



# UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

---

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EFFECTO METEÓRICO SOBRE LA RESISTENCIA  
MECÁNICA DE BLOQUES DE IGNIMBRITAS  
EN LOS ELEMENTOS VERTICALES DEL  
MUSEO REGIONAL MICHUACANO DE  
MORELIA, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

NORMA ALICIA BARRAGÁN VALENCIA

ASESOR:

DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

MORELIA, MICH, JUNIO DE 2010

## I N D I C E

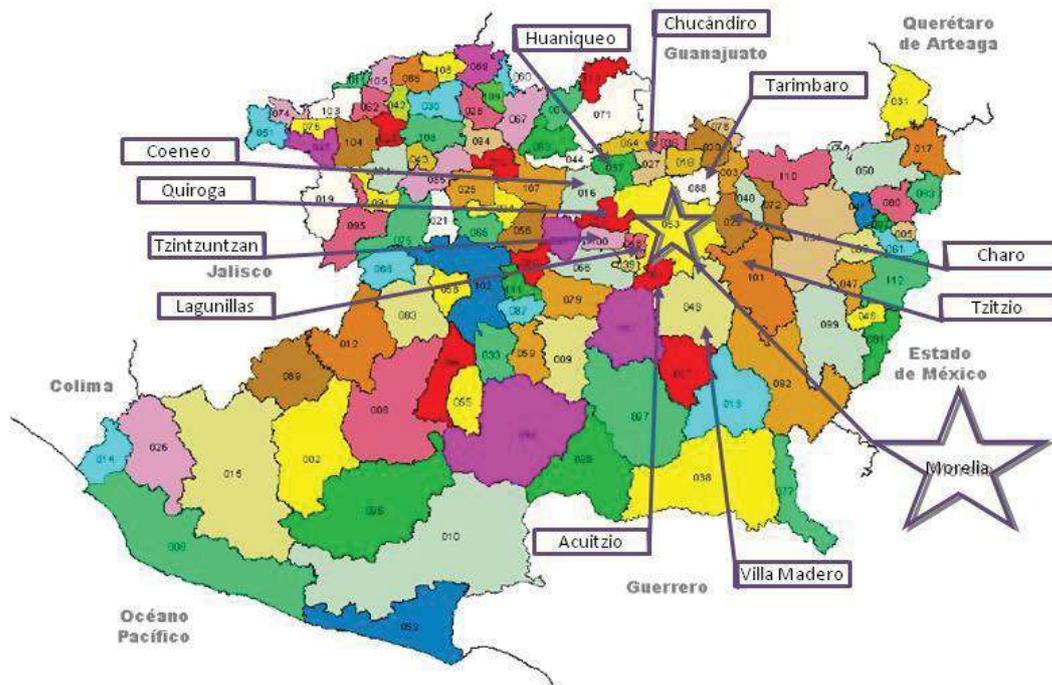
| CONTENIDO  | Pág. |
|--|------|
| 1. INTRODUCCIÓN -----  | 1    |
| 2. OBJETO DE ESTUDIO: MUSEO REGIONAL MICHOACANO<br>"DR. NICOLÁS LEÓN CALDERÓN" -----               | 6    |
| 2.1 Ubicación -----  | 6    |
| 2.2 Datos históricos -----   | 7    |
| 2.3 Descripción arquitectónica -----   | 8    |
| 2.4 Actividades de museo (uso actual) -----  | 13   |
| 2.5 Análisis ambiental -----   | 18   |
| 2.6 Análisis constructivo estructural -----  | 20   |
| 2.7 Materiales y sistemas constructivos -----  | 21   |
| 3. VULCANISMO -----  | 24   |
| 3.1 Definición de volcán -----   | 24   |
| 3.1.1 Partes de un volcán -----  | 24   |
| 3.2 Tipos de volcanes -----  | 25   |
| 3.3 Tipos de erupciones -----  | 27   |
| 3.4 Vulcanismo en México -----   | 30   |
| 3.5 Los volcanes y sus beneficios -----  | 33   |
| 3.5.1 Productos de la actividad volcánica -----  | 33   |
| 4. CICLO DE LAS ROCAS -----  | 35   |
| 4.1 Clasificación de las rocas -----   | 36   |
| 5. ROCAS ÍGNEAS -----  | 39   |
| 5.1 Origen y formación de las rocas ígneas -----   | 39   |
| 5.1.1 Composición y clasificación química y mineralógica<br>de las rocas ígneas o magmáticas ----- | 39   |
| 5.2 Las texturas ígneas -----  | 41   |
| 5.3 Clasificación de rocas ígneas -----  | 44   |
| 5.3.1 Rocas intrusivas o plutónicas -----  | 44   |
| 5.3.2 Rocas extrusivas o volcánicas -----  | 46   |
| 5.4 Características y usos de algunas rocas -----  | 47   |
| 5.5 Rocas ignimbritas -----  | 49   |
| 5.5.1 Ignimbritas de Morelia -----   | 49   |

|   |    |
|---|----|
| 6. ATAQUE -----   | 54 |
| 6.1 Tipos de meteorización -----  | 54 |
| 6.1.1 Diferenciación y complementariedad entre la<br>meteorización física, química y biológica -----        | 57 |
| 6.2 Procesos de meteorización en los materiales pétreos -----   | 57 |
| 6.2.1 Procesos de alterabilidad más significativos en<br>monumentos históricos -----                        | 58 |
| 6.3 Formas de deterioro -----   | 58 |
| 6.4 Alterabilidad detectada en el edificio en estudio<br>(Museo Regional Michoacano, Morelia, México) ----- | 60 |
| 7. EQUIPO (ESCLERÓMETRO O MARTILLO SCHMIDT) -----   | 63 |
| 8. PRUEBAS Y RESULTADOS -----   | 68 |
| 9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES -----   | 81 |
| 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----  | 83 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Morelia, Capital del Estado de Michoacán, se ubica en las coordenadas 19' 42' de latitud, 101' 11' de longitud y 1 920 m de altitud, asentada sobre la colina de suaves pendientes conocida como Guayangareo, que significa loma chata y alargada. [1]

Limita al Norte con Tarímbaro, Chucándiro y Huaniqueo; al Este con Charo y Tzitzio; al Sur con Villa Madero y Acuitzio; y al Oeste con Lagunillas, Coeneo, Tzintzuntzan y Quiroga



<http://www.kikediaz.com/pi/pimich.html>

La Ciudad de Morelia muestra una belleza singular y característica otorgada en definitiva por el color rosado de sus construcciones. Su color hace resaltar el estilo barroco y sucesivamente el barroquismo mexicano que prevaleció durante su construcción y su desarrollo.

La Piedra de Cantero, entonces no representa solamente el principal material de construcción de la antigua Ciudad de Valladolid, hoy Morelia, representa hoy por hoy una tradición y un símbolo que le confiere su principal característica. Simple y sencillamente le otorga el título de La Ciudad Rosada de la Nueva España. [2]

El centro Histórico de la ciudad de Morelia, Michoacán se destaca por tener un gran número de edificios de valor arquitectónico e histórico, todos ellos tienen como característica arquitectónica que presentan bloques de cantera expuestos. Hace más de 50 años éstos edificios contaban con un aplanado y pintura para proteger la cantera, pero para realzar la belleza de la ciudad se retiró este recubrimiento, quedando así los bloques de cantera expuestos a efectos de intemperismo.

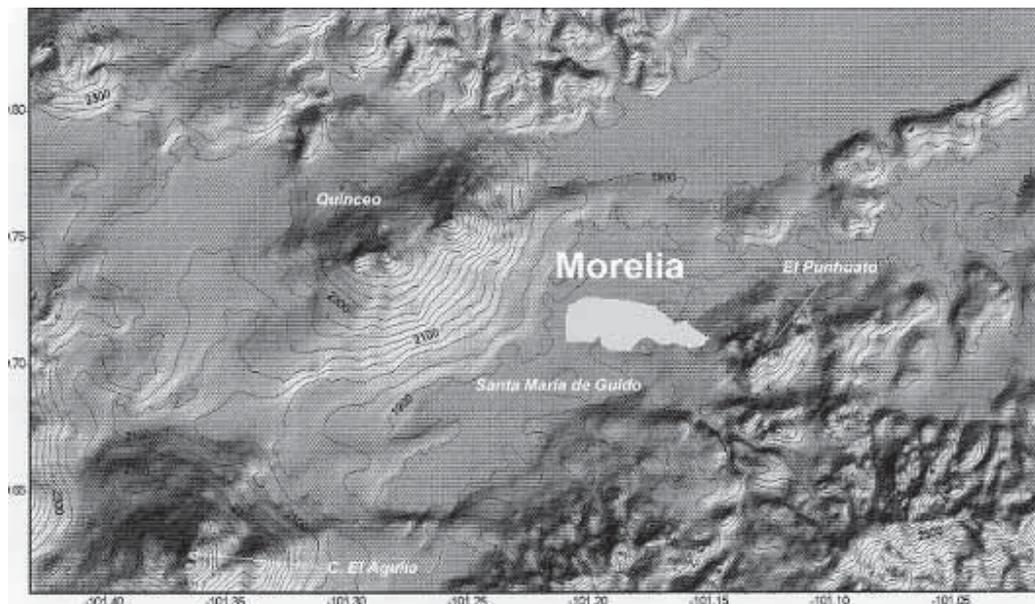
En el año de 1991 la UNESCO otorgó el nombramiento al Centro Histórico de Morelia como Patrimonio Cultural de la humanidad. A partir de entonces Morelia ha recobrado su esplendor, actualmente el Centro Histórico se encuentra restaurado, limpio y a muchos edificios se les ha colocado iluminación escénica para el mejoramiento visual y atractivo turístico, destacando entre ellos la iluminación de la Catedral

El presente trabajo tiene como finalidad determinar si existe algún tipo de deterioro en los elementos verticales del Museo Regional Michoacano "Dr. Nicolás León Calderón", considerado dentro del primer cuadro del Centro Histórico.

Para ésto se hará uso de pruebas no destructivas para determinar la resistencia del inmueble en estudio. Se utilizará el Esclerómetro o Martillo Schmidt.

Se considera necesario abundar sobre el origen de las rocas para así comprender el comportamiento de esta construcción.

Podemos afirmar que la región de Morelia se encuentra completamente delimitada por secuencias volcánicas de origen diverso. Entre las principales geoformas que limitan el Valle de Morelia destacan al Norponiente, las formas majestuosas de dos grandes edificios volcánicos que han sido nombrado como El Quinceo y Las Tetillas, los cuales son clasificados como volcanes Escudo, debido a la gran extensión que ocupa su diámetro basal. Al Oriente sobresale el Cerro del Punhuato; sus edificaciones pueden ser clasificadas como domos volcánicos, lo cual significa que sus lavas fueron muy viscosas y explosivas. En su topografía, ya muy erosionada, se distingue un cráter en forma de herradura de caballo abierta mirando hacia el occidente de la ciudad. Finalmente al sur, podemos apreciar la región de Santa María, la cual está constituida por una meseta ignimbrítica donde culmina la Sierra de Mil Cumbres. [2]



[www.umich.mx/.../contacto/may99/cante1.jpg](http://www.umich.mx/.../contacto/may99/cante1.jpg)

El edificio sede del Museo Regional Michoacano "Dr. Nicolás León Calderón", fue casa habitación, con una arquitectura típica del barroco moreliano del siglo XVIII. Por suntuosa, fue elegida para hospedar al emperador Maximiliano de Austria, durante su gira por tierras michoacanas.

El Museo Michoacano es uno de los más antiguos del país, y el primero en el estado, fundado en 1886, por decreto del General Mariano Jiménez, Gobernador de la entidad en esa época, a iniciativa del Primitivo y Nacional Colegio de San Nicolás de Hidalgo, en donde tuvo su primer sede el museo y siendo su primer director el eminente científico michoacano doctor Nicolás León Calderón. En 1959 al celebrarse el centenario del natalicio de su primer director, por decreto del Congreso del Estado, se le dio el nombre de Museo Regional Michoacano "Doctor Nicolás León Calderón". [3]

De su importancia como museo, el ilustre escritor y maestro Rafael Heliodoro Valle, opina: "Los viajeros que pasen por Morelia, deben detenerse a contemplar las joyas arqueológicas que (aquí) se custodian para que vean, desde un ángulo diferente, el México antiguo y para que conozcan uno de los museos mejor organizados de este país, conforme a la técnica museográfica más estricta. La atmósfera iluminada discretamente, mostrando cada objeto su personalidad neta va apareciendo obsidianas, idolitos, cerámica, las huellas más expresivas de la inteligencia y habilidad manual que en el Michoacán precortesiano fueron dejando sobre barros y materiales duros, los genios de las artes plásticas. El maestro Alfredo Zalce, artista michoacano de gran sensibilidad, ejecutó una Alegoría de la Historia de México, en el cubo de la escalera. [4]

## RESUMEN

Como ya se mencionó la ciudad de Morelia cuenta con innumerables edificios de valor histórico y arquitectónico en los cuales el principal material de construcción son bloques de ignimbritas o cantera, los cuales se encuentran expuestos por lo menos en la mayoría de las fachadas.

Entre los edificios con estas características se encuentra el Museo Regional Michoacano “Dr. Nicolás León Calderón”, que es el objeto de estudio del presente trabajo. Éste edificio se localiza integrado dentro del primer cuadro de la ciudad, desplantado en dos niveles, se inicio su construcción en el año de 1706 siendo solo un nivel y el 1775 se edificó el segundo nivel; durante en transcurso de su existencia ha tenido diversos usos, pero desde el año de 1916 y hasta la fecha se le ha dado el uso de Museo.

De manera general se puede decir que su construcción es a base de cantera, ya que los muros interiores son de mampostería de cantera irregular asentados con mortero de cal-arena, con aplanado de mortero cal-arena terminados con pintura vinílica; los muros exteriores son de sillares de cantera labrada asentados de igual forma con mortero de cal-arena; y los cerramientos de puertas y ventanas así como los apoyos aislados son también de cantera labrada.

La cantera o ignimbrita es una roca de origen volcánico, por ello y para comprender mejor sus propiedades es que se estudia el tema del vulcanismo de manera general y específicamente el vulcanismo en México y la fisiografía del Estado de Michoacán.

Como las rocas volcánicas pertenecen al grupo de las rocas ígneas es que se abunda en el tema de rocas ígneas y de manera general se comprende en ciclo de las rocas. Específicamente se estudian las ignimbritas de Morelia.

Debido a que el edificio en estudio cuenta con bloques de cantera sin recubrimiento en exteriores, estos quedan expuestos a efectos de meteorización, por ello se analizan cada uno de los efectos de los tipos de meteorización, así como los procesos de alterabilidad más significativos en monumentos históricos, resumiendo la alterabilidad detectada en el edificio en estudio.

## OBJETIVO

El principal objetivo de este trabajo es determinar si existe disminución de resistencia de los bloques de ignimbritas expuestos en el edificio que ocupa el Museo Regional Michoacano “Dr. Nicolás León Calderón”, ya que se tiene conocimiento que anteriormente los edificios contaban con recubrimiento, y como es natural al desprenderlos de ese recubrimiento quedan expuestos al intemperismo y por tal motivo puede disminuir la resistencia original. Como no se tiene un dato preciso del origen de la cantera utilizada en su construcción se hará una comparación con la de los bancos de material que actualmente se encuentran más cercanos a esta población. Para determinar la resistencia se utilizaran pruebas no destructivas, utilizando el Esclerómetro o Martillo Schmidt. Únicamente se hará en elementos que cuenten con cantera expuesta para evitar el daño de recubrimientos, ya que por el rebote del Esclerómetro se puede desprender el recubrimiento, también se evitará tomar la resistencia en elementos que visiblemente se observen dañados.

## 2. OBJETO DE ESTUDIO: MUSEO REGIONAL MICHOACANO "DR. NICOLÁS LEÓN CALDERÓN"

### 2.1 UBICACIÓN.

SECTOR: Independencia

Allende 305 esq. Abasolo (antes calle del Comercio)

PLANO DE LA CIUDAD: Núm. 3.

ORIENTACION: Norte a Sur

USO ORIGINAL: Casa habitación y locales comerciales

USO ACTUAL: Museo Michoacano

NIVELES DE CONSTRUCCIÓN: 2

SUPERFICIE: 1,401 m<sup>2</sup>

VALOR: Arquitectónico e histórico.



[www.visitmorelia.com](http://www.visitmorelia.com)

## 2.2 DATOS HISTÓRICOS

En el año de 1706 esta casa pertenecía al bachiller Don Domingo de Hidalgo y de la Paz. Posteriormente pasó a manos de otros dueños, hasta que en el año de 1772, la compró don Isidro Huarte. Este era un comerciante progresista, además de benefactor y abogado en la ciudad de Valladolid. Fue senador y diputado y legó su cuantiosa fortuna para el establecimiento de un hospital que nunca llegó a crearse. La casa tenía originalmente un piso y durante 1775 se construyó el segundo.

Cuando se inició la reconstrucción del acueducto de Valladolid en 1785, por impulso del obispo Fray Antonio de San Miguel, se nombró a Isidro Huarte como inspector de la obra. Con esto se viene abajo un viejo error de algunos historiadores al pensar que Isidro Huarte aprovechó material sobrante del acueducto para levantar el segundo nivel de su morada. [5]

Esta casa pasó a ser propiedad de don Manuel María Malo, durante la época del imperio de Maximiliano, en 1867, fecha en que la construcción fue transformada en una de las más elegantes de la ciudad.

En el periodo porfiriano y siendo gobernador del Estado de Michoacán en 1885, el general Mariano Jiménez, la casa pasó a poder del gobierno del Estado. Tuvo como primera función la de Academia de Niñas. [5]

El 30 de enero de 1886, se fundó el Museo Michoacano por iniciativa del Gobernador Jiménez, designando como director a un eminente científico michoacano, el Dr. Nicolás León Calderón. Con colecciones pequeñas de arqueología, botánica y zoología, el museo funcionó en el Colegio de San Nicolás, en su parte de atrás, hasta que en el año de 1889 se trasladó a uno de los salones del palacio de Gobierno. Permaneció en ese sitio hasta 1916, fecha en la que se instala en el edificio que nos ocupa.

De 1916 a 1939, tuvo de directores al Dr. Manuel Martínez Solórzano y al Dr. Eugenio Martínez Báez. En 1939 ocupó la dirección el Lic. Antonio Arriaga Ochoa, quien logró reunir la mayoría de las colecciones que actualmente existen en exhibición en este museo.

En 1943, se firmó un convenio tripartita entre el Gobierno del Estado, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el Instituto Nacional de Antropología e Historia para coordinar las actividades del museo. En el año de 1975, se llevó a cabo una restauración del edificio. El cual volvió a ponerse en servicio en 1978.

En diciembre del 2007, a raíz de los trabajos de restitución de aplanados se descubrió en el salón que ocupa el auditorio un boceto realizado por Manuel Pérez Coronado a partir del cual, Juan O’Gorman realizaría una réplica del mural Retablo de la Independencia ubicado en el Museo Nacional de Historia del Castillo de Chapultepec.

## 2.3 DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA

### UBICACIÓN URBANA.



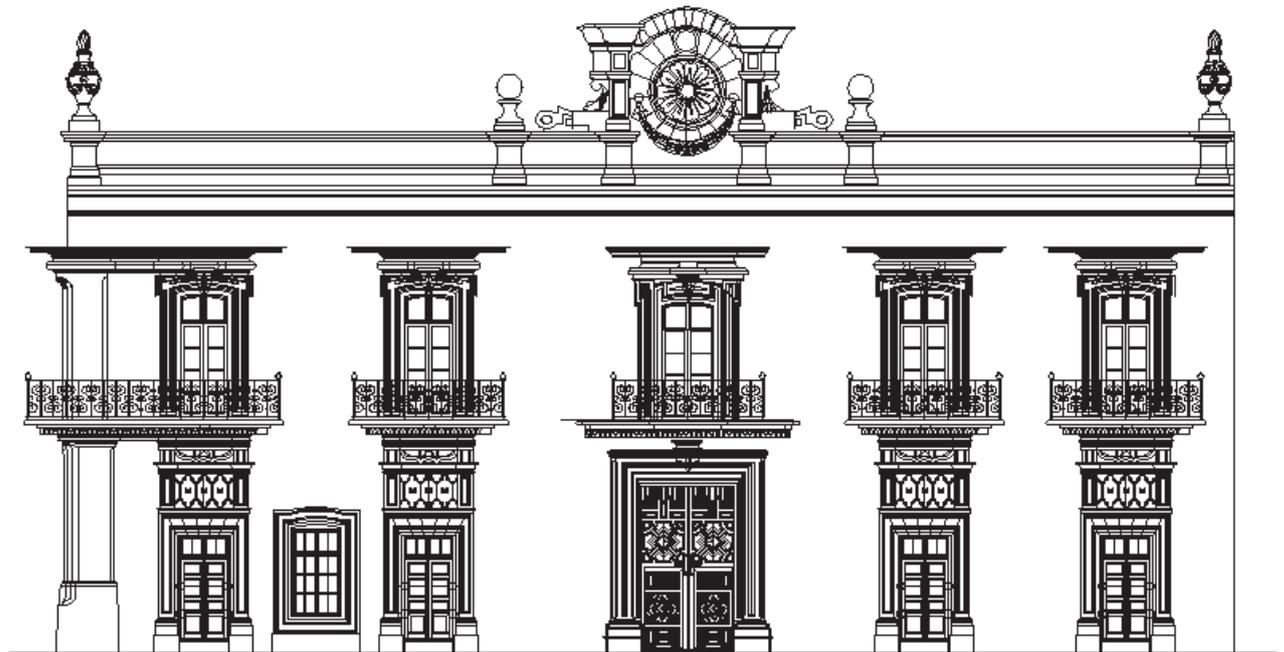
La casa se encuentra prácticamente fuera del perímetro de la plaza mayor, sin embargo el arquitecto supo encontrar con gran acierto el elemento arquitectónico que la integrara al mencionado espacio. Éste se realizó a través de un balcón de esquina que se colocó en el piso residencial. [5]

La fachada del lado Este presenta otro acierto del hacedor, que supo aprovechar el declive topográfico de la calle Abasolo y crear tres pisos (aquí es donde está ahora el auditorio). Entre los pisos principales colocó una serie de ventanas que forman un entrepiso formándose la serie de accesorias comerciales.

### EXTERIOR.



## FACHADA DEL LADO NORTE.



TALLER DE PROYECTOS II: MUSEO REGIONAL MICHOACANO.- Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos/ UMSNH

La fachada principal se encuentra orientada al Norte; consta de dos pisos de sillería sobre la cual se dibujó una composición barroca. Se observa un eje central en el cual se coloca la puerta de acceso (probablemente del siglo XVIII) cuya jerarquía queda aclarada cuando sobresale de las otras cuatro secundarias tanto por su tamaño como por su diseño elaborado. De igual manera, se observa una ventana que bien pudo haber sido diseñada en época distinta a la de origen ya que rompe con el equilibrio y proporción que marcan las cinco disposiciones verticales de puertas y ventanas. Las puertas de tipo secundario presentan remates tablerados que se unen con la guardamalleta de las puerta-balcón ubicadas en planta alta, creándose así una ordenada composición; en donde sobresale nuevamente la ubicada al centro de la fachada por ser de dimensiones un poco más amplias que sin embargo no rompe con la proporción del conjunto arquitectónico. [6]

El piso alto revela el carácter residencial a través de una mayor ornamentación. Al centro, el balcón sobresale del resto por su mayor tamaño y ornamentación a base de jambas y arco tablereado con acodos en la intersección, la clave y la tapa se enriquecen y soportan el volado alero. A los lados del balcón central hay dos balcones a cada lado, éstos con ventanas de arco rebajado y jambas tablereadas, la clave se prolonga hasta la tapa, misma que soporta el volado alero.

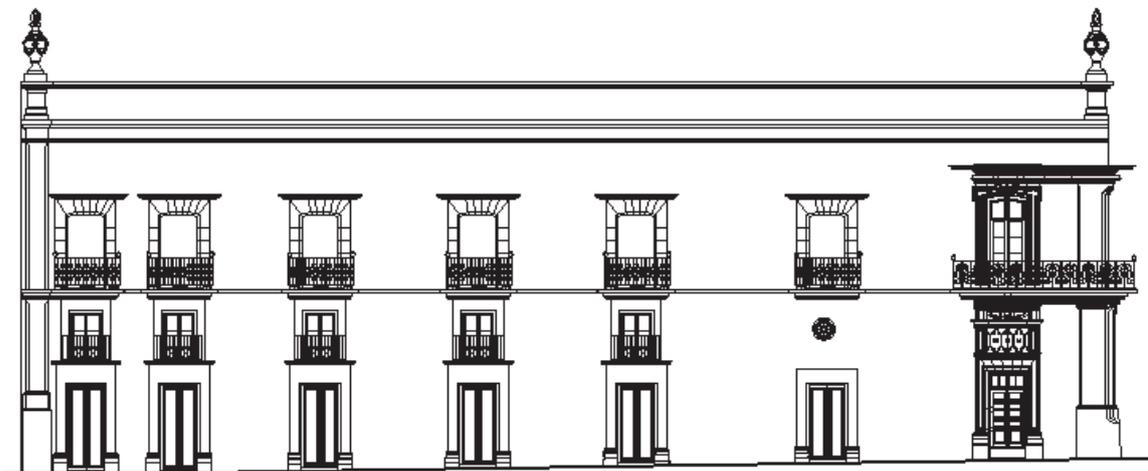
Cinco barandales de hierro forjado lucen frente a cada ventana. En la esquina destaca el balcón de ángulo con dos decorados vanos uno sobre cada calle y alero en juego con repisa del balcón.

En la parte superior de la fachada, cerrando el eje central que rige al edificio se eleva sobre la cornisa un elegante imafrente con un relieve floral al centro, este elemento se agregó en el siglo XIX.

Dentro de una especie de friso barroco se desplazan rítmicamente diez gárgolas poligonales y sobre la cornisa barroca se apoya un antepecho del cual arrancan dos remates a los extremos, éstos de estilo rococó; los centrales que acompañan al imafrente son esféricos.

En el siglo XIX se le agregaron elementos ornamentales a la fachada principal como son: el imafrente, el antepecho, los remates y la ornamentación de puertas y ventanas.

### FACHADA DEL LADO ESTE.



TALLER DE PROYECTOS II: MUSEO REGIONAL MICHOACANO.- Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos/ UMSNH

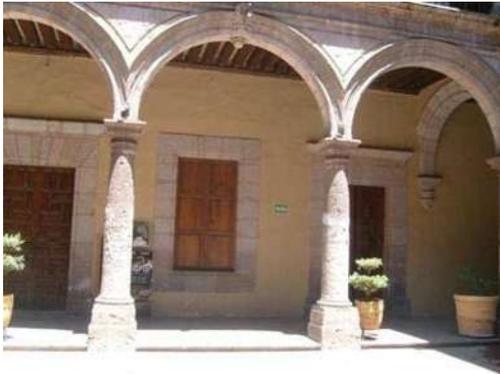
Este paramento consta de tres niveles, los cuales no alteran la altura señalada en la fachada principal. Los elementos barrocos se muestran más claros por no tener la ornamentación del siglo XIX. Siete puertas se hallan en el piso bajo de sencillas jambas y platabanda; sobre ellas se abren cinco ventanas que hoy día se transformaron en balcones y constituyen el entresuelo. En la esquina, formando eje con el balcón de ángulo, se encuentra una puerta que repite el modelo de puerta secundaria en la fachada principal con mayor ornamentación en platabanda y en la misma carpintería, ya que es parte del paramento que se integra a la Plaza Mayor.

En el piso superior la ventana balcón de esquina y seis ventanas balcón, se encuentran en eje con los vanos inferiores. Las ventanas están formadas por sencillas jambas y platabanda con pequeño alero.

Dentro del friso barroco se proyectan once gárgolas poligonales y sobre la cornisa está un antepecho con un remate al Sur y otro en la esquina, de estilo rococó.

## INTERIOR

Los espacios internos se organizan en torno a tres patios que van señalando su importancia a través de carácter de los elementos.



El principal es cuadrado con corredor en cuatro lados. Dos columnas monolíticas sobre alto pedestal con capitel toscano, por cada lado, soportan tres arcos de medio punto con moldurado de extradós. En la unión de los corredores una columna semejante a las mencionadas de fuste barroco se encuentra en cada esquina la cual soporta un par de arcos perpendiculares a los muros.

El mismo diseño de columnas y arcos de la planta baja se repite en el segundo piso con una cornisa intermedia.



La rica decoración del exterior la encontramos en el patio; está interpretada en forma local, a base de molduras en el extradós y formas geométricas entre las enjutas de los arcos del siglo XIX se agregaron unos elementos al patio como son las claves de los arcos centrales, el arco del pasillo de entrada y la reja hecha de hierro vaciado.

Las puertas y ventanas que dan a los corredores se alternan formando una composición barroca en ambos pisos. Las gárgolas poligonales se distribuyen simétricamente bajo la cornisa superior agrupándose dos a cada lado y en los ángulos, una en cada esquina. [6]



El segundo patio tiene tres corredores y muro corrido al norte. La gualdra se apoya en tres columnas toscanas que se alzan sobre alto pedestal al Sur, una al Este y otra al Oeste.

El mismo diseño se repite en el segundo piso.



La escalera es monumental. Tiene un desarrollo barroco a base de una rampa que se inicia a través de un doble arco salmureado con rica ornamentación. El barandal de hierro forjado conserva los tirantes.

La rampa a la altura del primer descanso se divide en dos pequeñas rampas que conducen a otro descanso donde se abren unas puertas sobre el muro y la doble rampa continúa en ascenso terminando en el segundo piso con tres arcos, los arcos de los extremos corresponden a las rampas, el central proyecta luz al cubo y sirve de balcón para contemplar el mural que realizó sobre los tres muros del cubo el pintor Alfredo Zalce en 1952.



**ESTILO.** Hay una congruencia estilística entre la fachada principal y el patio de honor; el estilo barroco de la gran riqueza que ostenta la fachada, se presenta en forma elegante y sobria en el planimétrico barroco que desarrolla el patio.

**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.** En las remodelaciones que ha tenido el museo se han usado los materiales tradicionales: vigas de madera en techos, ladrillos de arcilla recocida y losas de cantera en pisos, aplanado de morteros en muros interiores y sillería de cantera en fachadas. Esto ha hecho que se conserve el ambiente original.

**CONSERVACIÓN.** El cambio de usos del edificio, de cada habitación a museo, ha traído esenciales modificaciones a los espacios habitacionales cuyos muros desaparecieron al convertirse los cuartos originales en galerías para exhibición de objetos. El entrepiso del lado Este corrió la misma suerte desapareciendo para hacerse un gran salón.

## 2.4 ACTIVIDADES DE MUSEO (USO ACTUAL).

- **Servicios**

El museo abre sus puertas al público de martes a sábado de 9:00 a 17:00 horas y domingo de 9:00 a 16:00 horas. La cuota de admisión es de 37 pesos. Excepción de pago a niños menores de trece años, estudiantes, maestros y personas de la tercera edad con credencial. Los domingos la entrada es gratuita. La utilización de videocámara está sujeta a un pago de derechos. El museo presta los siguientes servicios: visitas guiadas, conferencias y talleres de historia de Michoacán (para grupos escolares), conferencias temáticas sobre historia regional (para todo el público), auditorio, guardarropa y sanitarios.

### Distribución de áreas

- **Área de sala de exposiciones temporales y permanentes.**

Algunas de las áreas se ubican en planta baja donde muy probablemente estaba el área de servicios hacia el Poniente del inmueble. En planta alta no se tiene el dato con certeza de cuál era el uso que tenía.

Contiene una dinámica visión de la historia del Estado desde sus raíces prehispánicas hasta la época postrevolucionaria, abarcando desde luego, el Periodo Virreinal y la guerra de Independencia. Su colección de arqueología es de las más importantes, pues cuenta con un importante número de piezas provenientes de los sitios descubiertos hasta hoy en la región. El muro de la escalera exhibe un extraordinario mural realizado por el maestro Alfredo Zalce, con el tema de "Cuauhtémoc y la historia".

Su obra más preciada es el lienzo llamado "**El Traslado de las Monjas**" que data de 1738, calificada por el reconocido muralista Diego Rivera como un testimonio único de historia, sociología y etnografía.



El museo cuenta con las siguientes salas permanentes:



### **I. Escenario ecológico**

Se muestra el escenario del estado de Michoacán; factores físicogeográficos; geología, fisiografía y regiones naturales; climas y tipos de suelos; flora y fauna del estado, su distribución geográfica e importancia para el hombre, así como el papel que éste ha jugado como parte de los ecosistemas.

### **II. Arqueología. Preclásico, Clásico y Posclásico**

Del período Preclásico se ofrece un recorrido por las primeras las culturas que se asentaron en el Occidente de México, su relación con el resto de Mesoamérica, así como testimonios arqueológicos de tumbas y ofrendas. Del Clásico se explica, mediante figuras humanas, vasijas, cascabeles, objetos de obsidiana, turquesa y jade, el avance tecnológico y la evolución cultural en sitios como Zacapu, la loma de Santa María, en Morelia, y la cuenca del Balsas, así como la arquitectura de Tingambato. Del Posclásico se muestra la consolidación del señorío Tarasco, sus aspectos sociales, religiosos y económicos, lenguaje, aprovechamiento de los recursos naturales, aspecto físico, la aparición de objetos de metal, instrumentos musicales, alfarería y joyería, así como una reproducción del lienzo de Jucutacato.





### III. Época colonial

Se explica el impacto de la presencia europea en la población del antiguo Michoacán; la coexistencia de diversos grupos étnicos; la formación paulatina de una cultura mestiza; la creación de instituciones y nuevas formas de vida; la colonización y sus efectos en la población e identidad indígena; el surgimiento de grupos oligárquicos; la arriería y su importancia en la economía; el comercio; la minería; la situación política y las reformas borbónicas; el pensamiento ilustrado en Michoacán, así como los antecedentes y las causas que contribuyeron a la gestación de la guerra de Independencia.

### IV. La lucha por la libertad

Se aborda la crisis política de la península Ibérica; la conspiración de Valladolid y sus protagonistas; Hidalgo y la lucha armada; Morelos; los Congresos de Zitácuaro, Apatzingán y Chilpancingo; la Contrainsurgencia; las guerrillas; la declinación del movimiento, y la consumación de la Independencia.



### V. El México Independiente

Se exploran las pugnas entre centralistas y federalistas; la participación de los michoacanos durante la intervención estadounidense de 1847, la Reforma liberal de 1857-1862 y la Intervención Francesa; el Porfiriato y sus efectos en el Estado; las compañías extranjeras y su intervencionismo económico; las diferencias entre las clases sociales; el avance en la cultura; la participación de los michoacanos en la Revolución Maderista, el Constitucionalismo y la guerra cristera; el desempeño del general Lázaro Cárdenas como presidente de la República; la expropiación petrolera, y la Reforma Agraria.

- Área de servicios:

Se cuenta con un espacio acondicionado como auditorio que da cabida a 84 personas, dicho lugar está en el ala Oriente del edificio donde anteriormente se encontraban parte de las accesorias. El Museo Regional ofrece al público visitante un área de guardabultos y una tienda de publicaciones donde se ofrecen productos como libros, música y reproducciones de cerámica y joyería manufacturados en los talleres de INAH localizado en una de las que fueran accesorias a un costado a la derecha del acceso principal.



La Biblioteca, que lleva el nombre de “Antonio Arriaga Ochoa”, misma que resguarda aproximadamente 6000 volúmenes desde incunables, hasta ediciones recientes con temas especializados en arqueología, arquitectura e historia de Michoacán. Este local se encuentra en planta alta en donde hubo habitaciones de servicio, se cree que ahí se ubicó la cocina.

- Área de espacios técnicos y operativos.

Existen tres espacios destinados al almacenaje de bienes patrimoniales, un área y patio para el taller de museografía y uno más para el taller de diseño gráfico. Una de las bodegas de arqueología se vincula a la izquierda del tercer patio donde se localizaban antes los servicios de las accesorias. La otra bodega para ese mismo uso se encuentra a la derecha del mismo patio anexo al taller de museografía.

- Circulaciones:



Para acceder al inmueble se hace por un zaguán, el cual nos conduce hacia el patio principal que al igual que sirve como espacio articulador que vincula por medio de circulaciones horizontales a un segundo patio, y por circulaciones verticales con la segunda planta.

El eje de las actividades en la casa del Siglo XVIII se situaba en el patio central, este representa el elemento más importante en este tipo de edificaciones, compuesto por un elemento cerrado limitado por corredores porticados, que permite múltiples direcciones de aproximación a los espacios internos.

Las circulaciones de un edificio de esta naturaleza pueden ser de dos tipos: las circulaciones verticales y las horizontales. Las verticales están representadas por vinculaciones espaciales entre diferentes niveles de altura que se articulan por medio de escaleras, y las horizontales que son pasillos, corredores y patios.

La circulación de un patio central del Museo Regional por su configuración puede ser periférica por medio de corredores porticados circundantes, forma un eje con el acceso o zaguán y la escalera con arco pinjante, jerarquizando estos elementos como los principios ordenadores del espacio, los cuales a su vez son el elemento de simetría para todo el edificio.



El patio central se conecta por circulaciones horizontales por medio de un pasillo con un segundo patio donde se encuentran las salas de exposición arqueología del periodo postclásico. Por el mismo pasillo horizontal se enlaza al taller de museografía y al tercer patio.

El acceso a las áreas de exposición de ecología, exposiciones temporales, expendio de arqueología así como al auditorio, se realiza desde el patio central de manera directa por circulación horizontal.

Las circulaciones horizontales son espacios que vinculan las zonas de diferentes áreas en un mismo nivel, obligando al usuario a recorrer de manera recta y ayudan a la continuidad

espacial y visual, donde se usa el patio central como vestíbulo principal.

A lo largo de su vida, el inmueble ha sufrido modificaciones por las ocupaciones en diferentes tiempos y por diferentes usos, su función original fue la de Casa habitación, después colegio de niñas y por último museo, esto ha provocado la adaptación de sus espacios a los nuevos usos modificando sus circulaciones, pero en esencia conserva su sistema de circulación original.

## 2.5 ANÁLISIS AMBIENTAL.

En el siguiente apartado, se analizarán los espacios arquitectónicos a partir de las principales condicionantes ambientales: orientación, asoleamiento y ventilación, las cuales presentan un papel fundamental en el diseño arquitectónico desde sus inicios, especialmente en obras de antes del siglo XX, ya que a falta de técnicas duras en cuanto a climatización, se hacía necesaria la adaptación del diseño al medio ambiente natural para poder obtener un adecuado confort que permitiera realizar las actividades de cada usuario.

### Iluminación

El manejo de la luz ha sido un recurso muy solicitado en la arquitectura y que va desde una casa habitación hasta las grandes obras religiosas, en la mayoría de los casos busca generar percepción acorde al uso y espacio.

Si nos remontamos a la fecha de construcción del Museo Regional Michoacano, observaremos que no se contaba con energía eléctrica, por lo que se hacía necesario el uso de candelabros y velas por la noche, inserción de derrames en muros así como capialzados en los cerramientos, todos ellos para que permitieran una mejor captación de luz natural al interior y que facilitara los usos propios de una casa habitación (uso original de la construcción).

Podemos intuir el uso de grandes candelabros así como de quinqués hasta finales del siglo XIX, sin embargo, en la actualidad, se ha sustituido el uso de velas por focos incandescentes tanto en pasillos como en los locales. Debido a la restauración a la que fue sujeta el inmueble entre 1975 y 1977, sabemos que la instalación anterior a dicha acción era tan antigua que estaba forrada con hilo, de igual manera, presentaba elementos de vidrio, recorría las salas colgada de las vigas y era común el uso de apagadores de cerámica.

Por el uso actual, se hace necesaria una regulación adecuada de luz natural, ya que el sol es un factor importante que deteriora obras de arte como las que se exhiben en el museo, especialmente aquellas que son de tipo pictórico y que forman parte de las exposiciones fijas del inmueble.

### Orientación

La orientación del edificio es Norte-Sur, una fachada lateral mira hacia al Oriente, mientras que la otra se encuentra con una colindancia al Poniente, la cual la protege de la carga calorífica propia de esta ubicación.

Los locales ubicados hacia el Norte por lo general presentan una temperatura baja al interior, que en este caso se equilibra con los vanos al Sur que dan hacia el patio interior, generando una adecuada temperatura para el confort arquitectónico.

### El sistema vial.

Las calles que lo rodean son de las más transitadas del Centro Histórico (calles Allende y Abasolo), especialmente por el transporte colectivo que hace uso de ellas para poder realizar su recorrido a

través de la ciudad, lo que genera molestias auditivas y contaminación que son nocivas tanto para los humanos como para los edificios.

### Ventilación

El uso de la ventilación es muy importante en el diseño de espacios, observamos que el inmueble cuenta con grandes ventanales que permiten el uso de ventilación cruzada que refresca las habitaciones y elimina el aire caliente que se asienta en las partes altas de los espacios. Sin embargo, de nueva cuenta, observamos la importancia del patio principal: los vientos dominantes en Morelia van de Suroeste a Noreste, a una velocidad aproximada que va de 14 a 24 m/seg, es por esto que los vanos que dan al Sur no son tan amplios, apenas lo suficiente para permitir la entrada de aire sin que afecte las actividades al interior.

En el patio secundario, se aprecia que los vanos al dar al Norte, son mucho más pequeños que los del principal y sólo los necesarios para puertas para evitar el enfriamiento que esta orientación produce, sin embargo, en los locales que dan hacia un patio interior ubicado al Sur, se observan vanos más grandes para aprovechar esa ubicación considerada como de las más benéficas por su carga calorífica equilibrada.

### Asoleamiento

La ciudad de Morelia pertenece al clima semifrío de acuerdo a la clasificación realizada para el IMSS por Fuentes Figueroa y presenta una temperatura anual de 19°C con máximas de 38°C y mínimas de menos 2.4°C, de igual manera registra una precipitación pluvial anual de 65mm con máximas de 145mm en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

El clima que presenta la ciudad permite que la orientación de nuestro inmueble sea adecuada (la óptima pudiera ser la de Sur-Norte), y que mediante el diseño de ubicación de espacios (íntimos, comunes y de servicio) así como el uso, orientación y dimensiones adecuadas de vanos, se pueda obtener un correcto confort para el usuario.

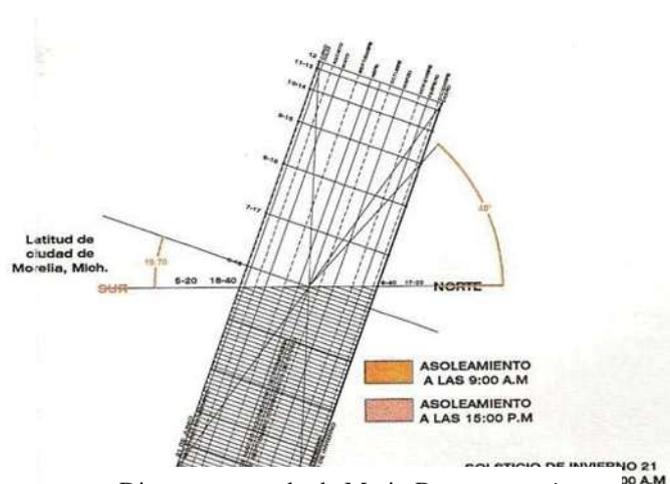


Diagrama tomado de Mario Barrera, *op cit.*

## 2.6 ANÁLISIS CONSTRUCTIVO ESTRUCTURAL.

En relación al análisis estructural, se estudiaron de manera particular los sistemas constructivos y materiales del inmueble, éste se hizo especialmente sobre la observación directa del edificio.

### Infraestructura

A finales del 2007 se llevó a cabo una intervención en el área que actualmente aloja al auditorio, en la cual se instaló un aero-dren. Para efectos de esta intervención se tuvo la necesidad de descubrir la cimentación y se encontró que se trata de una cimentación recta hecha a base de mampostería irregular de cantera asentada con mortero de cal-arena, de sección rectangular y un ancho igual a dos veces al espesor del muro. [6]



TALLER DE PROYECTOS II: MUSEO REGIONAL MICHOACANO.- Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos/ UMSNH

### Superestructura

El edificio que alberga el Museo Regional fue construido con muros de carga hechos a base de mampostería de cantera. Tiene dos patios con corredores soportados con apoyos aislados de cantería labrada, que soportan arcos de medio punto, los cuales reciben los esfuerzos verticales del espacio.

Los entresijos y cubiertas son de vigería de madera con tapas de ladrillo y terrado, las cuales transmiten sus cargas a los apoyos aislados y a los muros de carga, los cuales se encargan de mandar estos pesos a la cimentación antes mencionada.

Cabe mencionar que parte de la estabilidad del edificio se debe al espesor de los muros, ya que estos trabajan parecido a las losas de cimentación.

## 2.7 MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Los materiales y sistemas constructivos utilizados para la edificación de la casa que hoy alberga el Museo Regional Michoacano fueron los que se utilizaban por tradición durante el siglo XVIII.

Por ejemplo tenemos que los muros son de mampostería de piedra de cantera de bancos cercanos al lugar, tanto por su abundamiento como por sus características de resistencia. Se utilizaron sillares labrados para los apoyos aparentes e irregulares para la cimentación y los muros de carga con acabados aplanados. Estos sillares eran asentados con morteros y argamasas hechas a base de mezcla de cal-arena.

Así pues tenemos que los materiales y los sistemas constructivos utilizados en este edificio se pueden describir de la siguiente manera:

### Muros



Los muros o apoyos continuos fueron realizados con mampostería de cantera irregular asentada con mortero de cal-arena. Los muros interiores que tienen acabado de aplanado, de mortero de cal-arena, terminado con pintura vinílica.

Los apoyos continuos que se encuentran en sus fachadas están hechos a base de mampostería con sillares regulares labrados. Estos sillares están asentados con mortero de cal-arena. Y su terminado es aparente.

### Cerramientos

Los cerramientos de las puertas y ventanas están hechos a base de platabandas de piedras de cantería labradas, las cuales se apoyan sobre jambas también de cantería labradas. Estas piedras fueron asentadas con mortero de cal-arena. En los interiores, estos vanos tienen sus respectivos derrames y capialzados acabados con aplanado de mortero de cal-arena y terminados con pintura vinílica.

En los corredores de ambos patios se encuentran los cerramientos hechos a base de arcos de medio punto adovelados, hechos de cantería labrada asentados con mortero de cal-arena, dando un acabado aparente. [6]

### Apoyos aislados



Los apoyos aislados o columnas que se encuentran en los patios del Museo Regional están hechos a base de cantería labrada, de fuste de tambor en el segundo patio, y base, pedestal y capitel de estilo toscano. En el patio principal las columnas son de fuste monolítico con base y capitel de estilo romano. Sus piezas están asentadas con



mortero de cal-arena. Estas columnas sostienen a los arcos de medio punto que sirven de cerramientos en los corredores de los patios del edificio.

### Pisos



En los exteriores de la planta baja se encuentra un piso de tierra sobre el cual se asentaron baldosas de cantería labrada con terminado aparente. Estas piezas de cantería fueron asentadas con mortero de cal-arena. En los interiores de la planta baja se integró un mosaico de pasta. En interiores de esta misma planta la mayoría de las salas tienen pisos de loseta de barro vidriado hexagonal pegado con mortero de cal-arena. Excepto una de las salas de exposición temporal, en el pasillo que comunica los dos patios y planta intermedia donde se encuentra la dirección, existe loseta cerámica vitropiso de 30 x 30 asentado con pegazulejo; y en el auditorio que se encuentra alfombrado.



En la planta alta, el entrepiso fue terminado en su mayoría con loseta de barro vidriado hexagonal mosaico de pasta, asentado con mortero de cal-arena, sobre un entortado del mismo mortero. En las salas del Porfiriato, Revolución, Constitución y Nacionalismo, se asentó piso de pasta de 30cm x 30 cm.

### Entrepisos y cubiertas



Los entrepisos están hechas a base de viguería de madera de 8 ½" x 6", apoyadas en los muros de carga sobre una viga de arrastre, con tapa de ladrillo que recibe un terrado, y un entortado de cal-arena cal-arena sobre el cual se recibe el mosaico.

Para la cubierta se tiene el mismo sistema anterior; viguería de madera de 8 ½" x 6" sobre muros de carga y una viga de arrastre con tapas de ladrillo y terrado, pero en lugar del mosaico se recibe un enladrillado sobre el cual se colocó un impermeabilizante acrílico.

### 3. VULCANISMO

El vulcanismo es parte del proceso de extracción de material desde el profundo interior del planeta, y su derrame sobre la superficie. Las erupciones también liberan hacia la superficie gases frescos provenientes del material derretido más abajo. El vulcanismo es parte del proceso mediante el cual se enfría un planeta. Aún cuando no son volcanes, los géisers y manantiales calientes son parte del proceso vulcánico, involucrando agua y actividad hidrotermal.

De la misma forma que hay diferentes tipos de volcanes, hay muchas maneras como se forma un volcán. En la Tierra, la causa general para que surja el vulcanismo, es mediante la subducción litósferica.

El magma y los gases rompen las zonas más débiles de la corteza externa de la Tierra o litósfera para llegar a la superficie. Estas debilidades se encuentran sobre todo a lo largo de los límites entre placas tectónicas, que es donde se concentra la mayor parte del vulcanismo. Cuando el magma y los gases alcanzan la superficie a través de las chimeneas o fisuras de la corteza, forman estructuras geológicas llamadas volcanes, de los que hay varios tipos.

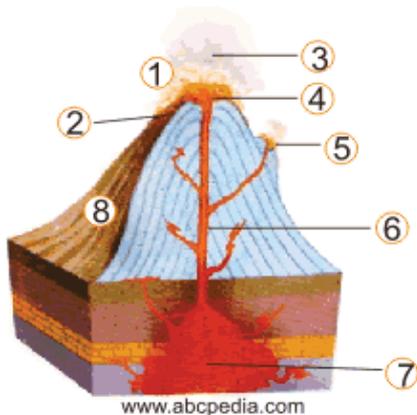
Al menos el 80% del vulcanismo se concentra en las largas fisuras verticales de la corteza terrestre. Este vulcanismo de fisura ocurre sobre todo en los bordes constructivos de las placas en que está dividida la litósfera. Tales bordes constructivos están marcados por cadenas montañosas oceánicas (dorsales oceánicas) en las que se crea continuamente nueva corteza a medida que las placas se separan. De hecho, es el magma ascendente enfriado producido por el vulcanismo de fisura el que forma el nuevo fondo oceánico. Por tanto, la mayor parte de la actividad volcánica permanece oculta bajo los mares. [7]

#### 3.1 DEFINICIÓN DE VOLCÁN

Un volcán es la abertura o grieta en la corteza terrestre, ya sea sobre la superficie del planeta o en las placas submarinas, a través de la cual se abren paso los gases y materiales rocosos en estado de fusión propios del interior del planeta.

##### 3.1.1 PARTES DE UN VOLCÁN

- 1.- Cráter (boca de erupción del volcán)
- 2 - Lava (magma que asciende alcanzando la superficie)
- 3 - Fumarola (gases)

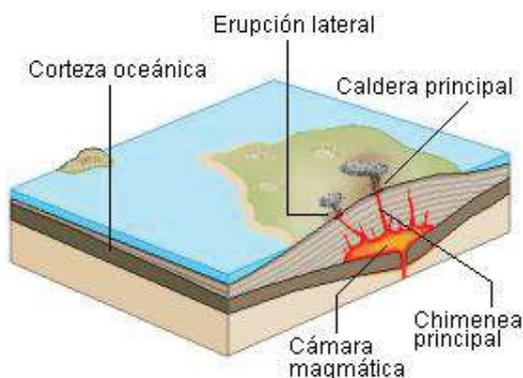


- 4 - Caldera (depresión causada por el hundimiento de la cámara magmática)
- 5 - Cráter parásito (segundas salidas de lava)
- 6 - Chimenea central (vía principal por la que el magma asciende)
- 7. Cámara de magma (mezcla multifase de sólidos, líquidos y gases producidos por la fusión entre la base de la corteza terrestre y la parte superior del manto).
- 8 - Cono volcánico (formado por la misma presión de la magma al ascender)

### 3.2 TIPOS DE VOLCANES

De todos los tipos de volcanes en la superficie de la Tierra, los más relevantes son los volcanes que comprenden el "Cinturón de Fuego del Pacífico". Estos son volcanes compuestos que se forman a consecuencia de un proceso de subducción en la cercana litósfera.

Los geólogos han clasificado los volcanes en tres categorías atendiendo a su morfología: volcanes en escudo, conos de cenizas y conos compuestos (también conocidos como estratovolcanes).



<http://es.wikipedia.org>

#### VOLCANES ESCUDO

Un volcán escudo es un volcán de grandes dimensiones y está formado a partir de las capas de sucesivas erupciones basálticas fluidas, por este motivo tienen una pendiente suave. Es un término similar al de caldera volcánica. De hecho, las regiones continentales más viejas de la Tierra podrían ser restos de volcanes escudo

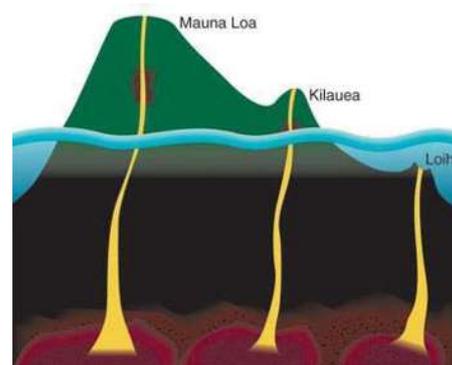
Los volcanes escudo se forman a lo largo de millones de años gracias a ciclos de erupciones de lava que se van superponiendo unas con otras

El nombre viene de una traducción de *Skjaldbreiður*, un volcán en escudo de Islandia cuyo nombre quiere decir "Escudo Ancho", dado que recuerda el escudo de un guerrero.

A diferencia de los volcanes compuestos, que son muy altos y delgados; los volcanes escudo son altos y anchos, con formas planas y redondeadas. Los volcanes de Hawaii son un ejemplo típico de volcanes escudo. Están formados por innumerables emanaciones de lava de baja viscosidad, las cuales avanzan grandes distancias desde el canal central de ventilación de la cima, o a través de diferentes grupos de canales de ventilación. Es común que las emanaciones no estén acompañadas de material piroclástico, lo cual hace que los volcanes escudo sean relativamente seguros.

El Mauna Loa es el volcán escudo más grande de la Tierra, con un volumen estimado en aproximadamente 75.000 km<sup>3</sup> y una altura de 5,000 m. desde su base hasta la superficie del océano, y otros 4,170 m sobre nivel del mar, es decir, más de 9,000 m de altura total

Famosos volcanes escudo incluyen al Mauna Loa, el Kilauea (dos de los volcanes más activos), y el Monte Olimpo, en Marte.

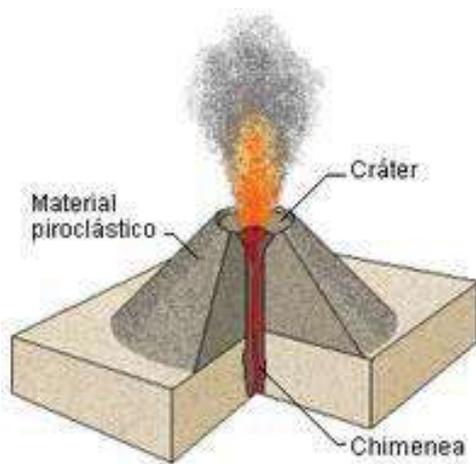


<http://keithmartin.home.att.ne>

### VOLCANES DE CENIZA

Los conos de escoria son volcanes sencillos que, en su cima, tienen un cráter en forma de cuenco y su altura puede variar entre diez a cientos de metros. Usualmente se originan a causa erupciones a través de una sola vía de ventilación, a diferencia de los volcanes estrato o volcanes de escudo, los cuales pueden hacer erupción por diferentes aperturas.

Por lo general están formados por pilas de lava, no de cenizas. Durante la erupción, las burbujas de lava lanzadas al aire, se desintegran en pequeños fragmentos los cuales caen alrededor de la apertura del volcán.



<http://es.wikipedia.org>

Algunos conos de escoria incluyen al Parícutín, en México.

El volcán Parícutín o parícutin (en purépecha *Parhíkutini* 'lugar al otro lado') es el volcán más joven del mundo, que se localiza en el estado de Michoacán, México entre el nuevo poblado San Juan Parangaricutiro y el poblado Angahuan.

Este volcán cambió la vida a los habitantes de la meseta Purépecha el día 20 de febrero de 1943, día en que nació. El Parícutín es considerado por muchos como una de las maravillas naturales del mundo.

Tiene una elevación de 2,800 msnm, con las coordenadas 19°29'N 102°15'O



[www.umich.mx/.../imagenes-volcan/volcan3.jpg](http://www.umich.mx/.../imagenes-volcan/volcan3.jpg)



<http://es.wikipedia.org>

### **VOLCANES COMPUESTOS O ESTRATOVOLCANES**

Un estratovolcán es un tipo de volcán cónico y de gran altura, compuesto por múltiples capas de lava endurecida, piroclastos alternantes (surgidos por una alternancia de épocas de actividad explosiva y de corrientes de lava fluida) y cenizas volcánicas. Estos volcanes están caracterizados por

un perfil escarpado y erupciones periódicas y explosivas. La lava que fluye desde su interior es altamente viscosa y se enfría y endurece antes de que pueda llegar lejos. La fuente de magma de estas montañas está clasificada como ácida o alta en sílice, con presencia de riolita, dacita y andesita. Muchos estratovolcanes exceden los 2500 metros de altitud.

Aunque a veces se les denomina volcanes compuestos, los vulcanólogos prefieren utilizar el término estratovolcán para establecer una distinción, debido a que todos los volcanes, sean del tamaño que sean, presentan una estructura (de capas) compuesta, esto es, se desarrollan sobre los materiales de sucesivas erupciones

Algunos volcanes compuestos incluyen el Monte Fuji en Japón, el Monte Cotopaxi en Ecuador, el Monte Shasta y el Monte Lassen en California, el Monte Hood en Oregón, el Monte Santa Helena y el Monte Rainier en Washington, el Monte Pinatubo en las Filipinas, y el Monte Etna en Italia.

El Monte Cotopaxi es un volcán en Ecuador situado a 50 km al Sur de Quito, y con 5,897 metros es el segundo más alto del país (el más alto es el Chimborazo) y uno de los volcanes activos más altos del mundo (el volcán activo más alto es el Ojos del Salado en la frontera entre Chile y la Argentina).

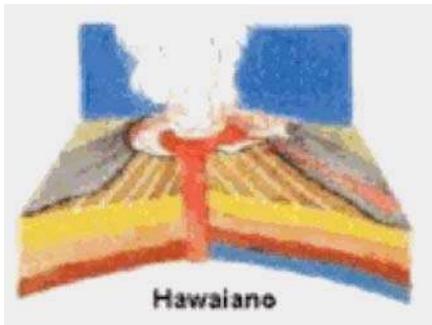
La última erupción del Monte Cotopaxi fue en 1877 y 1904, y registró alguna actividad en 1942.



Monte Cotopaxi  
<http://www.windows.ucar.edu>

### **3.3 TIPOS DE ERUPCIONES**

Es más correcto hablar de tipos de erupciones que de tipos de volcanes, ya que un mismo volcán puede tener diferentes tipos de erupciones a lo largo de su periodo de actividad. Dependiendo de la temperatura de los magmas, de la cantidad de productos volátiles que acompañan a las lavas y de su fluidez o viscosidad, los tipos de erupciones más comunes pueden ser:



<http://www.monografias.com>

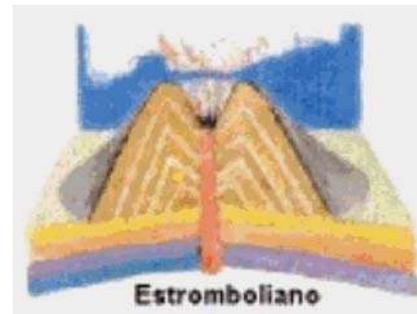
### Hawaiano

Sus lavas son bastante fluidas, sin que tengan lugar desprendimientos gaseosos explosivos; estas lavas se desbordan cuando rebasan el cráter y se deslizan con facilidad, formando verdaderas corrientes a grandes distancias. Por esta razón son de pendiente suave. Algunas partículas de lava, al ser arrastradas por el viento, forman hilos cristalinos que los nativos llaman cabellos de la diosa Pelé (diosa del fuego). Son bastante comunes a escala mundial.

### Estromboliano

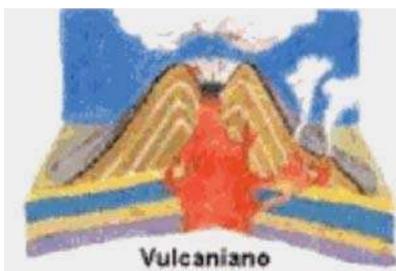
Erupción del Stromboli en 1980.

Recibe el nombre del Stromboli, volcán de las islas Lípari (mar Tirreno), al Norte de Sicilia. Se originan cuando hay una alternancia de materiales en erupción, formándose un cono estratificado en capas de lavas fluidas y materiales sólidos. La lava es fluida, desprendiendo gases abundantes y violentos, con proyecciones de escorias, bombas y lapilli. Debido a que los gases pueden desprenderse con facilidad, no se producen pulverizaciones o cenizas. Cuando la lava rebosa por los bordes del cráter, desciende por sus laderas y barrancos, pero no alcanza tanta extensión como en las erupciones de tipo hawaiano.



<http://www.monografias.com>

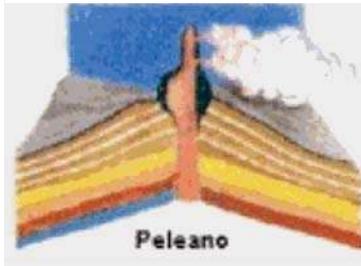
### Vulcaniano



<http://www.monografias.com>

Del nombre del volcán Vulcano en las islas Lípari localizadas al norte de Sicilia, Italia. Se desprenden grandes cantidades de gases de un magma poco fluido, que se consolida con rapidez; por ello las explosiones son muy fuertes y pulverizan la lava, produciendo mucha ceniza, lanzada al aire acompañadas de otros materiales fragmentarios. Cuando la lava sale al exterior se consolida rápidamente, pero los gases que se desprenden rompen y resquebrajan su superficie, que por ello resulta áspera e irregular. Los conos de estos volcanes son de pendiente muy inclinada.

### **Peleano**



<http://www.monografias.com>

De los volcanes de las Antillas es célebre el de la *Montaña Pelada*, ubicado en la isla Martinica, por su erupción de 1902, que destruyó su capital, Saint-Pierre.

La lava es extremadamente viscosa y se consolida con gran rapidez, llegando a tapar por completo el cráter; la enorme presión de los gases, sin salida, provoca una enorme explosión que levanta este tapón que se eleva formando una gran aguja. Así ocurrió el 8 de mayo de 1902, cuando las paredes del volcán cedieron a tan enorme empuje, abriéndose un conducto por el que salieron con extraordinaria fuerza los gases acumulados a elevada temperatura y que, mezclados con cenizas, formaron la nube ardiente que ocasionó 28,000 víctimas.

### **Erupciones especiales**

No todas las erupciones volcánicas encajan en uno de los cuatro tipos comunes. Algunas merecen especial atención.



#### **Krakatoano**

Una explosión volcánica terrible, fue la del volcán Krakatoa. Originó una tremenda explosión y enormes maremotos. Se cree que este tipo de erupciones es debido a la entrada en contacto de la lava ascendente con el agua o con rocas mojadas, por ello se denominan erupciones freáticas.

<http://www.astromia.com>

### **Erupciones submarinas**

En el fondo oceánico se producen erupciones volcánicas cuyas lavas, si llegan a la superficie, pueden formar islas volcánicas. Éstas suelen ser de corta duración en la mayoría de los casos, debido al equilibrio isostático de las lavas al enfriarse y por la erosión marina. Algunas islas actuales como las Cícladas (Grecia), tienen este origen



<http://www.astromia.com>

### 3.4 VULCANISMO EN MÉXICO

El territorio mexicano es atravesado por un sistema de volcanes que significan un riesgo y un beneficio para el país.



[www.kalipedia.com/kalipediamedia/geografia/med](http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/geografia/med).

Las zonas volcánicas y sísmicas más importantes del planeta se encuentran en una región conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico. Una parte de este "cinturón" llega a las costas del Pacífico de la República Mexicana, justo en el límite de las placas tectónicas que actúan en esta región. Por ello, en dicha zona del país ocurren con mayor frecuencia fenómenos volcánicos y sísmicos.

El principal sistema volcánico de México -mismo que ha tenido un papel fundamental en la formación del relieve del país- atraviesa el centro de su territorio continental de oeste a este, desde el Ceboruco en el estado de Nayarit hasta la Sierra de los Tuxtlas en el estado de Veracruz. Este sistema se conoce como Sistema Volcánico Transversal (SVT). Por lo que se refiere al territorio insular, la zona de actividad volcánica se extiende hasta el archipiélago Juárez en el Pacífico, donde los volcanes Everman y Bárcena tuvieron actividad a mediados del siglo pasado.

Evidentemente, la actividad volcánica de México no se concentra en el SVT, pues existen otras regiones donde también han surgido volcanes, tales son los casos del Pochutla en Oaxaca, así como del Tacaná y el Chichón que se localizan en Chiapas.

El SVT representa un grado de riesgo para la población, pues atraviesa las zonas más pobladas de México. Una erupción volcánica puede lanzar a la atmósfera gases tóxicos, nubes de fuego y material incandescente, y provocar deslaves que pueden poner en grave peligro a los habitantes de las zonas aledañas. El grado de riesgo puede estimarse por medio de la relación que existiría entre la violencia de la erupción y el número de personas que podrían ser afectadas.

### Volcanes mexicanos más antiguos

Los volcanes más antiguos de México -de acuerdo con una datación aproximada- son los siguientes:

| Volcán           | Ubicación   | Edad en años |
|------------------|---|--------------|
| Ajusco           | Al Sur del Distrito Federal                             | 10,000       |
| Malinche         | Entre los Estados de Tlaxcala y Puebla                  | 9,500        |
| Nevado de Colima | En el Estado de Jalisco                                 | 8,000        |
| Iztaccíhuatl     | Entre los Estados de Puebla y Estado de México          | 7,500        |
| Nevado de Toluca | Toluca, Estado de México                                | 7,000        |
| Pico de Orizaba  | Entre los Estados de Puebla y Veracruz                  | 6,500        |
| Popocatepetl     | Entre los Estados de Morelos, Puebla y Estado de México | 5,000        |
| Ceboruco         | En el Estado de Nayarit                                 | 4,500        |
| Volcán de Colima | Entre los Estados de Jalisco y Colima                   | 4,000        |

### Fisiografía de Michoacán

En Michoacán se observa que las crestas de las sierras están dispuestas según alineamientos que siguen un rumbo definido NW a SE y que corresponden a fracturas y fallas bien establecidas por lo que esas líneas determinan el sistema orográfico del Estado. El tectonismo vinculado al choque de la placa oceánica de Cocos con la placa continental Norteamericana representa la causa más importante de los sismos y del vulcanismo. El 92% del territorio michoacano corresponde a la zona sísmica. El vulcanismo ha sido un factor importante en la formación del relieve, los dos últimos volcanes aparecidos en Michoacán, y geológicamente hablando son recientes: El Jorullo, en 1759, y el Parícutin, en 1943.

El Estado se puede dividir en 5 regiones más o menos definidas sobre la base de la estructura y la historia geológica de las zonas. [Correa y Rodríguez, 1972]. Siendo estas:

- a) Las Planicies Costeras del Pacífico (C).
- b) La Sierra Madre del Sur (SMS)
- c) La Depresión del Balsas (DB)

d) El Sistema Volcánico Transversal y Valles Intermontanos (SVT).

e) La Depresión del Lerma o Altiplanicie (AM)

Las Planicies Costeras del Pacífico: Ubicadas entre la SMS y el Océano Pacífico, son una angosta faja que va desde la desembocadura del Río Coahuayana hasta la desembocadura del Río Balsas, límites naturales con Colima y Guerrero, respectivamente. Son llanuras aluviales de escasa extensión en forma discontinua, separadas en donde la SMS penetra al Mar. Cubre una superficie de 700 km<sup>2</sup> aproximadamente, con una amplitud media de 3 km y una altitud de 60 metros.

La Sierra Madre del Sur: Se extiende por unos 200 km con dirección de NW a SE, cubre una superficie de 13,000 km<sup>2</sup> aproximadamente. Atraviesa el Estado a lo largo y cercanamente a la Costa del Océano Pacífico. En esta sierra casi no hay valles intermontanos, las grietas y fallas que presenta ponen de manifiesto el activo tectonismo de la región. Su anchura es de casi 100 km y su altitud promedio de 2000 m.s.n.m.

La Depresión del Balsas: Se extiende de NW a SE con una longitud de 255 km y una anchura media de 30 km entre la SMS y SVT, presenta una altitud media de 500 metros y una superficie de 14,000 km<sup>2</sup>. Se le considera como la continuación de la gran depresión del Golfo de California. Es una región con relieve ondulado y montañoso, que sólo en sus partes bajas presenta depósitos sedimentarios. El declive de la SMS es más angosto que el del SVT.

El Sistema Volcánico Transversal: Formado como consecuencia de una gran actividad volcánica presente hasta nuestros días, se localiza al Norte de la Depresión del Balsas. Alcanza aproximadamente 300 km de largo, en dirección Oeste a Este, y unos 100 km de ancho, posee una superficie de 27,500 km<sup>2</sup>. Sus cimas vienen a ser las más altas de la entidad, encontrándose en él, no menos de 50 volcanes que superan los 2700 m de altitud. Las más altas son las de Tancítaro, Patambán, Nahuatzen, Acuitzio, Comanja, Mil Cumbres, San Andrés, Tlalpujahuá, Cerro Azul y Angangueo. Se presentan también numerosos valles exorreicos y cuencas endorreicas, como las de los principales lagos Michoacanos (Pátzcuaro, Zirahuén y Cuitzeo). Su formación está conectada con la de la Altiplanicie Mexicana, que sufrió en su borde meridional un levantamiento iniciado desde el Cretácico superior y que continuó en el cenozoico medio, convirtiéndola en monoclinial, al mismo tiempo que se formó la Sierra Madre del Sur y la Depresión del Balsas.

La Depresión del Lerma o Altiplanicie: Con intromisiones transversales al Sistema Volcánico Transversal y al norte de este se localiza parte de la Depresión del Río Lerma-Chapala, que constituye una región alta, generalmente plana, inclinada al noroeste y con áreas escalonadas, suavemente onduladas y hasta separadas por algunas eminencias. Presenta una amplitud media de 20 km y cubre una extensión de 4100 km<sup>2</sup>. En varias de sus porciones se situaron lagos actualmente desaparecidos por el relleno de los sedimentos o por el drenado de corrientes fluviales que se establecieron. El río Lerma y algunos de sus afluentes son concordantes con la estructura que determinó sus cauces, y que en la parte Noroeste limita a la entidad. [8]

### 3.5 LOS VOLCANES Y SUS BENEFICIOS

La actividad volcánica -a pesar de sus riesgos- también trae consigo una serie de beneficios dignos de ser considerados: las cenizas que arroja forman un suelo fértil que es utilizado con fines agrícolas -como ocurre en el Bajío, Nayarit, Veracruz, Chiapas y las zonas cercanas a la SVT. Los bancos de materiales formados con su actividad también permiten obtener materias primas utilizadas por la industria de la construcción.

Asimismo, ellos generan fuentes de energía geotérmica que puede ser aprovechada para producir electricidad, como ocurre en Cerro Prieto en Baja California, y los Azufres en Michoacán.

Por último, la actividad volcánica contribuye a la creación de los yacimientos minerales y los manantiales de aguas termales que pueden ser explotados con fines industriales o como atractivos turísticos por los habitantes de las regiones donde se localizan.

#### 3.5.1 PRODUCTOS DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA

El aparato volcánico arroja una amplia variedad de productos, que pueden incluirse en unas cuantas clases generales; esos materiales son gases, líquidos y sólidos.

- En los gases volcánicos, el bióxido de carbono sigue en abundancia al vapor. El azufre, al combinarse con el oxígeno del aire hace letales a parte de los gases. Algunos volcanes emiten cloro y flúor y otros producen boro, el elemento esencial del bórax comercial.
- Los líquidos que fluyen de los volcanes son las lavas candentes que forman vastas cantidades de rocas. Con excepción de las modificaciones sufridas por la pérdida de gases, las lavas son representativas de los magmas originales por lo cual merecen particular atención en un estudio general de rocas volcánicas. Existe una gran diversidad en la composición química, pero en una clasificación general de las lavas se reconocen:
  1. Aquellas con alto contenido de sílice (65 a más de 75%), tales como la riolita
  2. Las de bajo contenido de sílice (50% más o menos) como los basaltos, y
  3. Las que contienen una porción intermedia de sílice (55 a 65%), de las cuales la andesita es un ejemplo típico.

Algunos volcanes producen especialmente alguno de los tres tipos de lava, pero en muchas ha habido cambios radicales en la composición de los materiales eyectados de una erupción a otra.

- Los materiales sólidos arrojados por los volcanes incluyen bloques y partículas más finas desprendidas de las rocas más antiguas, a través de las cuales pasa el conducto volcánico. Los grandes fragmentos angulares de dichas rocas se identifican fácilmente entre los materiales que constituyen un cono volcánico, o entre los que quedan incluidos en las corrientes de lava, pero las partículas finas derivadas de tales rocas antiguas quedan mezcladas confusamente con las que forman la roca líquida arrojada al aire durante las explosiones violentas

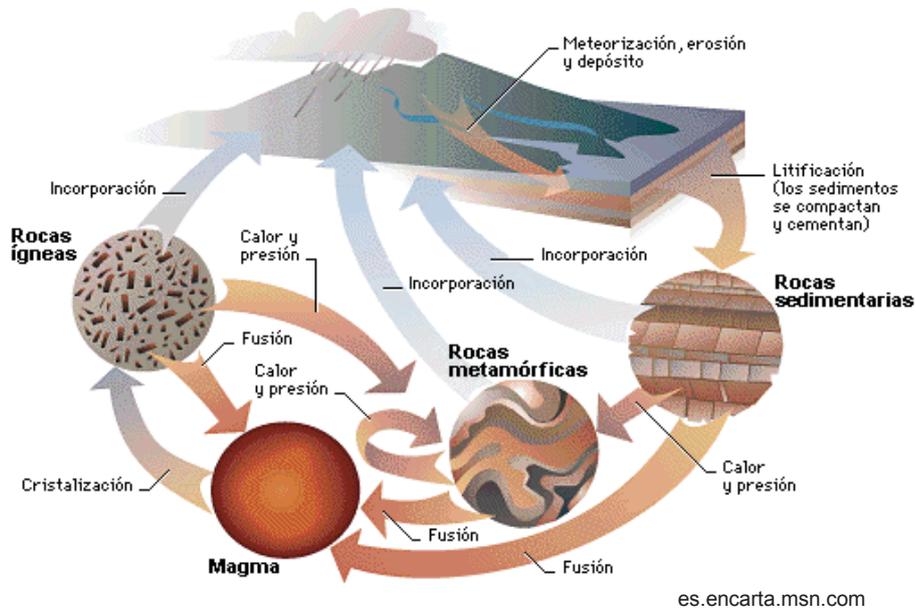
Existe una nomenclatura convencional para las partículas eruptadas por un volcán.

- ✓ Bloques o bombas. Son fragmentos de más de 32 milímetros de diámetro. Se llaman bloques si son angulosos y bombas si son redondeados. Algunos bloques y bombas excepcionalmente grandes llegan a pesar 60 toneladas o más.
- ✓ Escoria o lapilli. Son fragmentos volcánicos comprendidos entre 32 y 4 milímetros de diámetro.
- ✓ Ceniza volcánica. Son fragmentos pequeños de menos de 4 milímetros.

#### 4. CICLO DE LAS ROCAS

En geología se llama roca al material sólido compuesto por un agregado cohesionado de proporciones no definidas de uno o varios minerales.

En el contexto del tiempo geológico las rocas sufren transformaciones debido a distintos procesos. Los agentes geológicos externos producen la meteorización, erosión y sedimentación de las rocas de la superficie.



El ciclo de las rocas ilustra la transformación de cada uno de los tres tipos básicos de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas)

Los materiales que forman la corteza de la Tierra pueden evolucionar, a lo largo del tiempo geológico, de un tipo a otro tipo de roca; pueden incluso completar un ciclo a través de las tres principales categorías de rocas. Por ejemplo, una roca volcánica puede ser intemperizada y sus fragmentos acarreados en forma de sedimentos hasta un sitio en donde se acumulen y sean sepultados. Una vez que los sedimentos se han endurecido o litificado, se puede considerar al material como una roca sedimentaria. Si la roca sedimentaria es sometida a altas presiones y temperaturas, puede sufrir transformaciones minerales y texturales que la conviertan en una roca metamórfica. En ciertas condiciones cuando la temperatura de metamorfismo es alta, la roca puede llegar a fundirse y producir magmas. El ascenso de los magmas y su posterior solidificación completarían el ciclo de las rocas en la corteza. [9]

#### 4.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS

Las rocas se pueden clasificar en tres diferentes grupos los cuales son:

Rocas Ígneas o magmáticas. (La palabra ígnea viene del latín ignis que significa fuego) Originadas a partir de un magma o roca fundida, rica en diversos elementos, éstos se van asociando y cristalizando conforme se va enfriando la masa magmática. Si el enfriamiento se produce en el interior de la tierra, será paulatino, regular y estable, por lo que se originarán cristales bien formados. Según descienda la temperatura, van creciendo unos u otros minerales.

Los primeros en hacerlo, a partir de las elevadísimas temperaturas iniciales y hasta los 1100° C aproximadamente, son los ortomagmáticos, entre los que se encuentran en orden directo los peridotitos, diamantes, circones, apatitos, biotitas, ortosas y cuarzos.

Los restos fundidos que quedan entre los 1100° C y los 600° C, originan los minerales pegmatíticos, penetrando y cristalizando en fisuras y cavidades, formando cristales a veces grandes y bien configurados. Entre estos se pueden mencionar algunos berilos (aguamarina) y turmalinas entre otros.

Entre 600° C y 400° C, se produce la fase llamada pneumatolítica, en la que los gases restantes en contacto con otras materias, se solidifican formando nuevos cristales. Así se forman entre otros, topacios y granates.

Por último, y por debajo de 400° C, se forman los hidrotermales a partir de los líquidos calientes, que en su ascenso hacia la superficie de la tierra rellenan fisuras y pequeñas cavidades quedando atrapados y cristalizando. Se forman así esmeraldas, fluorita, pirita, etc.

#### Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias son rocas que se forman por acumulación de sedimentos que, sometidos a procesos físicos y químicos (diagénesis), resultan en un material de cierta consistencia.

Pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos y mares, y en las desembocaduras de los ríos. Se hallan dispuestas formando capas o estratos.

Cubren más del 75 % de la superficie terrestre, formando una cobertura sedimentaria sobre un zócalo formado por rocas ígneas y, en menor medida, metamórficas. Sin embargo su volumen total es pequeño cuando se comparan sobre todo con las rocas ígneas, que no sólo forman la mayor parte de la corteza, sino la totalidad del manto.

Las rocas sedimentarias se caracterizan por dos rasgos esenciales:

- Presentan una estructura estratificada, con capas producidas por el carácter a la vez progresivo y discontinuo del proceso de sedimentación. Se llaman estratos a esas capas.
- Contienen generalmente fósiles, cuando no están directamente formadas por fósiles. Los procesos magmáticos destruyen los restos de los seres vivos, lo mismo que los procesos metamórficos, salvo los más suaves.

Además las rocas sedimentarias suelen ser más o menos permeables, sobre todo las detríticas, lo que favorece la circulación o depósito de agua subterránea y otros fluidos, como los hidrocarburos.

Pueden clasificarse por su génesis en:

- **Rocas detríticas**, formadas por acumulación de derrubios procedentes de la erosión y depositados por gravedad. Éstas a su vez se clasifican sobre todo por el tamaño de los derrubios, que es el fundamento de la distinción entre conglomerados, areniscas y rocas arcillosas.
- **Rocas organógenas**, las formadas con restos de seres vivos. Las más abundantes se han formado con esqueletos fruto de los procesos de biomineralización; algunas, sin embargo, se han formado por la evolución de las partes orgánicas (de la materia celular), y se llaman propiamente rocas orgánicas.
- **Rocas químicas o rocas de precipitación química**, formadas por depósito de sustancias previamente disueltas o neo formadas por procesos metabólicos; en este último caso se llaman rocas bioquímicas. El mayor volumen corresponde a masas de sales acumuladas por sobresaturación del agua del mar que se llaman evaporitas.

Por su composición se clasifican en:

- **Terrígenas**. Arcilla o limo (lutita), conglomerado (rudita), arenisca (sammita), etc. Sedimentación y diagénesis de partículas de origen continental, sin o con influencia de precipitación de carbonatos marinos (Marga).
- **Carbonatadas**. Creta, caliza, dolomía, etc.
- **Silíceas**. Diatomita, radiolarita, calcedonia, caolín, etc. Sedimentación y diagénesis de partículas orgánicas silíceas; o de meteorización de graníticos cuarzosos.
- **Orgánicas**. Carbón mineral, petróleo, etc. Reducción de sedimentos orgánicos en medios palustres.
- **Evaporitas** Yeso, sal gema y otras sales precipitadas por el agua, en medios lagunares (salitre).
- **Ferro-aluminosas** (limonita, laterita, etc.). De procesos de meteorización de menas férrico-alumínicas
- **Fosfatadas** Fosforitas sedimentarias, turquesa, etc. De sedimentación y transformación del guano, o a partir de la precipitación de geles fosfatados en medios alumínicos.

### **Rocas metamórficas**

Se denomina roca metamórfica a aquella que ha sido formada a partir de otra roca, mediante un proceso llamado metamorfismo. El metamorfismo nunca implica un cambio de estado y se da indistintamente en rocas ígneas como en rocas sedimentarias cuando éstas quedan sometidas a altas presiones (de alrededor de 1500 bars), altas temperaturas (entre 150 y 200 °C) o a un fluido activo (que provoca cambios en la composición de la roca, aportando nuevas sustancias a ésta).

Las rocas metamórficas son clasificadas según sus propiedades físicas. Los factores que definen o clasifican las rocas metamórficas son dos: los minerales que las forman y las texturas que presentan dichas rocas. Las texturas son de dos tipos, foliadas y no foliadas.

- **Textura Foliada:** Algunas de ellas son la pizarra (al romperse se obtienen láminas), el esquistos (se rompe con facilidad) y el gneis (formado por minerales claros y oscuros).
- **Textura no foliada:** Algunas de ellas son el mármol (aspecto cristalino y se obtiene de calizas y dolomías), la cuarcita (es blanca pero puede cambiar por las impurezas), la serpentina (que al transformarse origina el asbesto) y la cancagua.

### Tipos de metamorfismo

Los principales tipos de metamorfismo dependen del carácter de la energía aportada para su puesta en marcha, que puede ser en forma de calor o en forma de presión:

- **Metamorfismo térmico:** Ocurre cuando la transformación de las rocas se debe sólo a las altas temperaturas a las que se ven sometidas. A este tipo también se le denomina metamorfismo de contacto. Se da en circunstancias tales como la intrusión de magma en rocas ya existentes, como plutones, diques o diques concordantes. El mármol es un ejemplo de roca que se forma mediante este proceso.
- **Metamorfismo regional:** Esta es la forma más común de metamorfismo. Cuando ambos factores, presión y temperatura, se dan a la vez, se denomina metamorfismo regional. Estos procesos se dan en mayor medida en grandes profundidades y en regiones de formación de grandes montañas. Un ejemplo de roca que se forma mediante este proceso es el gneis.
- **Metamorfismo dinámico:** Es producido por fuertes presiones dirigidas, como las que se producen en el entorno de deformaciones tectónicas como las fallas. Se llama cataclastitas a las rocas derivadas del dinamometamorfismo. Un ejemplo son las milonitas.
- **Retrometamorfismo:** Se produce cuando rocas formadas en zonas sometidas a altas presiones y temperaturas pasan a condiciones de presión y temperatura bajas. Las serpentinitas son las principales rocas con este origen.

### Minerales metamórficos

Este tipo de minerales son los que se forman sometidos a altas temperaturas asociados a procesos de metamorfismo. Entre los minerales que se forman por este proceso encontramos cianita, estaurolita, silimanita, andalucita y también granates.

Otros minerales, tales como olivino, piroxeno, anfíbol, cuarzo, feldespato y mica, pueden ser identificados como rocas metamórficas, pero que no son necesariamente resultado del metamorfismo. Estos minerales se forman durante la crystalización de rocas ígneas. Estos minerales tienen un punto de fusión muy elevado, por tanto son estables a altas temperaturas y presiones. Durante estos procesos metamórficos, estas rocas pueden ver alterada su composición química. No obstante, todos los minerales son estables a altas temperaturas hasta ciertos límites. La presencia de según que tipo de minerales en las rocas indica la temperatura y presión a la que fue formada

## 5. ROCAS ÍGNEAS

Como ya se mencionó las rocas ígneas o magmáticas son originadas a partir de un magma o roca fundida y dependiendo de la temperatura de enfriamiento será la cantidad y tipo de cristales que se formen. En este capítulo se profundizara más sobre el origen y formación, así como clasificación y ejemplos de su uso.

### 5.1 ORIGEN Y FORMACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS

Las rocas ígneas o magmáticas, tienen su origen en la cristalización del material fundido denominado magma. Este proceso tiene lugar bajo determinadas condiciones de presión y en presencia de una cantidad variable de gases disueltos. Éstos y otros factores controlan el aspecto de los productos resultantes, entre los que se encuentran las rocas ígneas. La cristalización del magma se produce como consecuencia de la pérdida de calor y el consecuente descenso de la temperatura en el seno del mismo.

El magma tiene dos orígenes posibles:

- Puede resultar de la fusión parcial de materiales de la corteza terrestre
- Puede provenir del ascenso y acumulación de una fracción de materia fundida del manto superior

En cada caso la composición química de cada uno de los productos resultantes será muy diferente. El magma puede tener materiales de composición intermedia, pueden resultar del agregado de material fundido proveniente de las rocas que atraviesa durante su camino hacia el exterior. El magma utiliza dos formas fundamentales para ascender:

- Desplazándose por las fracturas abiertas y los poros del material que atraviesa
- Asimilando, es decir fundiendo e incorporando, la roca que atraviesa.

#### 5.1.1 COMPOSICIÓN Y CLASIFICACIÓN QUÍMICA Y MINERALÓGICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS O MAGMÁTICAS

##### Composición mineralógica de las rocas magmáticas

Los minerales predominantes en las rocas magmáticas son, sin duda, los silicatos, aunque también se pueden encontrar minerales arcillosos y minerales no silicatados. Los minerales que se encuentran en las rocas pueden ser de tres tipos:

- Esenciales. Son los minerales que le dan nombre a la roca y forman la mayor parte de ésta. Ejemplos: olvino, piroxena, anfíbol, horbenda, asbesto, micas (biotita, muscovita), feldespatos (ortoclasa, sanidio), plagioclasas (albita, anortita), sílice (cuarzo, calcedonia, ópalo).
- Accesorios. Estos minerales aparecen en menor porción que los esenciales pero también contribuyen a darle nombre a la roca. Ejemplos: circonio, turmalina, granate.

➤ Secundarios. Son los minerales que resultan de la descomposición de los dos anteriores, comúnmente debido a la acción del agua. Ejemplos: clorita, talco, epidota, caolín.

Teniendo en cuenta el contenido de los minerales, entre los componentes esenciales existen el color claro, como el cuarzo y los feldspatos, y los de color oscuro como las micas, los anfíboles, los piroxenos y el olivino

### **Dureza de los minerales**

Un tipo de clasificación muy usual de los minerales es por su dureza, se dá un número entre el 1 y el 10 que es la escala en donde se van clasificando todos los minerales. Esta dureza se define como la resistencia que un mineral opone a ser rayado. Escala de Mohs.

La dureza se utiliza con fines de diagnóstico, aunque no es posible tener una precisión, constancia y uniformidad de datos absoluta desde el momento en que se aprecian variaciones notables en relación a la calidad, forma e inclinación de la punta que opera para poder rayar un mineral, prefiriéndose utilizar los valores de la vieja y empírica, pero siempre usada escala de Mohs.

La escala de Mohs se basa en el principio del mineral más duro que raya al más blando. Los grados son 10 y cada grado superior raya al inferior sin observar, sin embargo, un intervalo regular de dureza, entre un grado y otro.

Los grados son:

|          |             |            |            |              |
|----------|-------------|------------|------------|--------------|
| 1. Talco | 3. Calcita  | 5. Apatito | 7. Cuarzo  | 9. Corindón  |
| 2. Yeso  | 4. Fluorita | 6. Ortosa  | 8. Topacio | 10. Diamante |

Por tanto se dirá que un mineral tiene dureza 5 si como sucede con el apatito raya a la fluorita, pero a su vez la ortosa lo raya a él.

Los dos primeros términos de la escala (talco y yeso) se rayan con la uña, los tres siguientes con una punta de acero, mientras que los otros (del 6 al 10) no se rayan ni siquiera con la punta de acero:

Por esto los minerales se suelen subdividir también en blandos, semiduros y duros.

### **Composición química de los tipos de magma**

Los magmas pueden ser de 3 tipos:

- Básicos. Cuando el magma alcanza temperaturas de 1200°C, dan origen a las rocas ígneas básicas, de color negro
- Intermedio. Cuando el magma alcanza temperaturas de 700°C a 800°C, dan origen a las rocas ígneas intermedias, de color gris
- Ácidos. Cuando el magma alcanza temperaturas de 400°C, dan origen a las rocas ígneas ácidas, de color blanco

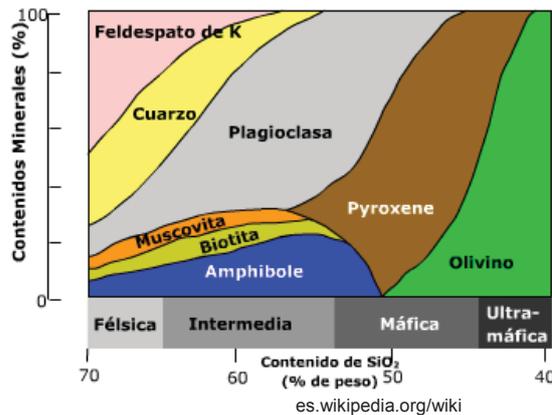
Por lo anterior las rocas ígneas, pueden ser clasificadas, de acuerdo a parámetros químicos, ó mineralógicos:

### Clasificación química

El contenido en sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es un buen indicador para clasificar las rocas magmáticas en:

- *Ácidas*: como el granito y la riolita, con un contenido en sílice superior al 66%.
- *Intermedias*: como la diorita y la andesita, cuyo contenido en sílice oscila entre el 66% y el 52%.
- *Básicas*: como el basalto o el gabro, con un contenido en sílice que oscila entre el 52% y el 45%.
- *Ultra básicas*: como la periotita, con un contenido en sílice inferior al 45%

### Clasificación mineralógica



Las rocas magmáticas están clasificadas sobre la base de su contenido de  $\text{SiO}_2$ . El  $\text{SiO}_2$  contenido en una roca se refleja en su contenido mineral. Las rocas que son ricas en cuarzo, en feldespato y otros son ricas en  $\text{SiO}_2$ .

### Contenidos mineralógicos - félsico versus máfico

- Félsico, roca con predominancia de cuarzo, feldespato alcalino, o feldespatoideos: los minerales félsicos; éstas rocas (ejemplo, granito), son usualmente de colores claros, y tienen baja densidad.
- Máfico, roca con predominancia de minerales máficos, piroxenos, olivinas, y plagioclasas cálcicas; éstas rocas (ejemplo, basalto), son usualmente de colores oscuros, y tienen una mayor densidad que las rocas félsicas.
- Ultramáfico roca, con más de 90% de minerales máficos (ejemplo, dunita).

## 5.2 LAS TEXTURAS ÍGNEAS

La textura de una roca es una de las características microscópica y macroscópica definida por la forma, el tamaño y las relaciones espaciales de los diferentes componentes mineralógicos. La textura refleja la historia de la cristalización del magma hasta llegar a formar la roca ígnea o

magmática. La textura de una roca magmática depende de las propiedades fisicoquímicas del magma, de la presión litostática a que está sometido, de la rapidez del enfriamiento y de su comportamiento estático o dinámico. Para definir de forma adecuada una textura, hay que emplear tres factores: cristalinidad, granularidad y forma de los cristales.

### Cristalinidad.

Es el grado o cantidad de cristales que alcanza el magma durante su enfriamiento, lo que a su vez depende de la velocidad con que se enfrió y su viscosidad. Si se presenta gran cantidad de cristales la roca se enfrió muy lentamente; por el contrario si sólo hay vidrio significa que la roca se enfrió rápidamente.

Por su cristalinidad la textura de las rocas puede ser:



<http://contenidos.educarex.es>

➤ Textura Holohialina: Es cuando la roca están formada en su mayoría (más del 90% de su volumen) de vidrio, lo que por lo general es característico de las rocas extrusivas o volcánicas, ejemplo, una obsidiana o pumita.

➤ Textura Holocristalina: La roca se compone en su mayoría (más del 90% de su volumen) de cristales, lo que suele ser característica de las rocas intrusivas o plutónicas, ejemplo, un granito.



<http://ecologiagera.blogspot.com>



[www.fortunecity.es](http://www.fortunecity.es)

➤ Textura Hipocristalina o hipohialina. Se presenta en rocas compuestas en una cantidad por vidrio y en otra por cristales, y sin que ninguno de estos (vidrios o cristales) supere el noventa por ciento del volumen o cantidad final.

### Granularidad.

Se refiere al tamaño de los cristales que constituyen la roca y pueden ser los siguientes tipos:



<http://ecologiagera.blogspot.com>

➤ Textura afanítica. Los minerales son tan pequeños que no pueden ser distinguidos a simple vista. Es indicativa de un enfriamiento rápido del magma, lo cual ocurre en la superficie terrestre (o muy cerca de ella). Es característica, por lo tanto, de las rocas volcánicas.

- Textura fanerítica. Los minerales, aproximadamente todos del mismo tamaño, son visibles a simple vista. Esta textura nos habla de un enfriamiento lento del magma, lo cual ocurre en zonas profundas. Es propia, por lo tanto, de las rocas plutónicas



<http://ecologiagera.blogspot.com>



<http://ecologiagera.blogspot.com>

- Textura porfírica. Una gran masa de magma localizada a gran profundidad puede necesitar de decenas a miles de años para solidificar. Como no todos los minerales cristalizan a la misma temperatura, es posible que algunos lo hagan, de forma bastante grande, mientras otros siguen aún en estado líquido. Si el magma que contiene algunos minerales grandes sale a la superficie, la porción líquida restante de la lava se enfriará relativamente rápido. La roca resultante tendrá, entonces, grandes cristales (formados en profundidad) incrustados en una matriz de cristales pequeños, no visibles a simple vista. Esta textura, que indica dos velocidades de enfriamiento, se denomina porfírica y es característica de las rocas volcánicas o de rocas plutónicas que se forman muy cerca de la superficie terrestre.

- Textura vítrea. Durante algunas erupciones volcánicas la lava es expulsada hacia la atmósfera donde se enfría tan rápidamente que los iones se "congelan" antes de unirse en una estructura cristalina ordenada. Se forma de esta manera un vidrio natural, y la textura resultante se denomina vítrea.



<http://ecologiagera.blogspot.com>



<http://ecologiagera.blogspot.com>

- Textura vesicular o piroclástica. En muchas rocas con textura afanítica pueden observarse los huecos dejados por las burbujas de gas que escapan conforme solidifica el magma. Esas aberturas se denominan vesículas y son más abundantes en la parte superior de una colada de lava donde el enfriamiento se produce lo bastante de prisa como para "congelar" la lava, conservando las aberturas producidas por el escape de los gases.

### Forma de los cristales

De acuerdo a su grado de cristalización los cristales que se forman en las rocas pueden ser de tres tipos:

- Euhedrales. Cuando los cristales están bien formados.
- Subhedrales. Cuando los cristales están parcialmente formados.
- Anhedrales. Cuando no se forman cristales.

## 5.3 CLASIFICACIÓN DE ROCAS ÍGNEAS

Las rocas ígneas se dividen en dos grandes grupos de acuerdo a su textura, forma y minerales:

- Rocas intrusivas o plutónicas.
- Rocas extrusivas o volcánicas.

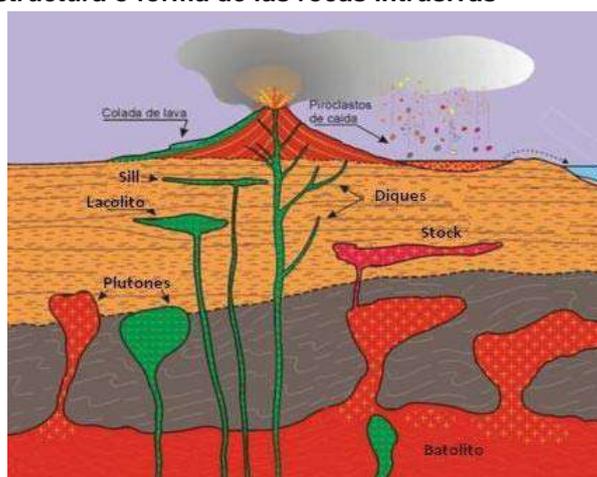
### 5.3.1 ROCAS INTRUSIVAS O PLUTÓNICAS

Las rocas intrusivas tienen como característica el haber cristalizado en las profundidades de la corteza terrestre (desde kilómetros a decenas de kilómetros de profundidad). Como el calor se fue disipando lentamente durante el proceso de cristalización, los cristales individuales pudieron alcanzar gran tamaño (habitualmente varios milímetros y hasta algunos centímetros).

#### Texturas y estructuras de las rocas intrusivas

Las texturas representativas de las rocas intrusivas son aquellas caracterizadas por la presencia de cristales distinguibles a simple vista.

#### Estructura o forma de las rocas intrusivas



www.uclm.es

Todas las masas de roca ígnea que se formaron cuando el magma se solidificó dentro de la corteza terrestre se llaman plutones.

Cuando las rocas tienen una disposición definida en capas, podemos referirnos al magma que las invade diciendo que es concordante si sus límites son paralelos a la estratificación.

Los plutones se clasifican conforme a su tamaño, forma y rocas que los circundan.

- Cuerpos mayores. Los cristales están mejor desarrollados. Se encuentran a mayores profundidades y se conocen como tronco (stocks), batolito y plutón.

**Stocks o troncos.** Es un cuerpo ígneo más o menos circular elíptico, con un área expuesta menor de  $100 \text{ km}^2$ . Sus bordes se profundizan de manera abrupta y su nombre en inglés fue sugerido por la forma aproximadamente cilíndrica similar a la de un tronco de árbol. En realidad, el diámetro de un macizo típico parece crecer hacia abajo, es probable que algunos de ellos sean protuberancias en forma de domo derivadas de masas intrusivas mucho más grandes. Cuando estuvieron en actividad, quizá algunos de ellos aportaron el magma ascendente a los conductos volcánicos.

**Batolitos** (en griego “roca profunda”). Es el más grande de los cuerpos ígneos intrusivos localizado a gran profundidad, generalmente discordante, cuya superficie expuesta sobrepasa los  $100 \text{ km}^2$ . Los batolitos y los macizos constan de rocas graníticas, es decir granito, granodiorita, sienita, etc., en las cuales los principales minerales son feldespato y cuarzo. Las áreas expuestas de estos cuerpos difieren notablemente en tamaño, en parte a causa de que algunos están erosionados a mayor profundidad que otros; muchos batolitos se agrandan hacia abajo y el área de uno clasificado como pequeño podría duplicarse si quedara al descubierto uno o dos kilómetros más de su espesor.

**Plutón o plutonito.** También son llamados cuerpos plutónicos y puede ser cualquier cuerpo ígneo intrusivo, independientemente de su forma

- Cuerpos menores. Los cristales han sido parcialmente desarrollados. Se encuentran a menores profundidades y se conocen como sill (diques y mantos) y lacolito .

**Sills.** Generalmente los diques y los mantos conocidos como sills, están asociados estrechamente, siendo cada uno de ellos una derivación del otro. Ambos varían ampliamente en tamaño; la máxima dimensión de algunos se mide apenas en centímetros, mientras que otros alcanzan decenas de kilómetros. Los cuerpos más grandes de estos tipos están formados por roca oscura relacionada con el basalto.

Un dique es un cuerpo intrusivo tabular que atraviesa las rocas más antiguas. Los diques son rasgos comunes en las áreas en que ha habido actividad ígnea.

Un manto es un cuerpo intrusivo tabular similar a un dique, pero paralelo a las capas que lo encajonan en lugar de atravesarlas.

**Lacolito.** Es un cuerpo ígneo intrusivo sobre el cual las capas de roca invadidas se arquean hacia arriba semejando un domo cuya proyección horizontal puede ser circular o elíptica. El nombre, alusivo a la forma, significa literariamente “roca cisterna”. Las rocas ígneas de los lacolitos varían en composición de diorita a granito; esto es, su contenido de sílice oscila entre medio y alto. Un lacolito puede llegar a tener varios kilómetros de diámetro y varios cientos o aun miles de metros de espesor; algunos, agrupados, constituyen masas montañosas de proporciones apreciables.

### 5.3.2 ROCAS EXTRUSIVAS O VOLCÁNICAS

Las rocas volcánicas o extrusivas, se forman por el enfriamiento rápido y en superficie, o cerca de ella, del magma. se formaron al ascender magma fundido desde las profundidades llenando grietas próximas a la superficie, o al emerger magma a través de los volcanes. El enfriamiento y la solidificación posteriores fueron muy rápidas, dando como resultado la formación de minerales con grano fino o de rocas parecidas al vidrio.

#### Texturas y estructuras de las rocas extrusivas

Algunas características texturales de las rocas volcánicas pueden ser: su tendencia a presentar cristales no distinguibles a simple vista, su asociación a materiales vítreos y la posibilidad de portar fenocristales. Un rasgo distintivo es la presencia de vesículas, es decir, burbujas de gas que han quedado atrapadas al enfriarse bruscamente la lava. La piedra pómez, usada como abrasivo, es una roca con esta textura.

La colada es la estructura más característica de las rocas extrusivas. Tiene forma angosta y larga, es de espesor reducido que puede sin esfuerzo asimilarse a la de un río de lava solidificada. Estas coladas pueden superponerse unas a otras para formar los volcanes. Sin embargo algunos volcanes no están formados por coladas de lava solidificada sino por la acumulación de capas de piroclastos.

Otros resultan de una combinación de ambos materiales, dependiendo éste de las características de los magmas asociados a cada aparato volcánico. Cráteres menores, forman pequeños conos, llamados adventicios, en las laderas de los grandes volcanes.

En muchas ocasiones, la lava no alcanza la superficie y se enfría en profundidad pero muy cerca de ella, dando origen a las denominadas rocas hipabisales, que pueden tomar el aspecto de filones capa y diques.

Los diques, cuando son muy numerosos pueden formar enjambres. Su textura es intermedia entre la de las rocas extrusivas y las intrusivas dependiendo de la velocidad a la que se enfriaron y de la cantidad de gases que retenía el magma al momento de su consolidación. Es común que estos cuerpos hipabisales presenten bordes con textura vítrea como resultado de su brusco enfriamiento, mientras que hacia el interior del cuerpo se desarrollan cristales de mayor tamaño. Las lavas en "almohadillas" son típicas de las erupciones submarinas. El enfriamiento de lavas muy fluidas, capaces de formar pequeñas arrugas al desplazarse, dan lugar a formas "cordadas" de lava que se amontonan unas sobre otras.

Existe una correspondencia mineralógica entre las rocas plutónicas y volcánicas, de forma que la riolita y el granito tienen la misma composición, así como el gabro y el basalto. Sin embargo, la textura y el aspecto de las rocas plutónicas y volcánicas son diferentes.

## 5.4 CARACTERÍSTICAS Y USOS DE ALGUNAS ROCAS



<http://contenidos.educarex.es/>

✓ *Basalto*: es una roca efusiva de grano fino, con pequeñas cavidades de burbujas redondeadas, color gris oscuro, negro gris a azul oscuro. El basalto es compacto y difícilmente se rompe. Mineralógicamente están formados por plagioclasas y piroxenos en algunos casos con cantidades significativas de olivino, son los equivalentes volcánicos de los gabros.

*Usos*: se utiliza como grava de carretera y para el afirmado de las vías de tren, en las construcciones bajo el agua y para realizar pequeños enladrillados. A causa de la finura de su grano no es indicado para adoquinar las calles pues no es abrasivo y por desgaste se pulimenta y por la humedad se hace resbaladizo.

✓ *Pumicita ó pumita* (piedra pómez): su nombre proviene de la palabra latina “espuma”, en realidad presenta una estructura esponjosa y tienen un color que puede ir del blanco grisáceo, hasta el amarillo pálido. En sentido mineralógico la pumicita es considerada como vidrio esponjoso. Se forma por un enfriamiento rápido de una lava rica en gases y tiene una estructura amorfa con porosidad abundante, la masa esta llena de poros de tamaño regular (que habían sido espacios vacíos llenos de gas).



<http://contenidos.educarex.es/>

*Usos*: su empleo como material para pulimentar y en productos de cosmética. En construcción se emplea para fabricar rocas artificiales ligeras (rocas esponjosas). Los trozos de pumicita triturados y mezclados con cemento forman, una vez prensados, piezas adecuadas para la construcción, también suelen utilizarse para la preparación de detergentes y para alisar las asperezas de la piel.

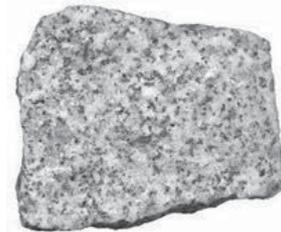


[www.tortunecity.es](http://www.tortunecity.es)

✓ *Riolita*: se forman a partir de erupciones volcánicas como granito y ceniza y son el resultado del enfriamiento de un magma viscoso. Los magmas riolíticos pueden taponar la chimenea del volcán y provocar una sobrepresión por acumulación de gases. Está compuesta en esencia por feldespato y cuarzo. Entre los minerales oscuros contenidos en algunos especímenes, la biotita castaño oscura es la más común.

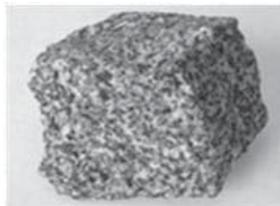
*Usos*: la roca de este tipo es muy apreciada para la construcción como agregados, materiales ornamentales, para acabados, etc.

- ✓ *Granito*: son sin duda, las rocas plutónicas más abundantes y los componentes fundamentales de la corteza continental. En general son rocas ácidas, con más de un 70% de SiO<sub>2</sub>, de textura granuda y con cada uno de sus componentes minerales bien perceptibles a simple vista. Los minerales mayoritarios, todos ellos silicatos, son el cuarzo, los feldespatos (en forma de ortosa o de plagioclasa) y las micas, como la biotita o mica negra y la moscovita.



<http://contenidos.educarex.es/>

*Usos*: se utiliza para adoquines, bordillos y mojones y también para grava (triturado, anguloso). Los granitos coloreados, son buscados para revestimiento de fachadas, embaldosados de suelos o para esculturas.



<http://geologia.110mb.com/>

- ✓ *Granodiorita*: es una roca ácida formada por cuarzo, plagioclasa, ortosa (en menor proporción), biotita y, con frecuencia hornblenda, roca de transición entre el granito y la diorita.

*Usos*: se utiliza en construcción para realizar lápidas y como losas de cementerios.

- ✓ *Andesita*: roca volcánica oscura, de grano fino; es el equivalente extrusivo de la diorita. De composición intermedia entre el basalto y la riolita, la andesita se compone en su mayor parte de feldespato plagioclasa y cantidades menores de biotita o de hornblenda. La roca aparece en torrentes y diques de lava donde, de acuerdo con la teoría de la tectónica

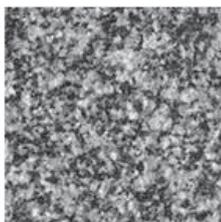


<http://contenidos.educarex.es/>

de placas, las placas de la corteza terrestre chocan unas con otras (en las islas Aleutianas, los Andes, la cordillera de las Cascadas, México, Japón y Siberia). En otras zonas de actividad volcánica, predomina el basalto.

Las andesitas son rocas ácidas, de textura porfídica, generalmente de tonalidades claras y formadas por plagioclasas y minerales máficos, como aguita, hornblenda y biotita. Son los equivalentes volcánicos de la diorita.

*Usos*: Sus usos industriales son similares a los de la ortosa, la amazonita, variedades como gema que se pule como piedra.



<http://www.intromac.com>

- ✓ *Cuarzodiorita*: Mineral compuesto por dióxido de silicio o sílice, distribuido por todo el mundo como componente de rocas o en forma de depósito puro.

*Usos*: Se utiliza con profusión en las fábricas de vidrio y de ladrillo sílico o como cemento y argamasa.

## 5.5 ROCAS IGNIMBRITAS



<http://redescolar.ilce.edu.mx/>

La piedra rosa conocida como piedra de cantera puede ser comúnmente denominada como piedra pómez, toba riolítica o riolita. Pertenece al grupo de las ígneas extrusivas o volcánicas.

El término de tobas riolíticas proviene de su composición mineralógica y de la similitud química que contienen las lavas riolíticas. Estas presentan un alto contenido de cuarzo, y su composición es similar a la del granito. Sílice, óxido de hierro, carbonatos, cuarzo.

Estas rocas son de origen volcánico, y pueden llegar a grados de violencia tal, que dichas cenizas pueden ser arrojadas a distancias del orden de kilómetros, diseminándose en áreas contiguas al aparato volcánico

y ocasionalmente sujeto al capricho del viento.

Una vez depositada esta mezcla de partículas enfriadas puede formar acumulaciones de varios cientos de metros. Su composición varía con factores tales como la topografía del terreno y consistencia de la masa de ceniza. De manera más formal podemos decir que es posible determinar la fuente que ha originado algún depósito, para esto los vulcanólogos hacen estudios de granulometría, es decir características del grano que conforman la ceniza volcánica y fragmentos líticos incluidos en las nubes de partículas que generan tales explosiones.

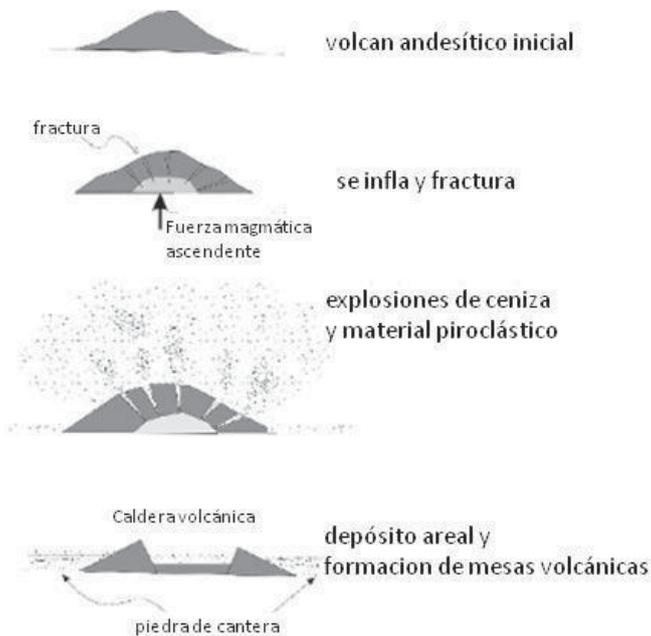
Las ignimbritas presentan una dureza de 4, en la escala de Mohs, con una textura porfídica y una densidad 21.4 gr/cm<sup>3</sup>. Es una roca opaca con una alta porosidad y gran variedad de tonos

El color de las tobas riolíticas al igual que su composición lítica es bastante heterogéneo, esto se debe principalmente a la mineralogía y a la naturaleza de su origen.

### 5.5.1 IGNIMBRITAS DE MORELIA

Una ignimbrita es un cuerpo rocoso constituido principalmente por material piroclástico -fragmentos incandescentes- generados por un tipo de erupción volcánica muy enérgica y violenta que expulsa el material hasta lugares muy lejanos a través del aire y que sucesivamente se depositan en tierra firme consolidándose con formas y estructuras muy heterogéneas.

Si nosotros observamos con atención la definición anterior, podemos notar que emergen dos consideraciones sumamente importantes para entender la génesis de la ignimbrita.



<http://www.umich.mx/univ/publica/contacto/>

La primer consideración se refiere al hecho que los diferentes niveles de ésta hermosa piedra rosada fueron generados invariablemente a partir de un proceso caracterizado por una serie de explosiones volcánicas violentas y no de flujos de lava como se piensa siempre que se habla del vulcanismo.

En base a esta primer consideración se puede suponer que hace aproximadamente 14 millones de años en el Valle de Morelia haya aparecido una gran meseta única que iba de Santa María hasta Tárimbaro. Naturalmente, hoy la

observamos dispersa gracias a toda la dinámica activa que se llevo a través del tiempo a la fecha con la aparición de otros volcanes, otras fallas y los ríos que vemos correr dentro y fuera de la Ciudad.

La diferencia entre un flujo de lava y un evento con explosiones volcánicas se refiere esencialmente al tipo de actividad volcánica o peligro natural de un volcán, dado que las destrucciones volcánicas más importantes en la historia del hombre se deben a erupciones similares a la que suponemos dió origen a la ignimbrita de Morelia y que pueden ser comparadas con eventos históricos como el del Vesubio, Tambura, Krakatoa o el Pinatubo.

Cantera es el nombre que se utiliza coloquialmente para denominar a las piedras de los edificios de la ciudad de Morelia; sin embargo, el nombre en sí indica el lugar de donde se extrae la roca, por lo tanto cabe aclarar que existen canteras de mármol, yeso, granito, basalto, etc.

Con base en el estudio sobre las ignimbritas de la región de Morelia, se han caracterizado tres localidades dentro de dicha formación, cada una característica mecánica diferentes, lo que hace que su uso sea apropiado para fines distintos, así la cantera El Tejocote presenta mejores propiedades físicas y mecánicas que la de Cointzio y Jamaica, teniendo éstas a su vez, variaciones en sus características. Lamentablemente El Tejocote no se explota actualmente.

El color de las ignimbritas varia principalmente a la mineralogía y a la naturaleza de su origen. En el caso particular de las ignimbritas de Morelia, de acuerdo a su mineralogía podemos decir que el contenido de pómez blanca le confiere un color blanco, esto va íntimamente relacionado con la resistencia del material ya que los fragmentos de pómez la alteran haciéndola susceptibles de ser atacada por factores medio-ambientales, por otro lado algunas variedades rosa con menor contenido de pómez son bastante compactas, y una considerable proporción de minerales de hierro y feldespato, lo que es la principal causa de que adquiera su color rosáceo característico. Tiene además mayor abundancia de minerales de cuarzo, lo cual lo hace más resistente, es importante mencionar que en este sentido tiene mucho que ver el grado de soldamiento con que se adhieren entre sí las partículas, por lo tanto de mejor calidad para la construcción de muros, pisos y cimientos.

Otro factor que determina hasta cierto punto la coloración es la temperatura, a la cual los clastos se sueldan entre si al momento de precipitarse y depositarse. La encontramos del color más oscuro al más claro vino rosado a un beige.

El uso de la piedra de cantera fue muy amplio en el México Prehispánico, un claro ejemplo se puede observar en los monolitos procedentes de Tiristán, localidad ubicada en el noroeste del cerro de Quinceo, además de un par de almenas y una piedra cosmogónica, que se encuentra en exhibición en la Sección de Arqueología del Museo del Estado de Michoacán.

El empleo en la construcción de estas rocas, como ya se mencionó anteriormente, es su dureza, ya que ésta va a determinar el uso que se le puede dar, por ejemplo, las características mecánicas que presentan las rocas, indicarán los parámetros específicos para el uso estructural o bien ornamental. Para el caso de las canteras de Morelia, las variedades grisáceas presentan características físicas más modestas que el resto, estas provienen generalmente de la cantera de Jamaica, esto se observa en su mayor facilidad para esculpirlas, cosa contraria sucede con la variedad rosa púrpura y amarilla bandeada, que han sido empleado en el mayor de los casos como elementos estructurales, muros de carga, columnas, capiteles, cornisas; así como elementos que se encuentran a la intemperie como gárgolas, pisos, balcones, etc. Para construir cimientos, artículos de tipo ornamental (columnas, fuentes, adoquines, esculturas, etc.) principalmente de tipo residencial.

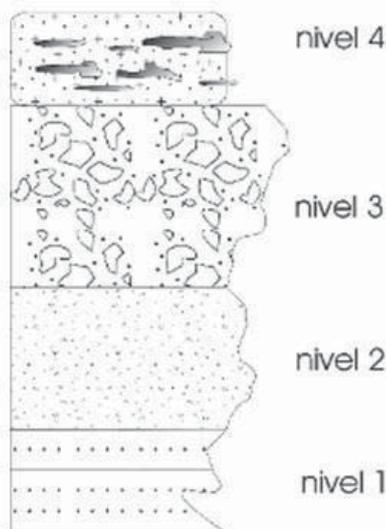
El uso de ciertas rocas va a depender de la abundancia de las mismas, los yacimientos de tobas riolíticas no están restringidos en la región de Morelia, sí que son muy abundantes, sobre todo en las zonas que tienen como característica la actividad volcánica y más aún en el Estado de Michoacán que forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano.

## DIFERENTES VARIEDADES DE LA IGNIMBRITA

Cuando un edificio volcánico andesítico presenta una gran explosión, es altamente factible que se autodestruya la parte superior del cono volcánico; esto significa que se llevará a cabo una mezcla eólica de material incandescente con materiales sólidos previamente formados, los cuales se desprenden al aire como si fuera un aerosol gigantesco y sucesivamente caerán gradualmente a la superficie del valle (en este caso fue el Valle de Morelia) dando como resultado una serie de estratos o capas con una mezcla de materiales altamente variable. A este factor se puede agregar que estos depósitos tenderán a ser consolidados -o litificados- de acuerdo a su temperatura y su composición primaria iniciales.

Intentando ser prácticos, en modo genérico podríamos hablar de los siguientes niveles para la Ignimbrita de Morelia

Columna Estratigráfica de la Ignimbrita de Morelia



<http://www.umich.mx/univ/publica/contacto/>

1. Niveles con productos piroclásticos de varios colores, constituidos de fragmentos de pómez y vidrio volcánico. Es un material incoherente.

2. Cantera rosa muy poco consolidada en su pasta, con pómez blanca y fragmentos de rocas volcánicas andesíticas, estas últimas son angulares o redondeadas y de varios colores. Es un material muy suave.

3. Cantera rosa muy semejante a la anterior pero más soldada (dura) que la anterior, se observan grandes fracturas. Es compacto.

4. Nivel de cantera con abundante material vítreo de color rojo vino o rosa. Este nivel es el que gobierna la morfología de la mesa de Santa María y de la Loma de Morelia. Es extremadamente duro.

Las variaciones de la Ignimbrita se deben a una composición inicial aleatoria en el momento de la explosión volcánica, al nivel de transporte aéreo que se haya presentado y al proceso de solidificación que se llevó a cabo en cada localidad que podemos hoy observar al Sur, al Norte y al Occidente de la Ciudad de Morelia.

### ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA PIEDRA DE CANTERA

En la siguiente tabla obtenida del libro “La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arquitectura”, Vol. II, se mencionan los resultados de propiedades físicas y mecánicas de ignimbritas de tres bancos de roca sana aledaños a la ciudad de Morelia, contra los valores sugeridos por el Actual Reglamento de Construcciones para el Estado de Michoacán (RCEMich)

| Solicitud  | RCE Mich  | Cointzio | Jamaica | Tejocote | Cultura | Capuchinas | San Nicolás | Catedral |
|--|-----------|----------|---------|----------|---------|------------|-------------|----------|
| Da, gr/cm <sup>3</sup><br>ASTM C99               | 1.50 mín. | 1.56     | 1.49    | 1.63     | 1.921   | 1.957      | 1.854       | 1.651    |
| % Abs. Agua<br>ASTM C97                          | 4% máx    | 25.55    | 22.25   | 16.63    | 12.7    | 9.505      | 15.468      | 24.679   |
| G <sub>E</sub> ASTM<br>C97                       | 2.3 mín.  | 1.44     | 1.44    | 1.60     | 1.74    | 1.854      | 1.638       | 1.369    |
| M <sub>R</sub> ,Kg/cm <sup>2</sup><br>ASTM C97   | ---       | 25.04    | 42.15   | 51.63    | ---     | ---        | ---         | ---      |
| f <sub>c</sub> , Kg/cm <sup>2</sup><br>ASTM C170 | 100 mín.  | 47.03    | 61.51   | 73.86    | 300     | 320        | 350         | 280      |
| % Des. Mecánico,<br>Los Ángeles,<br>ASTM C241    | 30 % máx. | 41.00    | 43.00   | 18.00    | ---     | ---        | ---         | ---      |
| Intemperismo<br>Acelerado, %                     | 10 % máx. | 30.00    | 35.00   | 13.00    | ---     | ---        | ---         | ---      |

\*\* Valores obtenidos con el esclerómetro o Martillo de Schmidt, en el caso de resistencia mecánica.

--- Cuantificaciones no realizadas por falta de material para labrado de especímenes para realizar pruebas destructivas, y en el caso de monumentos sólo se realizaron pruebas no destructivas in situ con el Martillo de Schmidt o esclerómetro. [10]

## 6. ATAQUE (Efecto meteórico)

### METERORIZACIÓN

La meteorización es la desintegración y descomposición de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos.

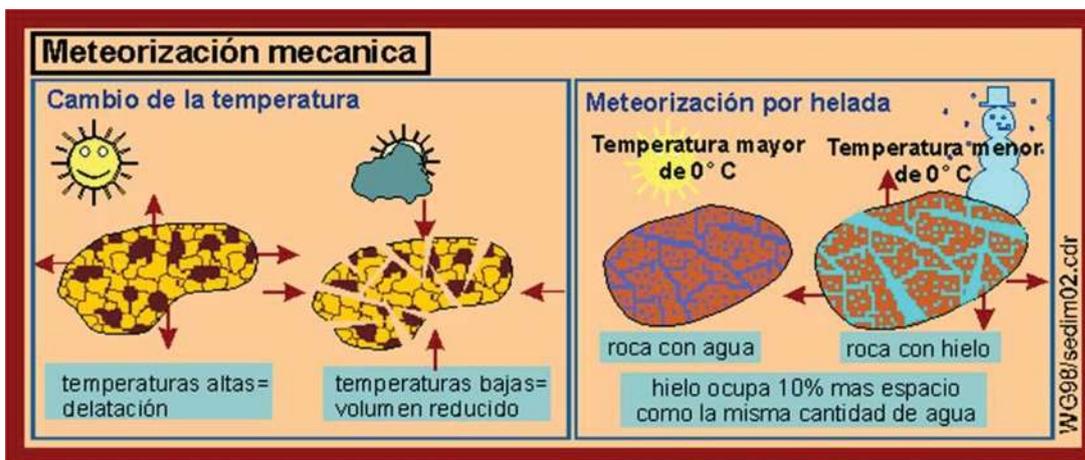
#### 6.1 TIPOS DE METEORIZACIÓN:

Generalmente se conoce tres tipos de meteorización. La meteorización mecánica, meteorización química y la meteorización biológica-orgánica. Cada tipo de la meteorización tiene sus subtipos los cuales dependen de los factores físicos, químicos o biológicos.

##### ➤ METEORIZACIÓN MECÁNICA O FÍSICA

La meteorización mecánica depende de la fuerzas que pueden destruir las rocas en una forma mecánica. Las más importantes serían:

- a) Cambio de la temperatura
- b) Meteorización por helada
- c) Meteorización salina o haloclastia



<http://www.geovirtual.cl>



<http://www.geovirtual.cl>

#### Cambio de la temperatura

Dependiendo de los coeficientes de dilatación y absorción de los minerales por la acción de los rayos del sol, se producen al calentarse unas diferencias de tensión en su estructura. Por ejemplo, los materiales oscuros absorben más calor que los claros y están expuestos a una mayor actividad física, especialmente en las regiones desérticas y de alta montaña, en donde las altas

variaciones de temperatura día/noche imprimen a las rocas fuertes contracciones y dilataciones, que culminarán a la larga con la generación de fisuras y su fragmentación.

#### **Meteorización por helada.**

El agua en estado líquido tiene influencia en la meteorización mecánica de las rocas, sin embargo transformada en hielo en su interior puede acortar en gran medida este proceso. En el periodo de unas pocas horas el hielo puede abrir fisuras en las rocas superficiales y exponerlas a una acción acelerada de otros agentes.



<http://www.redes-cepalcala.org>

Cuando las rocas asoman a las capas más superficiales de la corteza terrestre, presentan unas grietas o fisuras (en bloques o placas) llamadas diaclasas, resultado de la acción expansiva que manifiestan al reducirse la compresión a que están sometidas en el interior de la corteza. Cuando el agua de lluvia o procedente de los deshielos penetra en el interior de estas grietas, queda sometida a otro efecto expansivo cuando la temperatura desciende por debajo de los cero grados. Cuando se forma hielo el volumen inicial del agua aumenta hasta un 10%, éste ejerce presiones en el interior de la grieta que superan los 2,000 kg/cm<sup>2</sup>. El resultado es la llamada gelivación o gelifracción, consistente en la descamación de la roca que tras la rotura culmina con la fragmentación; si la roca es muy porosa como para que el agua pueda empapar bien, entonces su disgregación puede llegar a tener consistencia granular.



<http://www.atlasdemurcia.com>

#### **Meteorización salina o haloclastia.**

Las sales propician la mayor parte de la meteorización. La haloclastia, término general que cubre procesos tanto físicos como mecánicos, afecta no sólo a las rocas, sino también a edificios y otras estructuras en ambientes desérticos y semiáridos. Provoca la desintegración de los cimientos y su posterior derrumbamiento.

La haloclastia provoca la desintegración de la roca, en gran medida gracias a la fuerza expansiva de las sales depositadas en las grietas de la roca. Tres son los principales mecanismos que originan esta expansión: la cristalización de las sales, la hidratación y la dilatación. La cristalización de las sales se produce con más facilidad cuando el nivel de evaporación del agua salina es elevado y cuando la humedad relativa de la atmósfera es baja. La expansión, consecuencia de la hidratación, se produce porque la sal absorbe, de forma esporádica, agua. La presión resultante sobre la roca dependerá del tipo de sal de que se trate y de las condiciones ambientales, que pueden determinar el nivel de hidratación.

### ➤ METEORIZACIÓN QUÍMICA



<http://ingenieracivil.blogspot.com>

La meteorización química es el conjunto de los procesos llevados a cabo por medio del agua o por los agentes gaseosos de la atmósfera como el oxígeno y el dióxido de carbono.

Las rocas se disgregan más fácilmente gracias a este tipo de meteorización, ya que los granos de minerales pierden adherencia y se disuelven o desprenden mejor ante la acción de los agentes físicos.

#### **Tipos de meteorización química.**

**Disolución.** Consiste en la incorporación de las moléculas de un cuerpo sólido a un disolvente como es el agua. Mediante este sistema se disuelven muchas rocas sedimentarias compuestas por las sales que quedaron al evaporarse el agua que las contenía en solución.

**Hidratación.** Es el proceso por el cual el agua se combina químicamente con un compuesto. Cuando las moléculas de agua se introducen a través de las redes cristalinas de las rocas se produce una presión que causa un aumento de volumen, que en algunos casos puede llegar al 50%. Cuando estos materiales transformados se secan se produce el efecto contrario, se genera una contracción y se resquebrajan.

**Oxidación.** La oxidación se produce por la acción del oxígeno, generalmente cuando es liberado en el agua. En la oxidación existe una reducción simultánea, ya que la sustancia oxidante se reduce al adueñarse de los electrones que pierde la que se oxida. Los sustratos rocosos de tonalidades rojizas, ocre o parduzcas, tan abundantes, se producen por la oxidación del hierro contenido en las rocas.

**Hidrólisis.** Es la descomposición química de una sustancia por el agua, que a su vez también se descompone. En este proceso el agua se transforma en iones que pueden reaccionar con determinados minerales, a los cuales rompen sus redes cristalinas. Este es el proceso que ha originado la mayoría de materiales arcillosos que conocemos.

**Carbonatación.** Consiste en la capacidad del dióxido de carbono para actuar por sí mismo, o para disolverse en el agua y formar ácido carbónico en pequeñas cantidades. El agua carbonatada reacciona con rocas cuyos minerales predominantes sean calcio, magnesio, sodio o potasio, dando lugar a los carbonatos y bicarbonatos.

### ➤ METEORIZACIÓN ORGÁNICA-BIOLÓGICA



<http://ciencia terrestres.lacoctelera.net/>

Algunos seres vivos contribuyen a transformar las rocas. Así, las raíces de las plantas se introducen entre las grietas actuando de cuñas. Al mismo tiempo segregan sustancias que alteran químicamente las rocas, produciendo decoloración por la acción de los ácidos (carbónico y de otros tipos). También algunos animales, como las lombrices de tierra, las hormigas, los topes, etc., favorecen la alteración in situ de las rocas en la superficie. A ese tipo de alteración, a veces química, que realizan los seres vivos la llamamos meteorización externa.

#### 6.1.1 DIFERENCIACIÓN Y COMPLEMENTARIEDAD ENTRE LA METEORIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA.

La meteorización no sólo afecta a la superficie sino también a cierta profundidad, donde ocurre la mayor parte de los procesos de meteorización por oxidación e hidratación.

Aunque la meteorización física y química actúan por separado, ambos procesos se combinan para llevar a cabo la meteorización de los materiales terrestres.

En la meteorización física o mecánica cuyo proceso de degradación consiste en la fragmentación gradual del material en partículas pequeñas sin experimentar la alteración química, puede ocurrir por rompimiento o degradación, y por disgregación granular.

La meteorización química aunque es más lenta que la física, es de gran importancia en cuanto a la alteración del material para sus transformaciones y modificaciones que experimentan los componentes minerales.

En lo que se refiere a la meteorización químico-biológica, son las plantas las quienes al descomponerse suministran muchos ácidos orgánicos (ácido húmico) que al mezclarse con diversas bases del suelo vegetal, como la cal, magnesio, potasio, óxido de hierro, etc., actúan en el proceso de meteorización biológica.

#### 6.2 PROCESOS DE METEORIZACIÓN EN LOS MATERIALES PÉTREOS

La meteorización es la destrucción o el deterioro de rocas solidas a causa de fuerzas químicas, físicas o biológicas. Los distintos tipos de meteorización o deterioro que pueden darse en las piedras se manifiestan físicamente como variaciones de color, disgregaciones, falta de cohesión y perdida de resistencia entre otros fenómenos.

Entre los procesos de alterabilidad que se desarrollan en edificios y monumentos históricos se pueden distinguir dos tipos fundamentales:

1. Naturales, que se caracterizan por los mismos mecanismos y productos de alteración ya establecidos en diferentes tipos de yacimientos de rocas y
2. Artificiales, los cuales están relacionados con el ambiente específico urbano que conducen a la transformación de los materiales pétreos naturales

En otras palabras, los edificios y monumentos construidos con diferentes materiales pétreos sufren procesos de alteración que son, en gran medida, similares a los observados en las rocas naturales. Además, en cada caso, se añaden procesos específicos derivados de los ambientes urbanos o industriales contaminados.

### 6.2.1 PROCESOS DE ALTERABILIDAD MÁS SIGNIFICATIVOS EN MONUMENTOS HISTÓRICOS

Las piedras de los edificios y monumentos históricos se ven sometidas a la acción de agentes físicos químicos y biológicos durante largos periodos de tiempo. El deterioro físico implica la fractura de la roca en pedazos pequeños, sin que existan cambios apreciables dentro de las propiedades químicas y mineralógicas.

Los procesos de meteorización son en último término consecuencia de que los minerales se encuentren en condiciones ambientales diferentes a las de su formación. Por ejemplo, las rocas ígneas que se meteorizan más fácilmente son las formadas a más alta temperatura.

Las acciones químicas se ven favorecidas con la temperatura y con la humedad; por eso se dan en climas ecuatoriales y tropicales, y en segundo término en el clima templado - húmedo.

Las acciones mecánicas son máximas en climas secos y de temperaturas extremadas y cambiantes (desiertos y polos).

### 6.3 FORMAS DE DETERIORO

Engloban todas las modificaciones de color, textura, aspecto y composición mineralógica causadas por factores de alteración. La mayoría de las patologías se produce en la superficie de la piedra y contribuye a la penetración de agentes corrosivos. [11 y 12]

#### **Pátinas**

Son películas delgadas superficiales formadas por diversas causas:

- Envejecimiento: por el propio paso del tiempo y exposición a la intemperie.
- Decoloración: varía la tonalidad natural de la piedra, es la llamada "noble pátina".
- Cromática: son las policromías, muy de moda en la Edad Media.
- Biogénica: la superficie de la roca está recubierta por organismos.
- Suciedad: ennegrecimiento causado por contaminación ambiental.
- Históricas: antiguamente se utilizaban pátinas tradicionales, compuestas por leche y sangre, para uniformar el color de la piedra y para cementar la superficie rocosa. [11]

### **Fisuras**

Definimos una fisura como una discontinuidad en la superficie de la roca sin que esta discontinuidad implique una separación cuantitativa de ambas partes.

Todos los materiales de construcción presentan fracturas de dimensión variable. El origen de su formación puede deberse a esfuerzos mecánicos, a la corrosión de elementos mecánicos o que ya estuvieran presentes en la roca de partida

### **Fracturación**

Fractura es un discontinuidad en la superficie de una roca donde se evidencia una separación cuantitativa de ambas partes

### **Fragmentación**

Se dice que un elemento o roca esta fragmentada cuando existe una separación total de porciones de su volumen.

Las fisuras, fracturas y fragmentación están originadas por agentes que imprimen una fuerza o presión sobre la superficie de la roca mayor a sus características de flexión, tracción o compresión naturales.

### **Eflorescencias**

Son manchas blancas producidas por la precipitación de sales solubles al migrar y evaporarse el agua en la superficie de rocas porosas. La procedencia de las sales es muy diversa; la fuente puede estar en el suelo, en aguas subterráneas, excrementos de aves, antiguos tratamientos, en morteros utilizados o proceder de la roca original.

Las sales más comunes en las rocas de los monumentos son los sulfatos, cloruros, carbonatos y nitratos. Si la formación de estas sales tiene lugar bajo la superficie de la piedra reciben el nombre de subeflorescencias, y si se forman en el interior criptoflorescencias. Su efecto destructor es función de:

- Tipo de sal formada y lugar de cristalización de la misma.
- Condiciones ambientales, la humedad y temperatura controlan los procesos de evaporación, disolución y precipitación.

### **Costras**

Son láminas de material endurecido resultado de la transformación superficial del sustrato pétreo. Estas costras se desarrollan en capas, presentando una morfología, dureza y color determinados y su naturaleza físico-química nada tiene que ver con la del sustrato.

### Placas

Por variación en la humedad y temperatura o por la acción mecánica de hielo y sales, pueden producirse fenómenos de exfoliación paralelos a la superficie de la piedra, originándose descamaciones cuando el espesor es milimétrico, y desplazados cuando es centimétrico.

### Arenización

La arenización es la perdida de adherencia de los granos que constituyen una roca desprendiéndose de forma espontánea o con ayuda mecánica. La arenización está asociada a ciclos de cristalización de sales del tipo cloruro.

### Alveolización

La alveolización es la formación de pequeñas cavidades de forma ovoidea en la superficie de la roca. La alveolización esta asociada a fenómenos de cristalización de sales coayudado por la acción erosiva del viento.

### Escamación

Se entiende como escamación al desprendimiento de finas capas superficiales de forma más o menos ordenada. La escamación está motivada por el asentamiento de fuertes colonias biológicas como algas, líquenes o bacterias en la superficie de la roca. También pueden formarse por el asentamiento de grandes costras negras en la superficie de la roca.

### Otros

Aquí se incluyen excrementos de animales como guano o palomina, materiales de naturaleza diversa poco cohesionados y de fácil limpieza, acanaladuras, picaduras, excoriaciones, desconchaduras, moteados, zonas de lavado, etc.

## 6.4 ALTERABILIDAD DETECTADA EN EL EDIFICIO EN ESTUDIO (MUSEO REGIONAL MICHOACANO, MORELIA, MÉXICO)



### Pátina de óxido de hierro

Se aprecia pátina de oxido de hierro en el parte baja de la losa de la cubierta y entrepiso.

### Eflorescencias

Existe una fuerte presencia de humedad. En las columnas del patio central a una altura aproximada de 2 metros se puede ver



claramente la salinidad. Aunque también en los marcos de las puertas en la parte inferior.

Se puede suponer que tal vez la eflorescencia en las columnas sea por un posible microclima que se genera en el patio principal; y en los marcos de las puertas por capilaridad del subsuelo.



### Colonización por animales

La presencia de palomas en el inmueble han producido la disgregación y pérdida de elementos de piedra de cantera de las cornisas en donde suelen anidar, ya que la acidez característica de sus deyecciones, destruyen no sólo el mortero de las juntas tanto de las cornisas como de las marquesinas en donde se depositan,

sino también la cal propia de los elementos de cantería, disgregando la piedra produciendo incluso su fractura en algunos sitios.



### Picaduras

En las columnas del patio central además de la eflorescencia se pueden observar picaduras

### Exfoliación

El mural del segundo patio presenta una serie de alteraciones que permiten diagnosticar su estado de conservación como malo. El daño se puede presumir tanto por eflorescencias como exfoliación así como por la humedad capilar del subsuelo

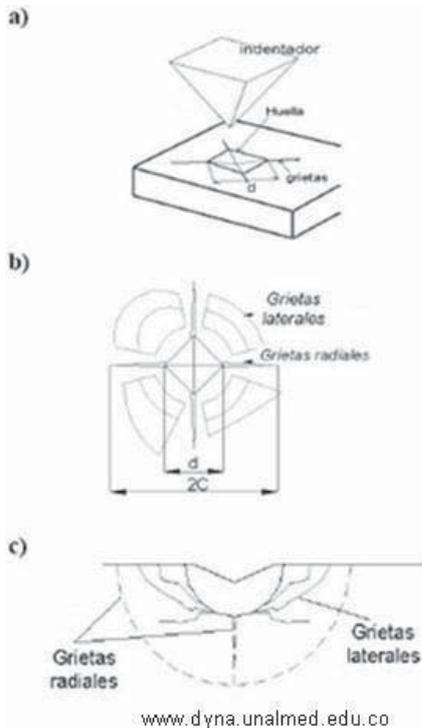


### Fracturación

En el segundo nivel se puede apreciar una fractura, la cual se puede suponer que es debida a que con los diferentes usos que se les han dado al edificio, se eliminó un elemento vertical en la parte inferior que es justo donde descansaba el muro que ahora presenta la fractura.

## 7. EQUIPO (ESCLERÓMETRO O MARTILLO SCHMIDT)

La dureza es un concepto del comportamiento de un material antes que una propiedad fundamental. Como tal, la medida cuantitativa de la dureza depende del tipo de ensayo; para rocas y minerales los más usados son: ensayos de indentación, ensayos dinámicos o de rebote y ensayos de raya.



**Ensayo de indentación.** Consiste en presionar un indentador sobre la superficie dejando una impresión sobre el material como se muestra en la figura. Dependiendo de la carga máxima aplicada y de la geometría de la huella dejada se puede obtener el valor de la dureza que no es más que la presión de contacto media durante la carga máxima, esto equivale a definirla como la resistencia de un material a ser deformado permanentemente. Hoy en día uno de los indentadores más utilizados es el tipo Vickers.

**Ensayos dinámicos o de rebote.** Se basa en la reacción elástica del material cuando dejamos caer sobre él un material más duro.

Si el material es blando absorbe la energía del choque, si el material es duro produce un rebote cuya altura se mide.

La práctica se realiza en un ESCLERÓMETRO o MARTILLO SCHMIDT, el cual determina la dureza de rebote del material ensayado y que consiste esencialmente de un embolo, un resorte de una determinada rigidez y un pistón. El embolo se presiona hacia el interior del martillo al ejercer un empuje contra un espécimen de roca. La energía se almacena en el resorte el cual libera automáticamente a un nivel determinado e impacta el pistón contra el embolo. La altura de rebote del pistón se lee sobre una escala y se toma como la medida de la dureza. El equipo es portátil y puede utilizarse tanto en el laboratorio como en el campo.

**Ensayos de raya.** Se basa en que un cuerpo es rayado por otro más duro. Esta es la escala de Mohs que ya se mencionó en el capítulo de rocas ígneas.

En el presente trabajo se utilizó el ensayo de rebote para determinar la resistencia de los bloques de ígnimbritas de nuestro inmueble en estudio.

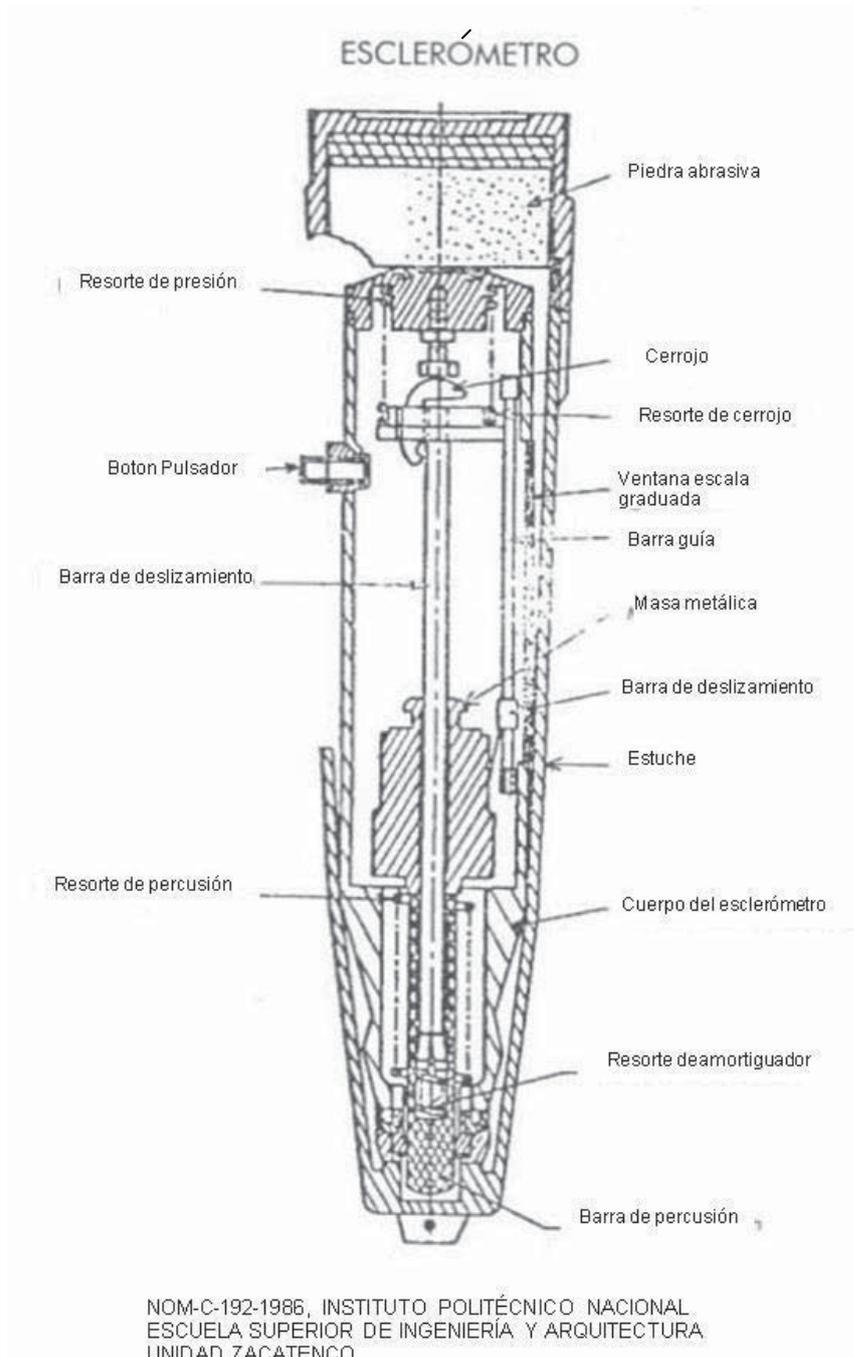
Este ensayo se considera como una prueba no destructiva, ya que no afecta el comportamiento estructural del elemento que se está investigando.

En lo sucesivo se hará referencia al ensayo como si se tratara de concreto, ya que el esclerómetro es comúnmente utilizado para determinar la resistencia de este material.

### **DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

En 1950 Ernst Schmidt, Ingeniero suizo, diseñó el primer esclerómetro para la medición no destructiva del hormigón. Patentado con el nombre SCHMIDT, su valor de rebote "R" permite medir la dureza de este material. Schmidt se ha convertido en el procedimiento más utilizado, a nivel mundial, para el control no destructivo en hormigón.

Consiste de una barra de acero (émbolo), la cual recibe el impacto de una pieza de acero impulsada por un resorte. Este impacto se transmite a la superficie del concreto y debido a la resistencia de éste, la pieza rebotada y su desplazamiento máximo es registrado en una escala lineal fija al cuerpo del instrumento.



### APLICACIONES DEL EQUIPO

Las aplicaciones del esclerómetro son, primordialmente:

- Determinar la uniformidad de la calidad del hormigón de un elemento o zona estructural.
- Comparar la calidad de un hormigón determinado con otro de referencia.
- Estimar, aproximadamente, la resistencia a compresión de un hormigón endurecido.

Las dos primeras aplicaciones están especialmente indicadas en la industria del hormigón prefabricado (identificación de zonas o productos de calidad deficiente). La precisión correspondiente a la tercera aplicación es pequeña.

Existen múltiples factores que afectan a los resultados de un ensayo esclerométrico, entre los que podemos citar:

- Tipo y dosificación del cemento y del árido grueso.
- Masa efectiva y grado de compactación del hormigón ensayado.
- Textura superficial
- Tamaño y forma del elemento ensayado
- Grado de humedad interna y superficial del hormigón.
- Edad y condiciones de curado.
- Carbonatación superficial.
- Estado tensional del elemento ensayado.
- Temperatura del hormigón y del esclerómetro.
- Tipo de tarado del aparato y periodicidad del mismo.
- Número de lecturas individuales tomadas en cada punto o zona investigada.
- Distancia entre puntos de medida ya zonas con armaduras o discontinuidades.
- Posición del aparato en el ensayo.
- Posición de la zona ensayada en el elemento estructural.

### PROCEDIMIENTO DEL ENSAYE

La Norma Oficial Mexicana NOM-C-192-1986 (Normas Oficial Mexicana Industria de la Construcción – Concreto Determinación del Índice de Rebote utilizando el dispositivo conocido como Esclerómetro) establece el procedimiento para la determinación del índice de rebote en el concreto endurecido mediante el empleo de un dispositivo de acero impulsado por un resorte, (esclerómetro o martillo de rebote). Entre otros aspectos indica que la superficie de prueba debe ser pulida con piedra abrasiva hasta dejarla lisa, pero en nuestro caso por tratarse de un edificio histórico y elementos de ígnimbritas, sólo se tomaron lecturas en bloques de cantera expuesta y que no presentaran daño aparente.

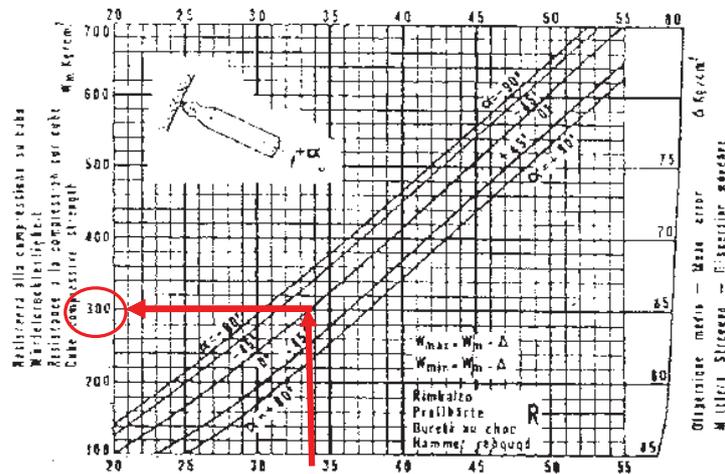
Aunque el esclerómetro se puede utilizar en cualquier posición, es decir con cualquier ángulo de inclinación, únicamente se realizó de forma horizontal ( $0^\circ$ ), ya que no hubo necesidad de hacerlo de otra forma.

El instrumento se sostiene firmemente en una posición que permita al émbolo golpear perpendicularmente sobre la superficie a probar. Se aumenta lentamente la presión del émbolo hasta que el dispositivo golpee. Después del impacto se registra el índice de rebote con 2 cifras significativas, se puede presionar el seguro para que quede registrada la lectura o bien tomarla antes de que el émbolo se regrese.

Se debe tomar 10 lecturas para cada superficie de prueba. La separación mínima entre dos impactos debe ser de 25 mm. Se examinan las impresiones hechas por los impactos sobre la superficie; las que presentan estrellamiento por causa de oquedades superficiales se deben descartar y repetir el impacto.

### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se toma un promedio de las lecturas y con este valor se entra a la grafica impresa en el esclerómetro, desde el eje de abscisas hasta alcanzar el valor del ángulo de inclinación con que se tomó la lectura. A partir de este punto, se traza una línea horizontal hasta cortar el eje de ordenadas, obteniendo de esta forma el valor de la resistencia a compresión simple de la roca.

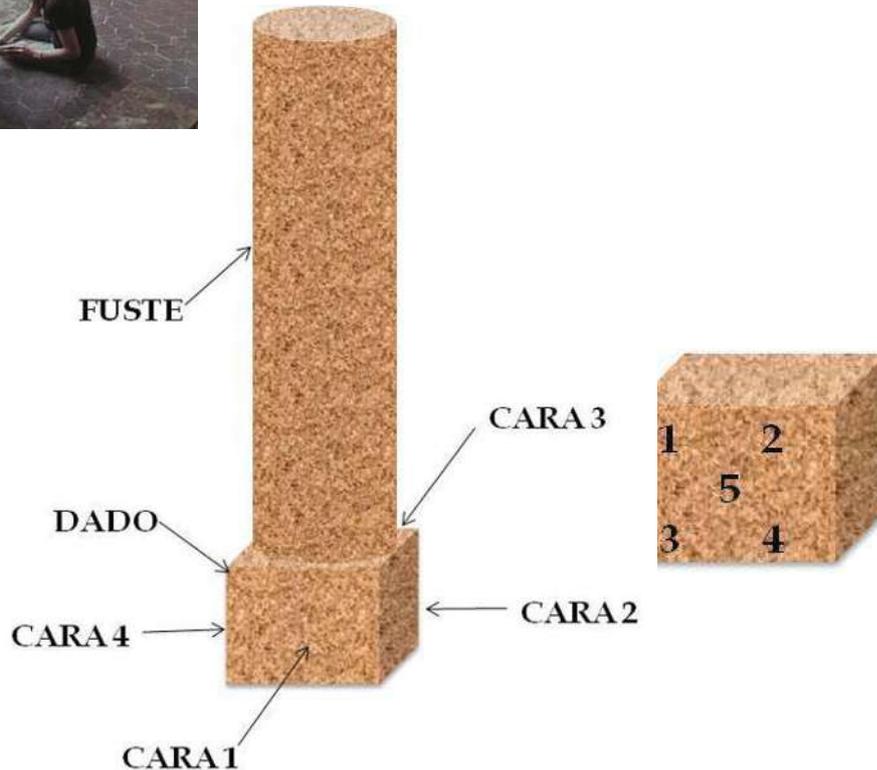


## 8. PRUEBAS Y RESULTADOS.

Se tomaron lecturas con el Esclerómetro en elementos verticales, tales como columnas, arcos, marcos de puertas y ventanas y muros.



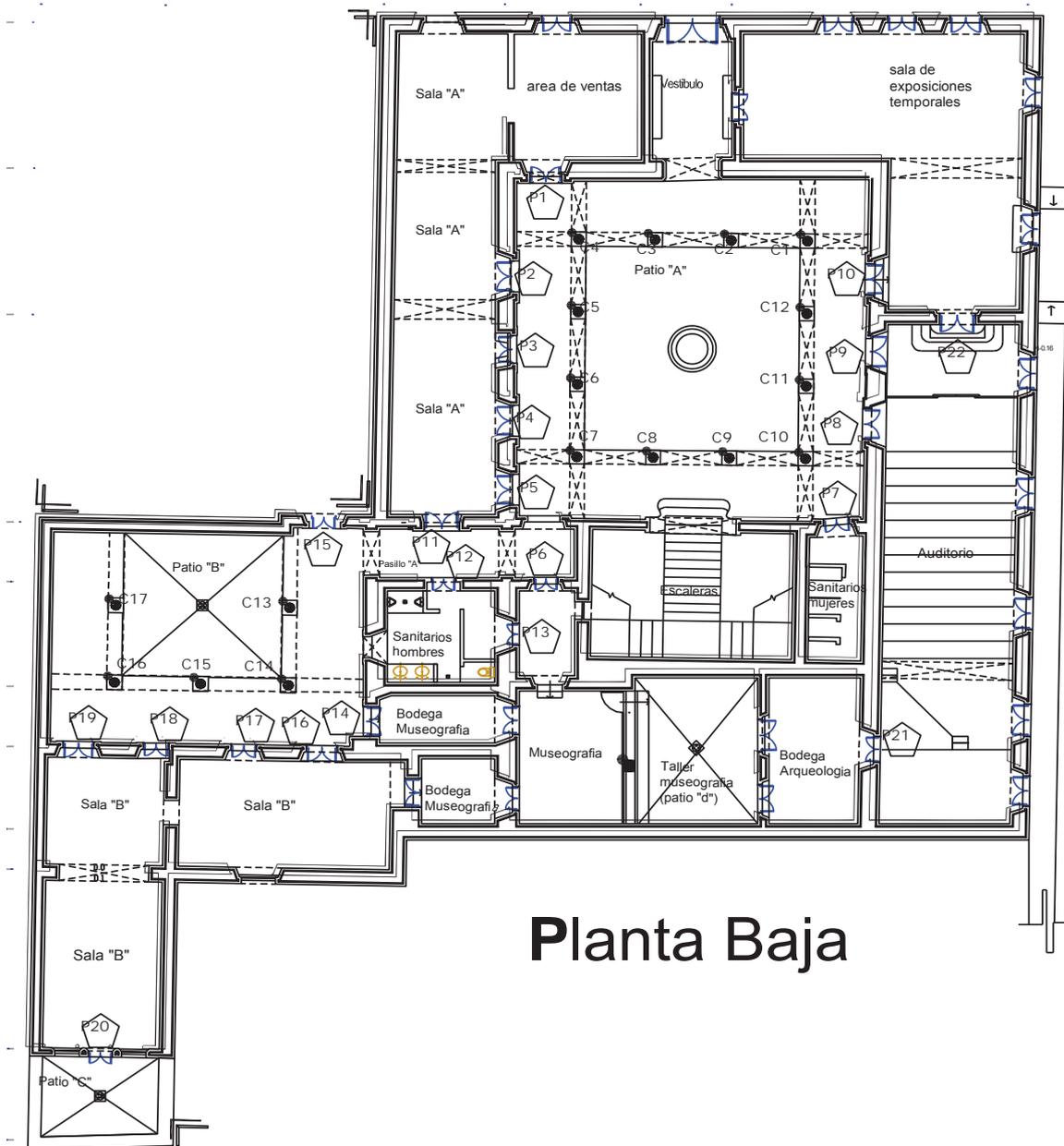
En las columnas se tomaron en dados y fuste, en los dados se cuidó que la distancia a la arista no fuera menor de 2.5 cm conservando el siguiente orden:



En los marcos de puertas y ventanas se tomaron lecturas a cada 0.50 m de altura, comenzando desde nivel cero.

En muros de fachadas las lecturas se hicieron a cada metro de forma horizontal y con alturas iguales que en marcos de puertas y ventanas

A continuación se anexan las lecturas por cada elemento señalando su ubicación en planta, así como un resumen de resistencias promedio.



Planta Baja

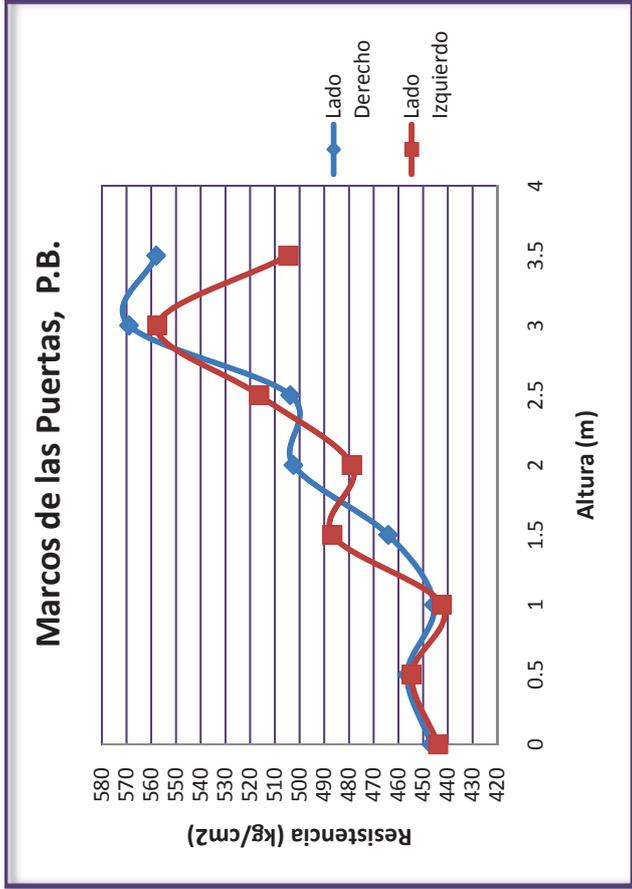
UBICACIÓN: PATIO A, PLANTA BAJA (COLUMNAS)

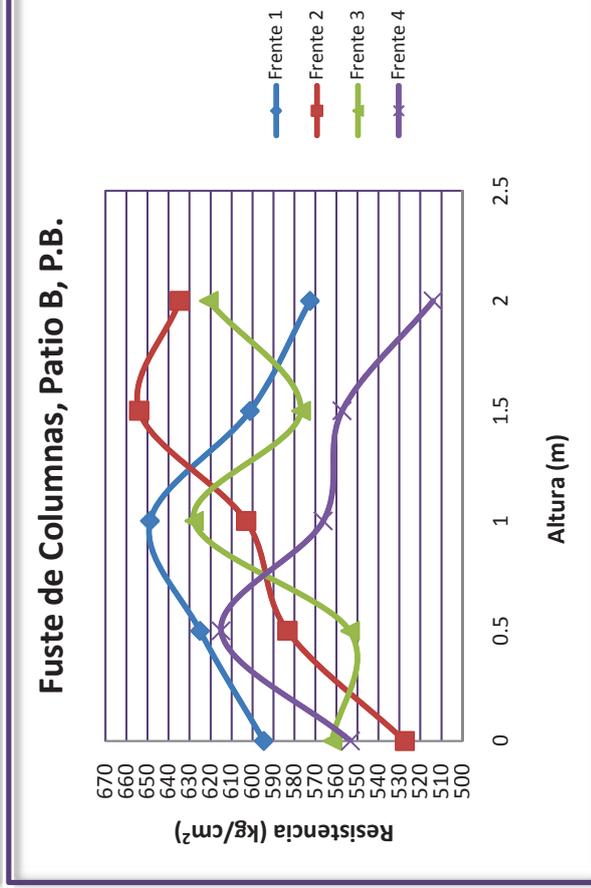
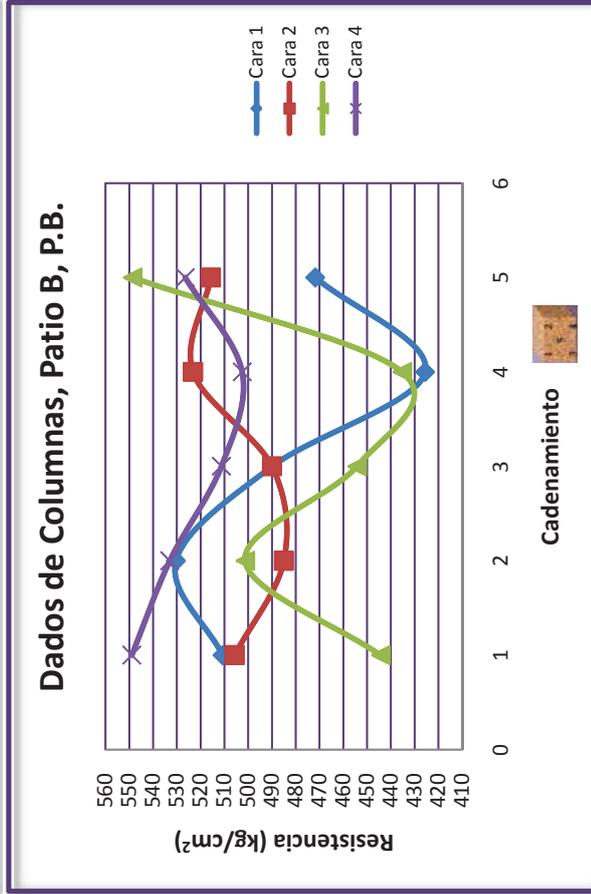
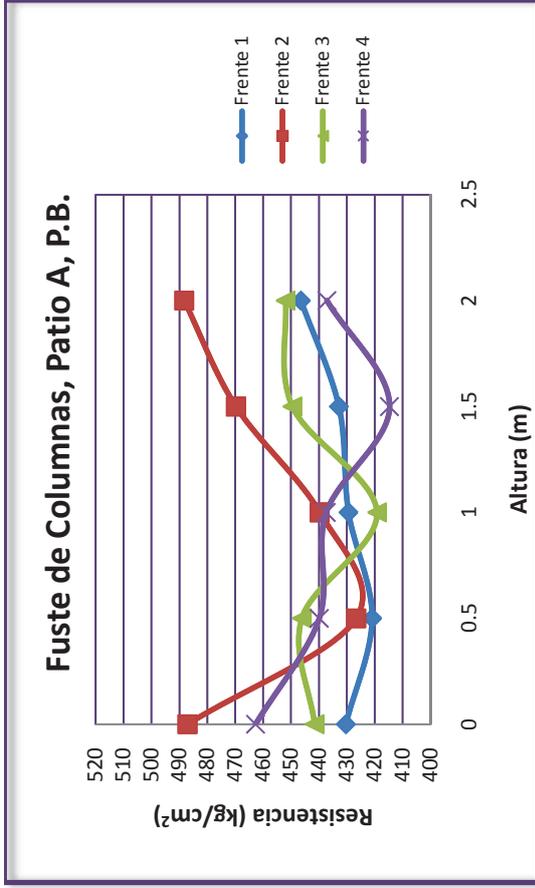
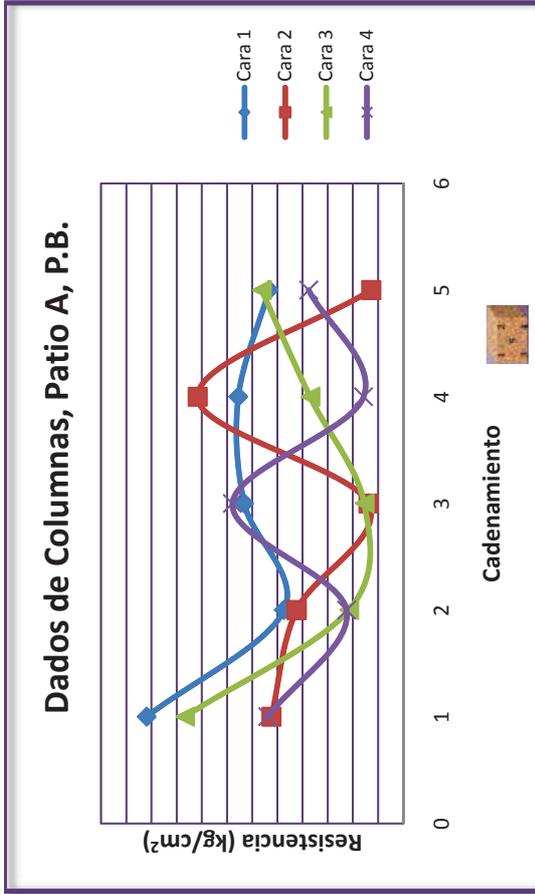
| LOCALIZACIÓN                    | CADENAMIENTO | AL TUBA (m) | RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm <sup>2</sup> ) |        |        |        |        |        |        |        |        |         |         |         | PROMEDIO |
|---------------------------------|--------------|-------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|
|                                 |              |             | COL. 1                                       | COL. 2 | COL. 3 | COL. 4 | COL. 5 | COL. 6 | COL. 7 | COL. 8 | COL. 9 | COL. 10 | COL. 11 | COL. 12 |          |
| DADO CARA 1                     | 1            | 562         | 680  | 457    | 457    | 378    | 522    | 340    | 562    | 418    | 562    | 562     | 502     |         |          |
|                                 | 2            | 340         | 457  | 488    | 457    | 378    | 488    | 305    | 488    | 418    | 602    | 522     | 447     |         |          |
|                                 | 3            | 378         | 457  | 488    | 503    | 418    | 457    | 340    | 457    | 488    | 562    | 488     | 463     |         |          |
|                                 | 4            | 602         | 602  | 210    | 602    | 340    | 340    | 457    | 488    | 457    | 488    | 457     | 466     |         |          |
|                                 | 5            | 457         | 488  | 378    | 367    | 778    | 778    | 562    | 378    | 457    | 418    | 522     | 453     |         |          |
| DADO CARA 2                     | 1            | 577         | 567  | 778    | 488    | 418    | 488    | 418    | 488    | 418    | 488    | 522     | 452     |         |          |
|                                 | 2            | 488         | 457  | 418    | 457    | 278    | 418    | 340    | 488    | 488    | 457    | 641     | 442     |         |          |
|                                 | 3            | 340         | 680  | 457    | 457    | 305    | 378    | 340    | 418    | 378    | 378    | 378     | 414     |         |          |
|                                 | 4            | 522         | 602  | 488    | 522    | 457    | 488    | 457    | 418    | 488    | 488    | 378     | 482     |         |          |
|                                 | 5            | 457         | 340  | 340    | 457    | 378    | 340    | 488    | 378    | 457    | 522    | 418     | 413     |         |          |
| DADO CARA 3                     | 1            | 488         | 522  | 562    | 522    | 562    | 562    | 418    | 340    | 418    | 457    | 522     | 487     |         |          |
|                                 | 2            | 522         | 340  | 378    | 457    | 418    | 418    | 418    | 340    | 418    | 562    | 488     | 422     |         |          |
|                                 | 3            | 418         | 378  | 418    | 488    | 378    | 488    | 457    | 378    | 378    | 488    | 488     | 416     |         |          |
|                                 | 4            | 488         | 577  | 457    | 418    | 340    | 378    | 488    | 418    | 418    | 488    | 488     | 437     |         |          |
|                                 | 5            | 488         | 577  | 457    | 457    | 457    | 378    | 457    | 378    | 340    | 641    | 378     | 456     |         |          |
| DADO CARA 4                     | 1            | 418         | 562  | 305    | 457    | 378    | 378    | 457    | 457    | 522    | 457    | 488     | 454     |         |          |
|                                 | 2            | 522         | 418  | 378    | 340    | 418    | 418    | 418    | 418    | 457    | 457    | 562     | 423     |         |          |
|                                 | 3            | 562         | 522  | 457    | 457    | 562    | 278    | 503    | 418    | 418    | 641    | 418     | 468     |         |          |
|                                 | 4            | 418         | 488  | 340    | 488    | 340    | 340    | 457    | 378    | 418    | 488    | 340     | 416     |         |          |
|                                 | 5            | 562         | 340  | 378    | 340    | 457    | 457    | 562    | 418    | 418    | 562    | 457     | 438     |         |          |
| FRENTE 1                        | 0            | 305         | 457  | 641    | 457    | 457    | 457    | 457    | 457    | 418    | 340    | 340     | 430     |         |          |
|                                 | 0.5          | 210         | 418  | 562    | 457    | 378    | 378    | 562    | 340    | 522    | 457    | 278     | 421     |         |          |
|                                 | 1            | 378         | 778  | 367    | 577    | 418    | 418    | 418    | 488    | 488    | 340    | 340     | 429     |         |          |
|                                 | 1.5          | 778         | 457  | 457    | 488    | 457    | 457    | 457    | 457    | 418    | 457    | 457     | 433     |         |          |
|                                 | 2            | 488         | 457  | 488    | 457    | 418    | 418    | 378    | 457    | 562    | 340    | 340     | 446     |         |          |
| FRENTE 2                        | 0            | 457         | 522  | 602    | 641    | 562    | 488    | 488    | 488    | 305    | 418    | 418     | 487     |         |          |
|                                 | 0.5          | 457         | 457  | 418    | 522    | 418    | 418    | 602    | 488    | 378    | 240    | 378     | 427     |         |          |
|                                 | 1            | 522         | 457  | 378    | 488    | 305    | 488    | 488    | 488    | 418    | 418    | 457     | 440     |         |          |
|                                 | 1.5          | 488         | 522  | 522    | 457    | 488    | 457    | 562    | 418    | 378    | 418    | 418     | 470     |         |          |
|                                 | 2            | 602         | 522  | 522    | 522    | 457    | 457    | 522    | 522    | 418    | 488    | 418     | 488     |         |          |
| FRENTE 3                        | 0            | 418         | 562  | 457    | 488    | 488    | 488    | 602    | 488    | 305    | 378    | 378     | 442     |         |          |
|                                 | 0.5          | 457         | 522  | 602    | 457    | 378    | 378    | 522    | 418    | 522    | 340    | 418     | 446     |         |          |
|                                 | 1            | 340         | 457  | 457    | 577    | 378    | 378    | 378    | 418    | 488    | 418    | 378     | 419     |         |          |
|                                 | 1.5          | 378         | 378  | 488    | 340    | 457    | 457    | 562    | 418    | 418    | 522    | 488     | 450     |         |          |
|                                 | 2            | 488         | 378  | DAÑADA | 457    | 398    | 457    | 457    | 418    | 488    | 522    | 457     | 452     |         |          |
| FRENTE 4                        | 0            | 305         | 602  | 562    | 562    | 488    | 488    | 488    | 488    | 278    | 457    | 488     | 463     |         |          |
|                                 | 0.5          | 340         | 457  | 418    | 418    | 602    | 418    | 522    | 398    | 340    | 457    | 457     | 440     |         |          |
|                                 | 1            | 418         | DAÑADA                                       | 488    | 457    | 418    | 418    | 522    | 488    | 378    | 305    | 378     | 437     |         |          |
|                                 | 1.5          | 305         | 488  | 457    | 418    | 457    | 418    | 418    | 278    | 378    | 305    | 418     | 415     |         |          |
|                                 | 2            | 457         | 457  | 488    | 378    | 457    | 457    | 418    | 378    | 378    | 522    | 457     | 437     |         |          |
| RESISTENCIA PROMEDIO DE COLUMNA |              |             | 441  | 482    | 457    | 472    | 420    | 446    | 462    | 433    | 430    | 459     | 421     |         |          |

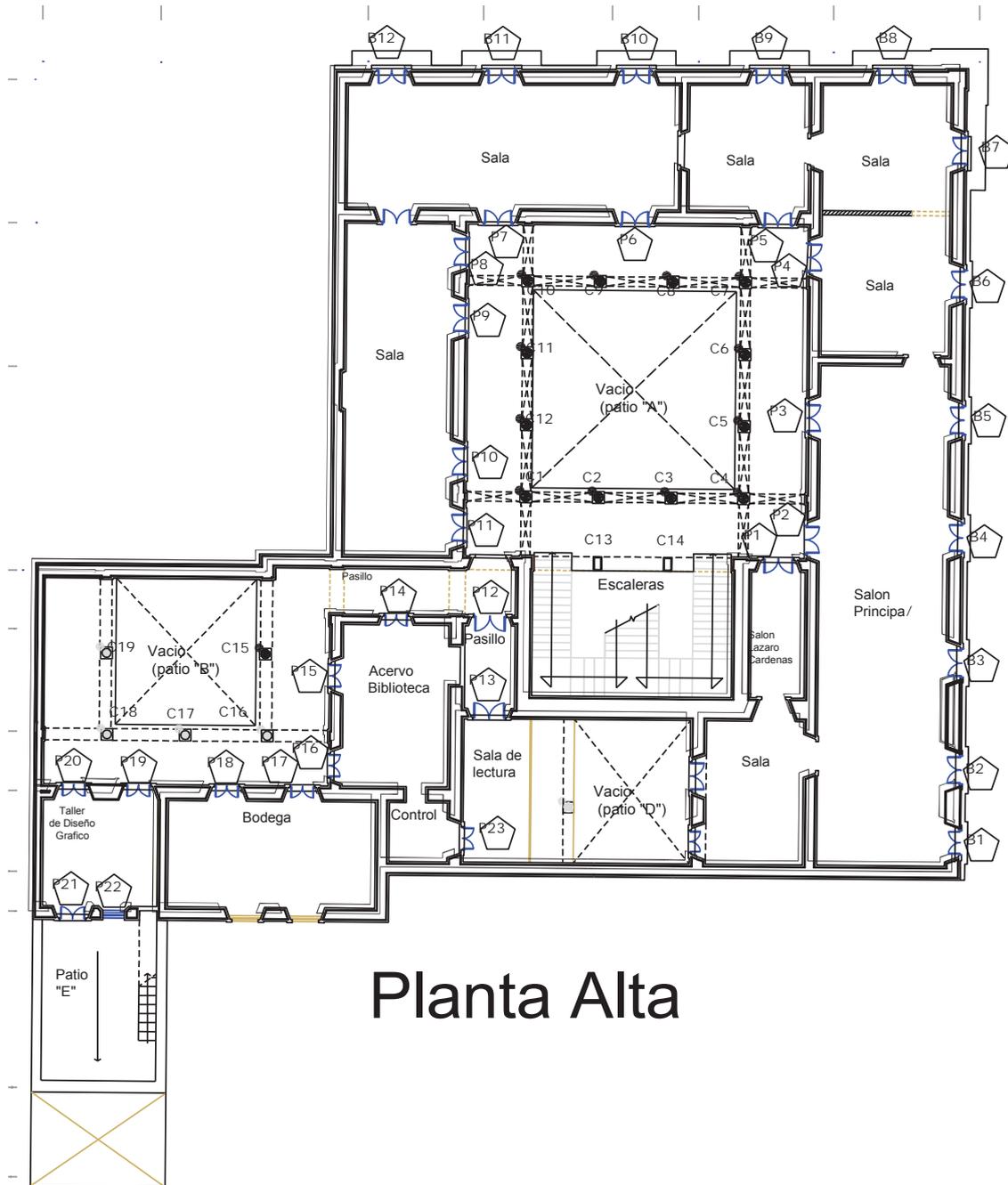
| UBICACIÓN: PATIO B, PLANTA BAJA (COLUMNAS) |              |            |  |                 |        |                  |                  |          |
|--|--------------|------------|--|-----------------|--------|------------------|------------------|----------|
| LOCALIZACIÓN                               | CADENAMIENTO | ALTURA (m) | RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm <sup>2</sup> ) |                 |        |                  |                  | PROMEDIO |
|  |              |            | COL 13                                       | COL 14          | COL 15 | COL 16           | COL 17           |          |
| DADO CARA 1 (COLUMNA 13)                   | 1            |            | 470  | 522             | 562    | 543              | 457              | 511      |
|  | 2            |            | 562  | 562             | 457    | 583              | 488              | 530      |
|  | 3            |            | 562  | 457             | 418    | 543              | 470              | 490      |
|  | 4            |            | 418  | 418             | 378    | 457              | 457              | 426      |
|  | 5            |            | 418  | 543             | 438    | 503              | 457              | 472      |
| DADO CARA 2 (COLUMNA 13)                   | 1            |            | 503  | 562             | 470    |                  | 488              | 506      |
|  | 2            |            | 543  | 522             | 457    |                  | 418              | 485      |
|  | 3            |            | 457  | 543             | 562    | EXISTE UN MARCO  | 398              | 490      |
|  | 4            |            | 438  | 583             | 602    |                  | 470              | 523      |
|  | 5            |            | 562  | 522             | 522    |                  | 457              | 516      |
| DADO CARA 3 (COLUMNA 13)                   | 1            |            | 457  | 438             | 438    |                  |                  | 444      |
|  | 2            |            | 583  | 418             | 503    |                  |                  | 501      |
|  | 3            |            | 457  | 488             | 418    | EXISTE OBSTACULO | EXISTE OBSTACULO | 454      |
|  | 4            |            | 398  | 470             | 438    |                  |                  | 435      |
|  | 5            |            | 522  | 562             | 562    |                  |                  | 549      |
| DADO CARA 4 (COLUMNA 13)                   | 1            |            | 562  | 562             | 470    | 602              |                  | 549      |
|  | 2            |            | 470  | 583             | 438    | 641              |                  | 533      |
|  | 3            |            | 543  | 418             | 522    | 562              | EXISTE UN MARCO  | 511      |
|  | 4            |            | 543  | 488             | 457    | 522              |                  | 503      |
|  | 5            |            | 602  | 543             | 418    | 543              |                  | 527      |
| COLUMNA 13                                 | FRENTE 1     | 0          | 641  | 641             | 488    | 562              | 641              | 595      |
|  |              | 0.5        | 602  | 680             | 522    | 680              | 641              | 625      |
|  |              | 1          | 641  | 680             | 680    | 641              | 602              | 649      |
|  |              | 1.5        | 641  | 680             | 522    | 522              | 641              | 601      |
|  |              | 2          | 680  | 562             | 457    | 562              | 602              | 573      |
|  | FRENTE 2     | 0          | 602  |                 | 378    |                  | 602              | 527      |
|  |              | 0.5        | 602  | EXISTE UN MARCO | 488    | EXISTE UN MARCO  | 660              | 583      |
|  |              | 1          | 680  |                 | 488    |                  | 641              | 603      |
|  |              | 1.5        | 700  |                 | 660    |                  | 602              | 654      |
|  |              | 2          | 700  |                 | 602    |                  | 602              | 635      |
|  | FRENTE 3     | 0          | 602  | 522             | 562    |                  |                  | 562      |
|  |              | 0.5        | 641  | 418             | 602    |                  |                  | 554      |
|  |              | 1          | 602  | 641             | 641    | EXISTE OBSTACULO | EXISTE OBSTACULO | 628      |
|  |              | 1.5        | 602  | 641             | 488    |                  |                  | 577      |
|  |              | 2          | 522  | 700             | 641    |                  |                  | 621      |
|  | FRENTE 4     | 0          |  | 680             | 418    | 562              |                  | 553      |
|  |              | 0.5        | EXISTE UN MARCO                              | 641             | 602    | 602              |                  | 615      |
|  |              | 1          |  | 680             | 378    | 641              | EXISTE UN MARCO  | 566      |
|  |              | 1.5        |  | 680             | 470    | 522              |                  | 557      |
|  |              | 2          |  | 602             | 418    | 522              |                  | 514      |
| RESISTENCIA PROMEDIO DE COLUMNA            |              |            | 558  | 561             | 501    | 566              | 540              | 544      |

UBICACIÓN: MARCOS DE LAS PUERTAS, PLANTA BAJA

| LOCALIZACIÓN                   | CADEMIAMIENTO  | ALTURA (m) | RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |          |           |                  |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |     |     |     |
|--------------------------------|----------------|------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|
|                                |                |            | PUERTA 1                                     | PUERTA 2 | PUERTA 4 | PUERTA 5 | PUERTA 6 | PUERTA 7 | PUERTA 8 | PUERTA 10 | PUERTA PRINCIPAL | PUERTA 11 | PUERTA 12 | PUERTA 13 | PUERTA 14 | PUERTA 15 | PUERTA 16 | PUERTA 17 | PUERTA 18 | PUERTA 19 | PUERTA 20 | PUERTA 21 | PUERTA 22 |     |     |     |
| MARCOS DE PUERTAS              | LADO DERECHO   | 0          | 418  | 457      | 378      | 378      | 641      | 562      | 457      | 378       | 700              | 641       | 378       | 488       | 488       | 488       | 457       | 378       | 488       | 457       | 378       | 488       | 278       | 278 | 447 |     |
|                                |                | 0.5        | 378  | 340      | 488      | 340      | 340      | 340      | 340      | 340       | 340              | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340       | 340 | 340 | 457 |
|                                |                | 1          | 418  | 418      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457       | 457              | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457 | 457 | 446 |
|                                |                | 1.5        | 378  | 418      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457       | 457              | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457 | 457 | 464 |
|                                |                | 2          | 340  | 522      | 583      | 522      | 522      | 522      | 522      | 522       | 522              | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522 | 522 | 504 |
|                                | LADO IZQUIERDO | 2.5        | 378  | 488      | 602      | 602      | 602      | 602      | 602      | 602       | 602              | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602 | 602 | 504 |
|                                |                | 3          | 602  | 641      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457       | 457              | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457 | 457 | 504 |
|                                |                | 3.5        | 418  | 522      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457       | 457              | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457 | 457 | 558 |
|                                |                | 0          | 418  | 457      | 418      | 418      | 418      | 418      | 418      | 418       | 418              | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418 | 418 | 444 |
|                                |                | 0.5        | 378  | 457      | 418      | 418      | 418      | 418      | 418      | 418       | 418              | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418       | 418 | 418 | 455 |
| MARCO                          | 1              | 378        | 488  | 378      | 378      | 378      | 378      | 378      | 378      | 378       | 378              | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378       | 378 | 442 |     |
|                                | 1.5            | 340        | 488  | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457       | 457              | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457 | 487 |     |
|                                | 2              | 340        | 488  | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457      | 457       | 457              | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457       | 457 | 479 |     |
|                                | 2.5            | 398        | 700  | 522      | 522      | 522      | 522      | 522      | 522      | 522       | 522              | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522 | 516 |     |
|                                | 3              | 457        | 418  | 522      | 522      | 522      | 522      | 522      | 522      | 522       | 522              | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522       | 522 | 558 |     |
| RESISTENCIA PROMEDIO DE PUERTA |                |            | 394  | 486      | 478      | 478      | 486      | 478      | 486      | 478       | 486              | 478       | 486       | 478       | 486       | 478       | 486       | 478       | 486       | 478       | 486       | 478       | 486       | 478 | 486 |     |







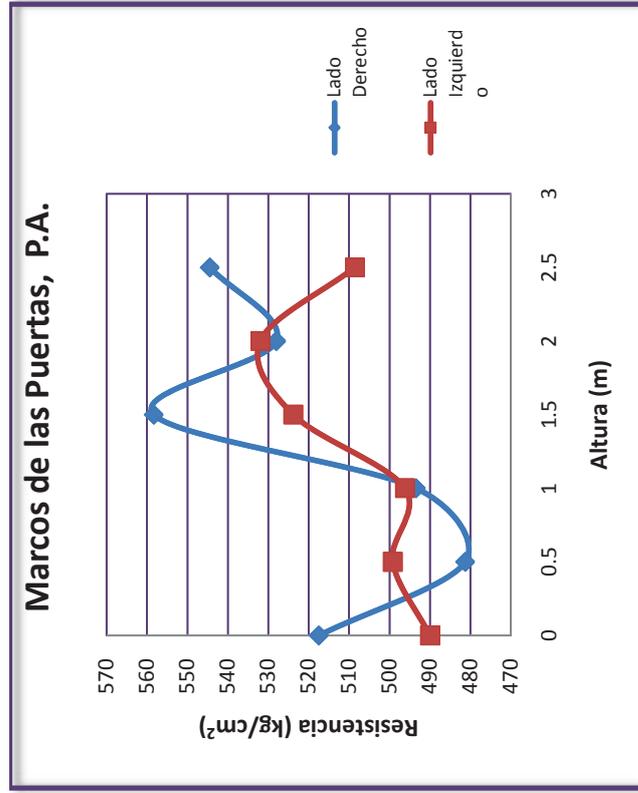
Planta Alta

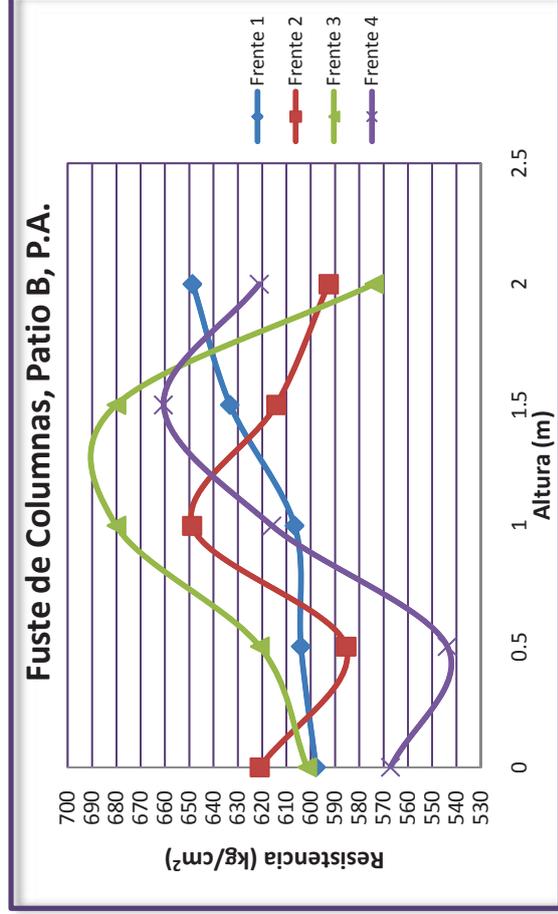
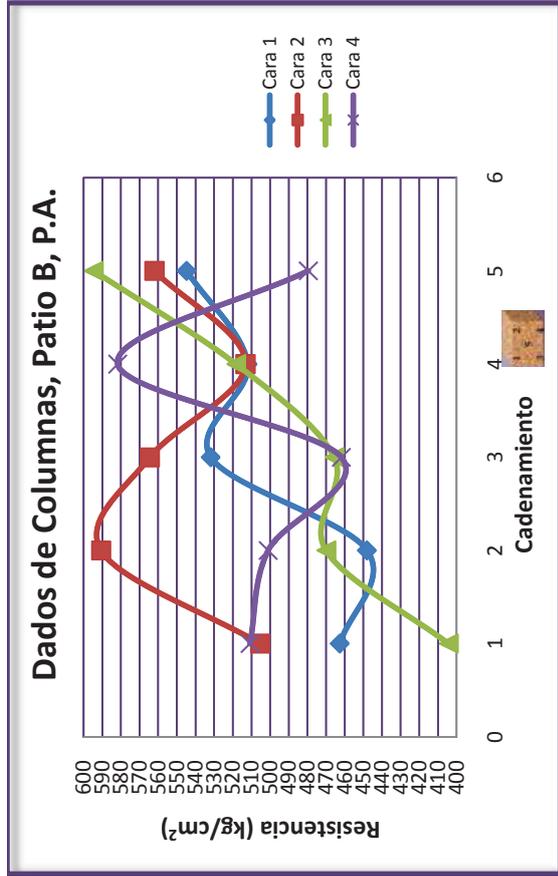
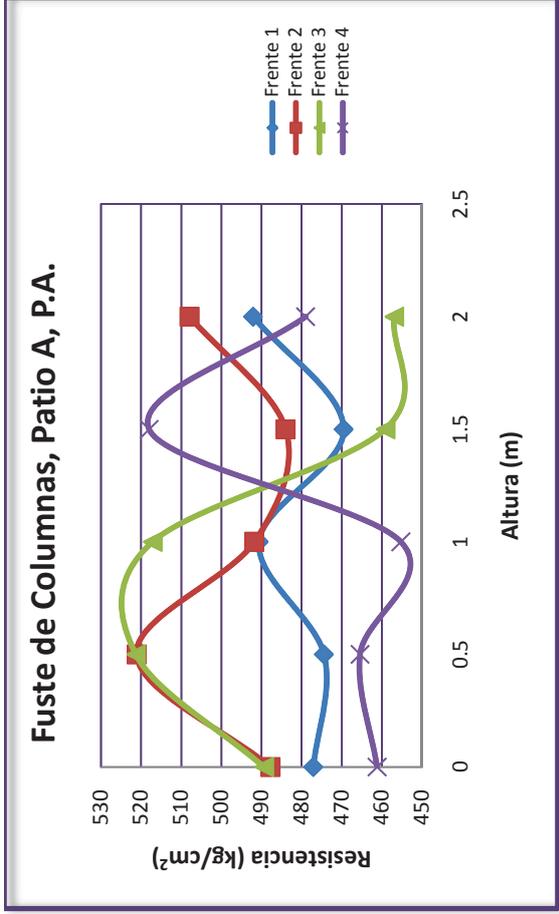
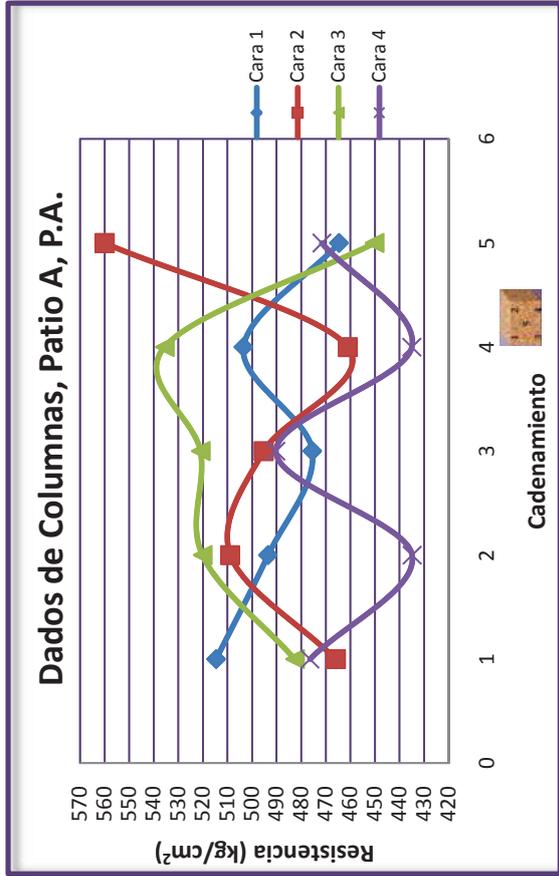
UBICACIÓN: PATIO A, PLANTA ALTA (COLUMNAS)

| LOCALIZACIÓN                    | CADENAMIENTO | ALTURA (m)    | RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm <sup>2</sup> ) |                   |        |        |        |        |        |        |        |         |                   |                   |                   | PROMEDIO |         |     |
|---------------------------------|--------------|---------------|--|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|---------|-----|
|                                 |              |               | COL. 1                                       | COL. 2            | COL. 3 | COL. 4 | COL. 5 | COL. 6 | COL. 7 | COL. 8 | COL. 9 | COL. 10 | COL. 11           | COL. 12           | COL. 13           |          | COL. 14 |     |
| DADO CARA 1                     | 1            |               | 641  | 602               | 418    | 562    | 562    | 562    | 378    | 457    | 457    | 457     | 418               | 488               | 700               | 503      | 457     | 515 |
|                                 | 2            |               | 641  | 562               | 457    | 522    | 522    | 378    | 457    | 457    | 457    | 457     | 457               | 522               | 602               | 418      | 457     | 494 |
|                                 | 3            |               | 522  | 488               | 522    | 522    | 522    | 340    | 340    | 340    | 488    | 488     | 488               | 418               | 522               | 488      | 488     | 476 |
|                                 | 4            |               | 522  | 583               | 562    | 522    | 378    | 641    | 418    | 418    | 583    | 522     | 378               | 457               | 522               | 418      | 543     | 504 |
|                                 | 5            |               | 503  | 488               | 378    | 488    | 488    | 488    | 488    | 418    | 488    | 457     | 418               | 418               | 641               | 562      | 418     | 465 |
| DADO CARA 2                     | 1            |               | 641  | 522               | 418    | 457    | 641    | 641    | 340    | 488    | 488    | 488     | 562               | 438               | 378               | 503      | 438     | 466 |
|                                 | 2            |               | 522  | 418               | 488    | 562    | 562    | 562    | 457    | 602    | 602    | 602     | 602               | 602               | 438               | 488      | 418     | 509 |
|                                 | 3            |               | 457  | 488               | 418    | 562    | 457    | 641    | 418    | 488    | 457    | 470     | 470               | 488               | 543               | 311      | 602     | 495 |
|                                 | 4            |               | 488  | 470               | 457    | 562    | 418    | 522    | 378    | 378    | 457    | 457     | 457               | 378               | 488               | 360      | 562     | 461 |
|                                 | 5            |               | 602  | DAÑADO            | 457    | 562    | 562    | 562    | 602    | 562    | 602    | 641     | 503               | 457               | 562               | 641      | 488     | 560 |
| DADO CARA 3                     | 1            |               | 602  | NO SE ALCANZA     | 457    | 522    | 470    | 470    | 240    | 240    | 641    | 641     | 488               | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | 488      | 522     | 483 |
|                                 | 2            |               | 602  | NO SE TUVO ACCESO | 457    | 470    | 470    | 470    | 641    | 641    | 470    | 470     | 470               | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | DAÑADO   | 418     | 570 |
|                                 | 3            |               | 562  | NO SE ALCANZA     | 457    | 457    | 457    | 457    | 641    | 641    | 457    | 457     | 457               | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | DAÑADO   | 488     | 521 |
|                                 | 4            |               | 488  | 488               | 418    | 488    | 488    | 488    | 488    | 488    | 418    | 418     | 418               | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | 543      | 562     | 536 |
|                                 | 5            |               | 562  | 488               | 418    | 562    | 562    | 488    | 488    | 488    | 470    | 470     | 470               | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | 240      | 503     | 430 |
| DADO CARA 4                     | 1            |               | 641  | 488               | 418    | 457    | 457    | 457    | 240    | 488    | 488    | 488     | 418               | 418               | 641               | 360      | 340     | 476 |
|                                 | 2            |               | 641  | 488               | 418    | 457    | 457    | 457    | 278    | 488    | 488    | 488     | 457               | 457               | 522               | 340      | 488     | 435 |
|                                 | 3            |               | 562  | 488               | 522    | 543    | 602    | 438    | 278    | 488    | 457    | 457     | 457               | 522               | 562               | 488      | 457     | 480 |
|                                 | 4            |               | 562  | 378               | 418    | 378    | 418    | 378    | 457    | 457    | 418    | 340     | 340               | 457               | 562               | 418      | 488     | 435 |
|                                 | 5            |               | 602  | 418               | 418    | 522    | 457    | 378    | 583    | 488    | 418    | 418     | 418               | 418               | 488               | 503      | 522     | 472 |
| COLUMNA (FUSTE)                 | FRENTE 1     | 0             | 522  | 583               | 418    | 488    | 488    | 488    | 583    | 583    | 240    | 240     | 378               | 522               | 602               | 418      | 562     | 477 |
|                                 |              | 0.5           | 457  | 522               | 210    | 522    | 418    | 457    | 641    | 418    | 457    | 457     | 660               | 378               | 522               | 418      | 418     | 474 |
|                                 |              | 1             | 522  | 503               | 457    | 562    | 340    | 522    | 418    | 418    | 278    | 278     | 418               | 562               | 562               | 641      | 562     | 491 |
|                                 |              | 1.5           | 622  | 488               | 488    | 378    | 360    | 680    | 457    | 418    | 562    | 562     | 562               | 378               | 457               | 305      | 418     | 470 |
|                                 |              | 2             | 522  | 602               | 340    | 522    | 418    | 522    | 562    | 457    | 457    | 457     | 602               | 378               | 457               | 488      | 457     | 492 |
| FRENTE 2                        | 0            | 562           | 470  | 457               | 418    | 378    | 488    | 457    | 457    | 418    | 418    | 562     | 602               | 457               | 488               | 470      | 488     |     |
|                                 | 0.5          | 641           | 522  | 562               | 457    | 562    | 457    | 562    | 457    | 562    | 488    | 488     | 488               | 641               | 488               | 378      | 521     |     |
|                                 | 1            | 602           | 641  | 457               | 378    | 418    | 418    | 488    | 488    | 457    | 457    | 457     | 602               | 457               | 583               | 470      | 492     |     |
|                                 | 1.5          | 378           | 522  | 457               | 522    | 641    | 543    | 602    | 602    | 602    | 543    | 418     | 418               | 278               | 311               | 562      | 484     |     |
|                                 | 2            | 562           | 562  | 522               | 457    | 522    | 522    | 378    | 378    | 641    | 543    | 543     | 522               | 418               | 378               | 562      | 508     |     |
| FRENTE 3                        | 0            | 641           | 378  | 488               | 488    | 488    | 488    | 488    | 488    | 488    | 562    | 562     | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | DAÑADO            | 378      | 489     |     |
|                                 | 0.5          | 457           | 378  | 457               | 562    | 562    | 562    | 488    | 488    | 641    | 641    | 641     | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | 418               | 562      | 571     |     |
|                                 | 1            | 641           | 488  | 488               | 488    | 488    | 488    | 340    | 340    | 340    | 340    | 470     | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | 602               | 562      | 517     |     |
|                                 | 1.5          | 378           | 378  | 378               | 378    | 378    | 378    | 562    | 562    | 457    | 457    | 457     | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | 378               | 602      | 459     |     |
|                                 | 2            | 457           | 457  | 457               | 457    | 457    | 457    | 457    | 457    | 457    | 457    | 457     | NO SE TUVO ACCESO | NO SE TUVO ACCESO | NO SE ALCANZA     | 457      | 457     |     |
| FRENTE 4                        | 0            | 680           | 278  | 488               | 488    | 488    | 488    | 488    | 488    | 418    | 418    | 418     | 418               | 583               | 583               | 562      | 461     |     |
|                                 | 0.5          | RECUBRIMIENTO | 278  | 457               | 457    | 457    | 457    | 488    | 488    | 488    | 602    | 602     | 602               | 602               | 562               | 418      | 470     | 465 |
|                                 | 1            | 340           | 641  | 562               | 378    | 378    | 378    | 418    | 418    | 340    | 340    | 378     | 378               | 562               | 562               | 543      | 398     | 455 |
|                                 | 1.5          | 562           | 457  | 522               | 522    | 562    | 562    | 488    | 602    | 418    | 562    | 522     | 488               | 602               | 457               | 488      | 488     | 518 |
|                                 | 2            | 418           | 488  | 457               | 488    | 457    | 488    | 457    | 388    | 488    | 418    | 522     | 457               | 488               | 562               | 562      | 562     | 479 |
| RESISTENCIA PROMEDIO DE COLUMNA |              | 543           | 458  | 462               | 487    | 460    | 504    | 474    | 474    | 442    | 502    | 480     | 471               | 577               | 456               | 490      | 490     |     |

| UBICACIÓN: PATIO B PLANTA ALTA (COLUMNAS) |              |            |  |               |         |               |               |          |
|---|--------------|------------|--|---------------|---------|---------------|---------------|----------|
| LOCALIZACIÓN                              | CADENAMIENTO | ALTURA (m) | RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm <sup>2</sup> ) |               |         |               |               | PROMEDIO |
|   |              |            | COL. 15                                      | COL. 16       | COL. 17 | COL. 18       | COL. 19       |          |
| DADO CARA 1                               | 1            |            | 360  | 641           | 457     | 457           | 398           | 463      |
|   | 2            |            | 378  | 522           | 562     | 418           | 360           | 448      |
|   | 3            |            | 562  | 700           | 562     | 457           | 378           | 532      |
|   | 4            |            | 457  | 641           | 522     | 418           | 522           | 512      |
|   | 5            |            | 470  | 700           | 470     | 522           | 562           | 545      |
| DADO CARA 2                               | 1            |            | 305  | 700           | 562     | 522           | 438           | 505      |
|   | 2            |            | 641  | 680           | 641     | 488           | 503           | 591      |
|   | 3            |            | 700  | 700           | 522     | 522           | 378           | 564      |
|   | 4            |            | 488  | 602           | 562     | 457           | 457           | 513      |
|   | 5            |            | 457  | 680           | 641     | 562           | 470           | 562      |
| DADO CARA 3                               | 1            |            | 457  |               | 378     |               | 378           | 404      |
|   | 2            |            | 470  | NO SE ALCANZO | 562     | NO SE ALCANZO | 378           | 470      |
|   | 3            |            | 457  |               | 522     |               | 418           | 466      |
|   | 4            |            | 641  |               | 457     |               | 457           | 518      |
|   | 5            |            | 700  |               | 522     |               | 562           | 595      |
| DADO CARA 4                               | 1            |            | 457  | 680           | 418     | 488           |               | 511      |
|   | 2            |            | 488  | 641           | 418     | 457           |               | 501      |
|   | 3            |            | 305  | 602           | 522     | 418           | NO SE ALCANZO | 462      |
|   | 4            |            | 562  | 700           | 562     | 503           |               | 582      |
|   | 5            |            | 278  | 700           | 522     | 418           |               | 480      |
| COLUMNA (FUSTE)                           | FRENTE 1     | 0          | 622  | 522           | 641     | 602           | 602           | 598      |
|   |              | 0.5        | 562  | 457           | 641     | 680           | 680           | 604      |
|   |              | 1          | 602  | 602           | 641     | 700           | 488           | 607      |
|   |              | 1.5        | 700  | 602           | 700     | 602           | 562           | 633      |
|   |              | 2          | 680  | 700           | 641     | 562           | 660           | 649      |
|   | FRENTE 2     | 0          | 680  | 522           | 700     | 562           | 641           | 621      |
|   |              | 0.5        | 488  | 680           | 457     | 602           | 700           | 585      |
|   |              | 1          | 641  | 700           | 680     | 543           | 680           | 649      |
|   |              | 1.5        | 488  | 700           | 680     | 562           | 641           | 614      |
|   |              | 2          | 543  | 700           | 700     | 418           | 602           | 593      |
|   | FRENTE 3     | 0          | 562  |               | 641     |               |               | 602      |
|   |              | 0.5        | 562  |               | 680     |               |               | 621      |
|   |              | 1          | 680  | NO SE ALCANZO | 680     | NO SE ALCANZO | NO SE ALCANZO | 680      |
|   |              | 1.5        | 660  |               | 700     |               | NO SE ALCANZO | 680      |
|   |              | 2          | 660  |               | 488     |               |               | 574      |
|   | FRENTE 4     | 0          | 602  | 488           | 562     | 622           | 562           | 567      |
| 0.5                                       |              | 641        | 680  | 418           | 418     | 562           | 544           |          |
| 1   |              | 602        | 700  | 641           | 680     | 457           | 616           |          |
| 1.5                                       |              | 641        | 700  | 700           | 562     | 700           | 661           |          |
| 2   |              | 700        | 562  | 562           | 641     | 641           | 621           |          |
| RESISTENCIA PROMEDIO DE COLUMNA           |              |            | 549  | 640           | 573     | 529           | 528           |          |

| LOCALIZACIÓN                   | CAUDERNAMIENTO | ALTURA (m) | RESISTENCIA APROXIMADA (kg/cm <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |          |     |
|--------------------------------|----------------|------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----|
|                                |                |            | PUERTA 1                                     | PUERTA 2 | PUERTA 3 | PUERTA 4 | PUERTA 5 | PUERTA 6 | PUERTA 7 | PUERTA 8 | PUERTA 9 | PUERTA 10 | PUERTA 11 | PUERTA 12 | PUERTA 13 | PUERTA 14 | PUERTA 15 | PUERTA 16 | PUERTA 17 | PUERTA 18 | PUERTA 19 | PUERTA 20 | PUERTA 21 | PROMEDIO |     |
| PUERTA                         | LADO DERECHO   | 0          | 562  | 378      | 602      | 488      | 522      | 467      | 418      | 418      | 680      | 467       | 408       | 522       | 438       | 418       | 311       | 311       | 470       | 522       | 378       | 602       | 641       | 700      | 517 |
|                                |                | 0.5        | 467  | 378      | 305      | 467      | 562      | 378      | 700      | 700      | 398      | 602       | 398       | 438       | 438       | 398       | 311       | 470       | 470       | 522       | 378       | 562       | 572       | 562      | 481 |
|                                |                | 1          | 602  | 418      | 418      | 438      | 467      | 398      | 641      | 641      | 641      | 641       | 641       | 563       | 311       | 398       | 398       | 438       | 398       | 398       | 398       | 602       | 680       | 602      | 493 |
|                                | LADO IZQUIERDO | 2          | 498  | 583      | 378      | 378      | 522      | 467      | 418      | 418      | 602      | 562       | 700       | 602       | 470       | 622       | 438       | 438       | 680       | 488       | 488       | 622       | 680       | 622      | 558 |
|                                |                | 2.5        | 378  | 583      | 311      | 583      | 522      | 467      | 418      | 418      | 680      | 467       | 680       | 562       | 398       | 398       | 398       | 680       | 680       | 680       | 488       | 488       | 562       | 622      | 578 |
|                                |                | 3          | 467  | 641      | 378      | 562      | 278      | 467      | 467      | 467      | 467      | 467       | 467       | 467       | 398       | 467       | 467       | 467       | 467       | 467       | 467       | 641       | 641       | 641      | 480 |
| MARCO                          | LADO DERECHO   | 0.5        | 522  | 562      | 378      | 602      | 378      | 278      | 518      | 518      | 680      | 602       | 467       | 583       | 470       | 583       | 340       | 340       | 340       | 470       | 470       | 562       | 680       | 522      | 489 |
|                                |                | 1          | 602  | 522      | 240      | 543      | 488      | 467      | 467      | 467      | 602      | 602       | 602       | 583       | 378       | 378       | 522       | 278       | 278       | 467       | 378       | 641       | 700       | 602      | 486 |
|                                |                | 1.5        | 362  | 467      | 305      | 362      | 378      | 602      | 522      | 522      | 602      | 641       | 641       | 641       | 641       | 641       | 641       | 583       | 340       | 398       | 398       | 602       | 602       | 641      | 524 |
|                                | LADO IZQUIERDO | 2          | 562  | 562      | 340      | 378      | 488      | 641      | 418      | 418      | 641      | 641       | 641       | 641       | 641       | 641       | 641       | 583       | 543       | 543       | 641       | 488       | 488       | 562      | 532 |
|                                |                | 2.5        | 583  | 467      | 340      | 340      | 488      | 562      | 543      | 543      | 641      | 641       | 641       | 641       | 641       | 641       | 641       | 602       | 470       | 467       | 467       | 488       | 488       | 562      | 547 |
|                                |                | 3          | 562  | 602      | 340      | 470      | 488      | 467      | 467      | 467      | 680      | 680       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 602       | 467       | 467       | 467       | 488       | 680       | 641      | 547 |
| RESISTENCIA PROMEDIO DE PUERTA | 3              | 467        | 543  | 305      | 340      | 418      | 562      | 467      | 467      | 641      | 680      | 602       | 641       | 602       | 488       | 467       | 467       | 467       | 467       | 467       | 562       | 641       | 562       | 522      |     |
|                                | 3              | 522        | 519  | 363      | 475      | 487      | 468      | 619      | 596      | 575      | 585      | 475       | 487       | 487       | 487       | 487       | 487       | 487       | 487       | 487       | 604       | 629       | 562       | 518      |     |





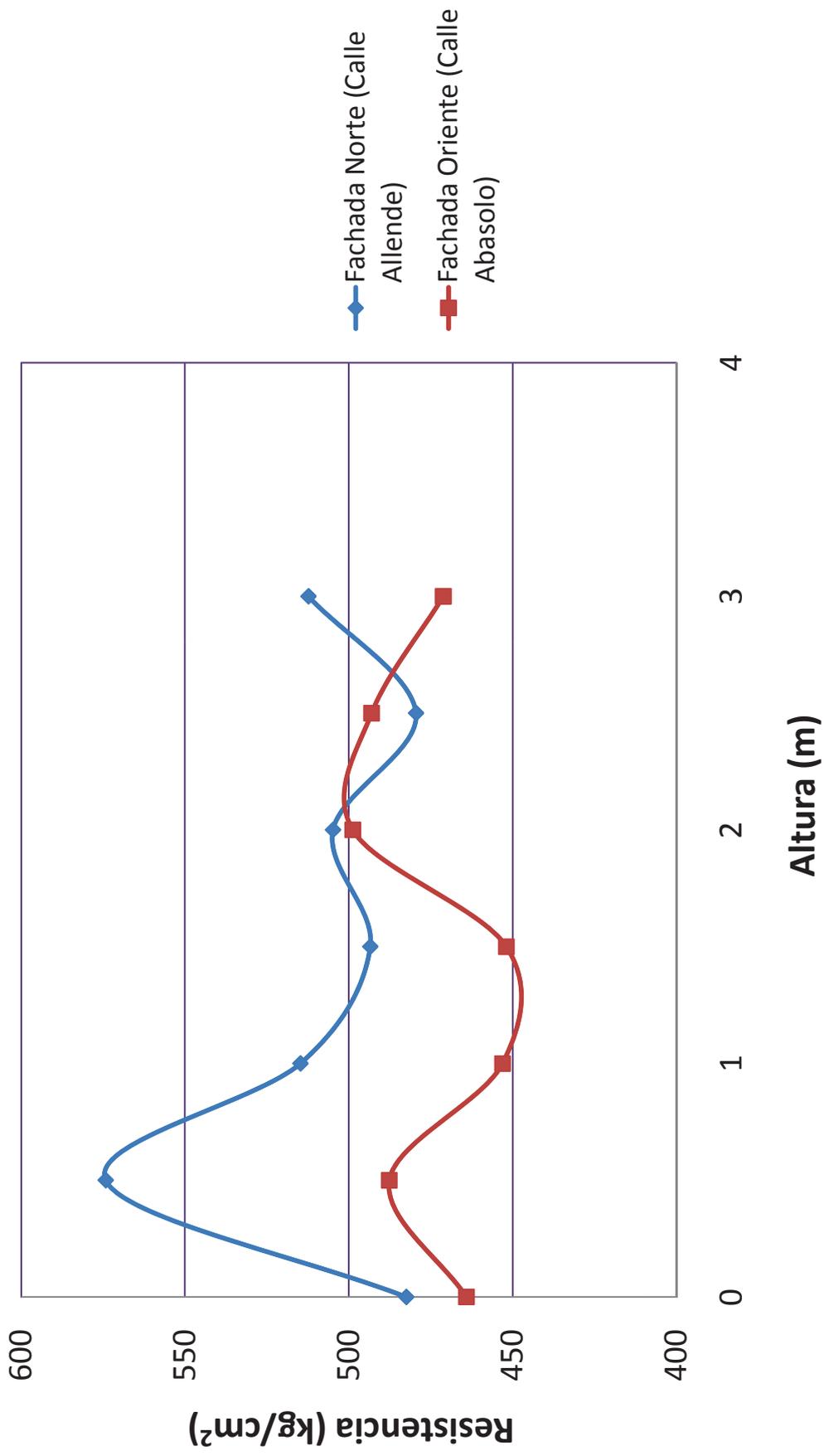
UBICACIÓN: FACHADA NORTE, CALLE ALLENDE

| UBICACIÓN                        | Área (m <sup>2</sup> ) |     | RESISTENCIA A PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> ) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |          |     |     |     |
|----------------------------------|------------------------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
|                                  | 0                      | 3   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | PROMEDIO |     |     |     |
| FACHADA NORTE<br>(CALLE ALLENDE) | 0                      | 488 | 778   | 562 | 562 | 562 | 467 | 378 | 563 | 563 | 470 | 562 | 438 | 563 | 457 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488      | 488 | 488 |     |
|                                  | 1                      | 522 | 480   | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480      | 480 | 480 | 480 |
|                                  | 2                      | 305 | 378   | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378      | 378 | 378 | 378 |
| 2.5                              | 513                    | 378 | 378   | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488      | 488 | 488 | 488 |
| 3                                | 643                    | 672 | 672   | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438      | 438 | 438 | 438 |

UBICACIÓN: FACHADA ORIENTE, CALLE ARASCOLO

| UBICACIÓN                        | Área (m <sup>2</sup> ) |     | RESISTENCIA A PRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> ) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |          |
|----------------------------------|------------------------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
|                                  | 0                      | 3   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 32  | 33  | 34  | PROMEDIO |
| FACHADA ORIENTE (CALLE ARASCOLO) | 0                      | 488 | 778   | 562 | 562 | 562 | 467 | 378 | 563 | 563 | 470 | 562 | 438 | 563 | 457 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488      |
|                                  | 1                      | 522 | 480   | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480      |
|                                  | 2                      | 305 | 378   | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378 | 378      |
| 2.5                              | 513                    | 378 | 378   | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488 | 488      |
| 3                                | 643                    | 672 | 672   | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438 | 438      |

## Fachada



## 9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En las rocas no se puede predecir un comportamiento mecánico exacto, pues su elaboración no tiene control de calidad preciso, y al ser éstas un material de construcción de origen natural no podemos determinar su rango de resistencia como se hace en el caso de un concreto, que es un prefabricado y en el cual, dependiendo del proporcionamiento que se utilice, se tendrá cierta resistencia a determinado tiempo.

Por lo anterior se puede observar que los resultados aún que son variables nos arrojan resistencias promedio mayores a las que tienen las rocas sanas.

Esto lo podemos comparar con la Tabla obtenida del libro “La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arquitectura”, Vol. II, en el cual se mencionan valores de resistencia para los bancos de ignimbritas de Cointzio, Jamaica y Tejocote, de 47.03 kg/cm<sup>2</sup>, 61.51 kg/cm<sup>2</sup> y 73.86 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.[10]

En la misma tabla nos muestran valores para algunos edificios como Casa de la Cultura, Templo de Capuchinas, Colegio San Nicolás y Catedral que presentan valores de 300 kg/cm<sup>2</sup>, 320 kg/cm<sup>2</sup>, 350 kg/cm<sup>2</sup> y 280kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. [10]

Si quisiéramos comparar la resistencia del inmueble en estudio podríamos decir que es superior a los demás inmuebles y que por lo tanto está en perfectas condiciones, pero como ya se mencionó el comportamiento de las rocas es impredecible y lo único que se puede concluir es que la resistencia es variable dependiendo del origen y formación de la roca. También se deben de tomar en cuenta los factores de orientación del inmueble y tráfico vehicular, ya que estos influyen en el deterioro de los edificios.

Lamentablemente no se tiene el dato de la procedencia de la cantera que se utilizó en este edificio y actualmente sólo se realiza la explotación de los bancos de Cointzio y Tlalpujahuá, por lo que es imposible hacer un comparativo de la resistencia de la ignimbrita del edificio con la del banco de procedencia.

En las gráficas podemos observar que la resistencia promedio en columnas (fuste) del Patio A es de 400 kg/cm<sup>2</sup> a 500 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en columnas (fuste) del Patio B la resistencia va de 500 kg/cm<sup>2</sup> hasta más de 600 kg/cm<sup>2</sup>, estos valores aplican en los dos niveles, con la aclaración de que en el Patio A en planta baja la resistencia máxima promedio que se obtiene es de 488 kg/cm<sup>2</sup>, esto se puede suponer que es porque visiblemente éstas columnas presentan eflorescencias y picaduras, como se reportó en el subcapítulo 6.4 del presente trabajo y en donde se menciona que posiblemente la eflorescencia se deba a un microclima que se genera en el patio principal por la doble altura que presenta.

En lo que respecta a los datos de las comunas la resistencia es uniforme en ambos patios y niveles, teniendo una resistencia promedio variable entre 400 kg/cm<sup>2</sup> y 500 kg/cm<sup>2</sup>, únicamente se vuelve a notar disminución en los datos de columnas de la planta baja del Patio A, suponiendo es el mismo caso que en el fuste.

En los marcos de las puertas podemos observar que la resistencia es ligeramente menor en planta baja que en planta alta, ya que en la primera se observan valores de  $442 \text{ kg/cm}^2$  hasta  $569 \text{ kg/cm}^2$  y en planta alta los valores oscilan de  $481 \text{ kg/cm}^2$  hasta  $558 \text{ kg/cm}^2$ , es probable que esta pequeña disminución sea producida por la eflorescencia observada en planta baja.

En cuanto a la fachada se puede observar una mayor resistencia en la fachada Norte que esta sobre la calle Allende, aquí podemos concluir que debido a la orientación del inmueble no presenta mayores daños en sus fachadas por la acción de los vientos dominantes, ya que estos van de Sur a Sureste y el edificio en estudio cuenta con inmuebles colindantes en ese sentido.



Se puede suponer que la disminución de resistencia en la fachada Oriente sobre la calle Abasolo, con respecto a la fachada Norte, es producto del tráfico vehicular, ya que el tránsito en esta calle es más lento, pues para incorporarse a las siguientes calles deben dar vuelta o hacer un pequeño giro para incorporarse frente a la plaza de armas y tomar la avenida Francisco I. Madero, lo que ocasiona que al estar mayor tiempo parados los vehículos sus contaminantes se adhieran a los muros de la fachada.

Como conclusión final se puede decir que lo más recomendable sería que se protejan los inmuebles con cantera expuesta ya que no existe forma de restituir la pieza que se encuentre dañada pues la resistencia varía considerablemente de la que se tiene a la que pudiera obtenerse de alguno de los bancos.

Una alternativa sería recubrir con algún mortero, pero claro el costo sería sacrificar la belleza de estos edificios, lo cual afectaría probablemente la economía de la ciudad, ya que una de las principales fuentes de empleo la constituye el turismo.

Lo más viable para llevar a cabo la conservación de inmuebles con este tipo de construcción es que se integren equipos multidisciplinarios constituidos por ingenieros civiles, arquitectos, antropólogos, restauradores, geólogos, biólogos y demás que se puedan considerar afines con el material en estudio, sin descuidar, por supuesto, la estabilidad y diseño de cada elemento.

Finalmente cabe resaltar la importancia que tiene el constante mantenimiento de cualquier inmueble y especialmente en este tipo de edificios con cantera expuesta, ya que lo más conveniente es tener un constante control de calidad de cada una de las piezas, realizando periódicamente revisiones por expertos para detectar cualquier manifestación de deterioro y atacarla.

## 10. REFERENCIAS

1. Espejel Cruz Ricardo, 2003, "Breve Reseña Histórica de Morelia. Versión 2003", [www.espejel.com/Morelia.doc](http://www.espejel.com/Morelia.doc)
2. Corona Chávez Pedro y Garduño Monroy Victor Hugo, "EL ORIGEN GEOLÓGICO DE LA PIEDRA DE CANTERA Y LA IMPORTANCIA DE SU ESTUDIO PARA LA CIUDAD DE MORELIA", En Contacto, Revista Electrónica del Centro de Cómputo Universitario, Marzo-Abril 99, Año\_4\_Núm. 21, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, [www.umich.mx/univ/publica/contacto](http://www.umich.mx/univ/publica/contacto)
3. "MUSEO REGIONAL MICHOACANO (DR.NICOLÁS LEÓN CALDERÓN)", [www.indaabin.gob.mx/dgpif/historicos/museo%20regional%20michoacano.htm](http://www.indaabin.gob.mx/dgpif/historicos/museo%20regional%20michoacano.htm)
4. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo 1998, "Morelia Patrimonio Cultural de la Humanidad, Museos, Museo Michoacano", [www.umich.mx/mich/morelia/museo-2.html](http://www.umich.mx/mich/morelia/museo-2.html)
5. Ramírez Romero Esperanza, "Catálogo de Construcciones Civiles y Religiosas de Morelia", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, División de Ciencias y Humanidades, Departamento de Investigaciones Artísticas, Morelia México 1981, pp 144-146
6. Arcos Uribe Rodolfo J, Arreygue Ferreyra Rosa Isela, Díaz Martínez Sergio Rene, Guizar Vargas Dora María, Lelo De Larea López Laura, Leonardo Ixchel Luis y Pérez Acuña Claudia Jimena, "TALLER DE PROYECTOS II: MUSEO REGIONAL MICHOACANO", Maestría en Arquitectura, Investigación y Restauración de Sitios y Monumentos, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura.
7. Rey Branca Gonzalo, "Sismicidad y Vulcanismo", [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
8. "Bosquejo geográfico de Michoacan", [www.umich.mx/museo/hist-natural/zoologia/aves/geografia.html](http://www.umich.mx/museo/hist-natural/zoologia/aves/geografia.html)
9. Ferreyra Mónica Alicia, "CURSO BÁSICO DE GEMOLOGÍA, Capítulo 7: El Ciclo de las Rocas", [www.mailxmail.com](http://www.mailxmail.com)

10. Mendoza Anaya Demetrio (ININ), Arenas Alatorre Jesús A. (IF-UNAM)/ y Ventura Rodríguez Lugo (CUV-BUAP) "La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología - Volumen II", Editorial Langares de México, S.A. de C. V., 2005
11. García Guzmán Cristian R. "Las Rocas. Tipos y Ciclo. Capitulo 3: Rocas. Formas de deterioro", [www.mailxmail.com](http://www.mailxmail.com)
12. Álvarez Pérez Aurelio, "FORMAS DE ALTERACION DE LA PIEDRA", Universidad Autónoma de Barcelona
13. [www.visitmorelia.com](http://www.visitmorelia.com)
14. [www.abcpedia.com](http://www.abcpedia.com)
15. [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)
16. [www.keith.martin.home.att.net](http://www.keith.martin.home.att.net)
17. [www.windows.ucar.edu](http://www.windows.ucar.edu)
18. [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
19. [www.astromia.com](http://www.astromia.com)
20. [www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com)
21. [www.encarta.msn.com](http://www.encarta.msn.com)
22. [www.contenidos.educarex.es](http://www.contenidos.educarex.es)
23. [www.ecologiagera.blogspot.com](http://www.ecologiagera.blogspot.com)
24. [www.fortunecity.es](http://www.fortunecity.es)
25. [www.uclm.es](http://www.uclm.es)
26. [www.intromac.com](http://www.intromac.com)

27. [www.redescolar.ilce.edu.mx](http://www.redescolar.ilce.edu.mx)
28. [www.geovirtual.cl](http://www.geovirtual.cl)
29. [www.redes-cepalcala.org](http://www.redes-cepalcala.org)
30. [www.atlasdemurcia.com](http://www.atlasdemurcia.com)
31. [www.ingenieracivil.blogspot.com](http://www.ingenieracivil.blogspot.com)
32. [www.cienciasterrestres.lacoctelera.net](http://www.cienciasterrestres.lacoctelera.net)
33. L. Don Leet, "Fundamentos de geología física", Universidad de Harvad, Universidad de Princeton Sheldon Judson, Ed. Limusa, México
34. Chester R. Longwell y Richard F. Flint, "Geología Física", Editorial Limusa, México primera edición
35. Arthur Homes DSc LLD FRS, "Geología Física", Tercera edición revisada por Doris L. Holmes DSc FRSE FGS, Ediciones Omega, S. A. Plató, 26-08008 Barcelona