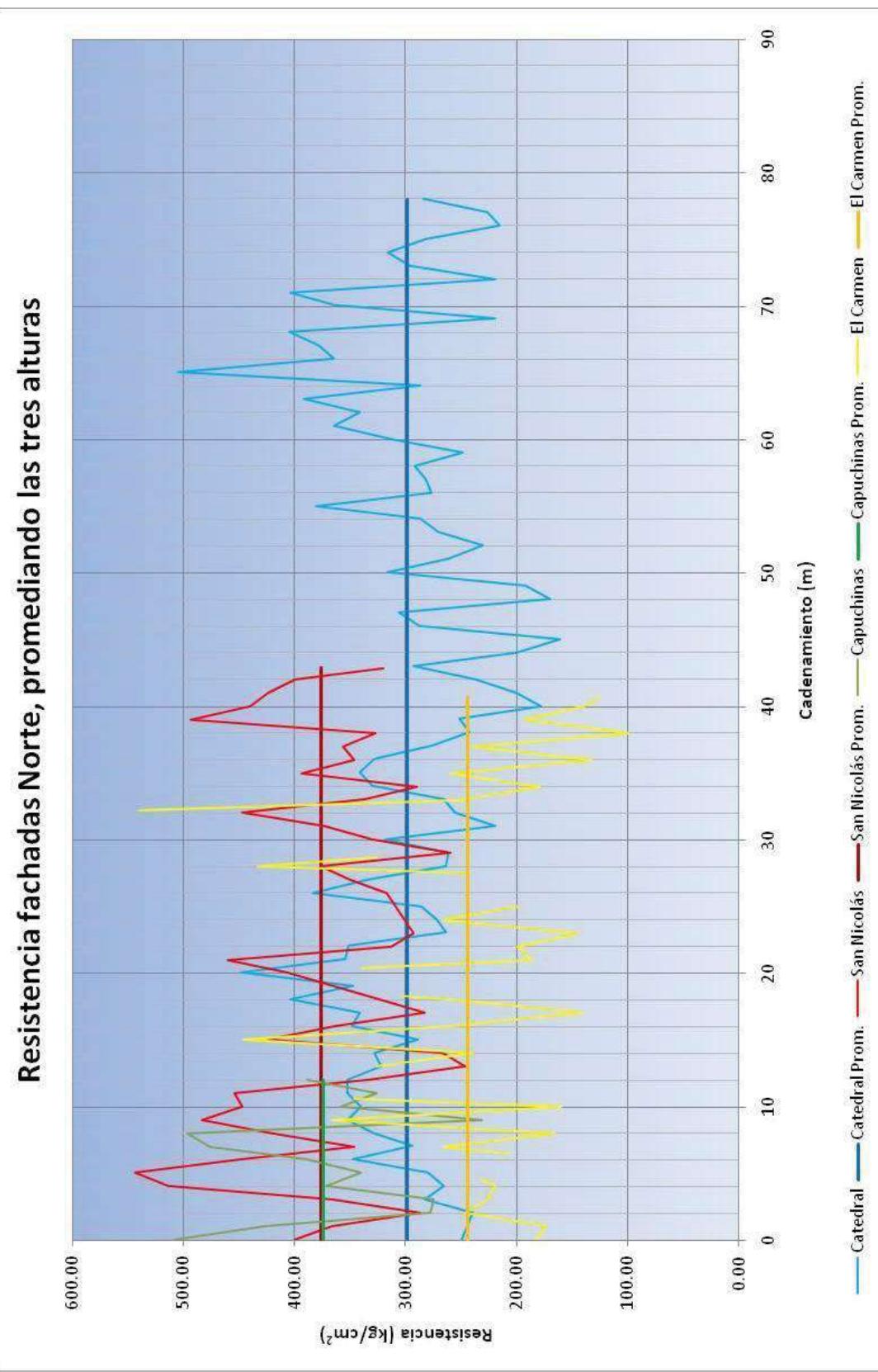




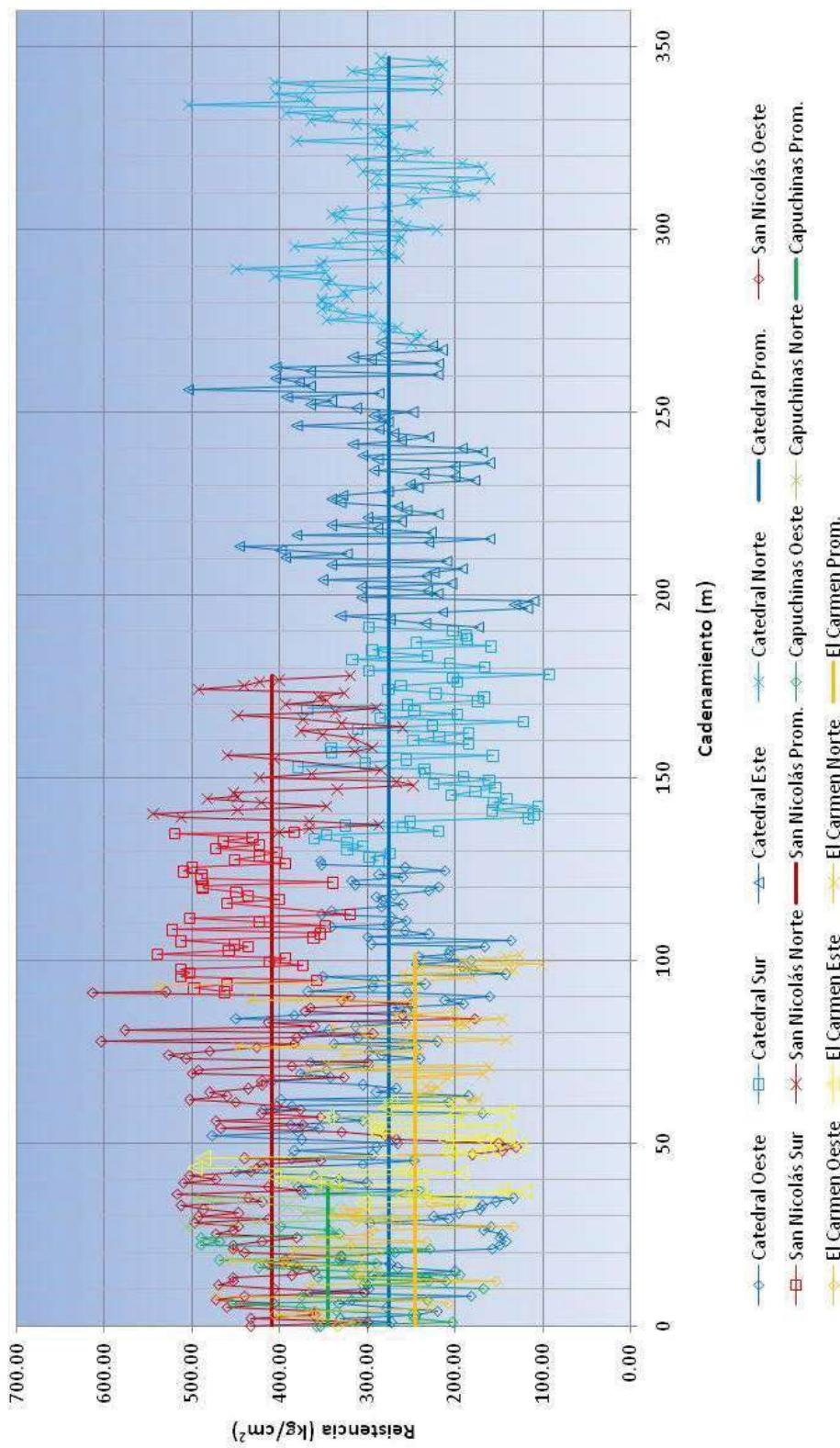








**Comportamiento de la resistencia perimetral de los cuatro edificios, promediando las tres alturas.**



### 4.3 Resumen

Resistencias promedio para cada fachada ( kg / cm <sup>2</sup> )				
<b>Catedral</b>				
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 / cm<sup>2</sup> )  
**274.8**

Resistencias promedio para cada fachada ( kg / cm <sup>2</sup> )				
<b>San Nicolás</b>				
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	N O A P L I C A			
Norte	350.0	411.5	366.8	376.1

Resistencia perimetral general ( kg / cm<sup>2</sup> )  
**408.9**

Resistencias promedio para cada fachada ( kg / cm <sup>2</sup> )				
<b>Capuchinas</b>				
Fachada	0.5 m	1.0 m	1.5 m	Prom. (3 alturas)
Oeste	316.5	352.0	324.4	331.0
Sur	N O A P L I C A			
Este	N O A P L I C A			
Norte	367.9	434.6	310.0	374.4

Resistencia perimetral general ( kg / cm<sup>2</sup> )  
**345.1**

Resistencias promedio para cada fachada ( kg / cm <sup>2</sup> )				
<b>El Carmen</b>				
Fachada	0.5 m	1.0 m	1.5 m	Prom. (3 alturas)
Oeste	319.4	290.0	302.1	303.8
Sur	N O A P L I C A			
Este	247.0	242.7	255.0	248.2
Norte	242.9	232.1	257.4	244.1

Resistencia perimetral general ( kg / cm<sup>2</sup> )  
**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  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ; con una resistencia promedio máxima en su fachada Sur (444.8  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), con su promedio más alto a la altura de 1.0m (516.3  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); así como una resistencia promedio mínima en su fachada Norte (376  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), en especial a la altura de 0.5m (350  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Rango de resistencias promedio por fachada y a diferentes alturas (350 – 516.3  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

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  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ; con una mayor resistencia promedio en su fachada Norte (374.4  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), en especial a la altura de 1.0m (434.6  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); una resistencia promedio más baja en su fachada Oeste (331  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ); sin embargo, la resistencia promedio más baja se encontró en la fachada Norte a la altura de 1.5m (310  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Rango de resistencias promedio por fachada y a diferentes alturas (310 – 434.6  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

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

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  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ; presentando una mayor resistencia promedio en su fachada Oeste (303.8  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), en especial a la altura

de 0.5m (319.4 kg/cm<sup>2</sup>); y una menor resistencia promedio en su fachada Norte (244.1 kg/cm<sup>2</sup>), y con un valor promedio más bajo a la altura de 1.0m (232.1 kg/cm<sup>2</sup>). Rango de resistencias promedio por fachada y a diferentes alturas (232.1 – 319.4 kg/cm<sup>2</sup>).

En general, las resistencias obtenidas ( $> 245$  kg/cm<sup>2</sup>) 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<sup>2</sup> 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 Ignimbrita. 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 conciencia 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.