



Universidad Nacional Autónoma de México

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Campo de Conocimiento de Tecnologías

USO DE LOS MATERIALES PÉTREOS EN LA ARQUITECTURA:

Panel Prefabricado de piedra.

Tesis que para optar por el Grado de Maestro en Arquitectura

Presenta:

ESDRAS ALVAREZ ARREOLA.

Tutor Principal:

M. en Arq. Ernesto Ocampo Ruíz.

Facultad de Arquitectura, UNAM

Miembros del Comité Tutor, y Sínodo completo:

Mtro. Jorge Rangel Dávalos

Facultad de Arquitectura, UNAM

Mtro. Francisco Reyna Gómez

Facultad de Arquitectura, UNAM

Mtro. Sergio Alfonso Martínez González

FES ARAGÓN - UNAM

Dra. Mariana Flores García

Universidad Americana de Europa, UNADE

Ciudad Universitaria, CD. MX. Diciembre 2022



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“Madre la selva canta,”

El violín de Yanko (Fragmento)

de Marcos Rafael Blanco Belmonte

Mateo 16:18

Yo te digo que tú eres Pedro, y sobre esta piedra edificaré mi iglesia, y las puertas del reino de la muerte no prevalecerán contra ella.

Índice:

INTRODUCCION	1
1.- PRESENTACIÓN	4
2.- ANTECEDENTES	7
2.1.- ETAPA PREINDUSTRIAL	7
2.2.-LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	10
2.3.-USOS ACTUALES.....	12
3.- MARCO TEORICO	14
3.1.-CLASIFICACIÓN	14
3.2.-CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES PETREOS.....	18
3.2.1.-EXTRACCIÓN.....	21
3.2.2.-TRANSFORMACIÓN.....	25
3.2.3.-USOS ARQUITECTÓNICOS	29
3.2.4.-CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN	33
3.2.5.-FIN DE LA VIDA ÚTIL.....	37
3.3. ESTADO DEL ARTE	39
Tensado	39
Paneles Reforzados.....	40
Sustentabilidad.....	41
4.-INVESTIGACIÓN	45
4.1.-CANTERA DE LA CIUDAD DE DURANGO	45
4.2.-PROPIEDADES DE LA CANTERA	50
4.3.-PANEL PREFABRICADO DE PIEDRA	55
4.4.-MODELO DE PRUEBA DE PANEL PREFABRICADO DE CANTERA.....	59
CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS:	75

INTRODUCCION.

Esta tesis nace de la experiencia profesional en el uso de los materiales pétreos (especialmente la cantera) desde la cual se logra percibir la necesidad de generar información acerca de estos y su relación con los diversos aspectos de la arquitectura. Por medio de investigación documental, conocimientos empíricos y pruebas de laboratorio se elaboró una estructura de información que busca en una primer instancia sintetizar las generalidades de estos materiales y en una segunda elaborar la propuesta de un sistema constructivo cuya matriz principal sean la cantera de la ciudad de Durango, lugar donde esta experiencia personal fue adquirida. El contenido se estructura de la siguiente manera:

PRIMERA PARTE: GENERALIDADES

Capítulo 1- Presentación: Describe la propuesta metodológica usada durante el desarrollo de la investigación, así como la hipótesis y objetivos de esta.

Capítulo 2 - Antecedentes: Se elabora un análisis histórico del desarrollo del uso de los materiales pétreos en la construcción, distinguiendo principalmente dos grandes etapas la preindustrial y la postindustrial.

Capítulo 3 - Marco teórico: Está compuesto por dos partes la primera propone una estructura general del ciclo de vida de los materiales pétreos en la arquitectura, ésta se desarrolla en 5 etapas; 1.-extracción, 2.-transformación, 3.-usos arquitectónicos, 4.-conservación / restauración y 5.-Fin de la vida útil. La segunda pretende esbozar el estado del arte del uso arquitectónico del material

SEGUNDA PARTE: PROPUESTA

Capítulo 4 – Investigación: Esta parte describe las partes que conforman al panel tanto extrínsecamente como intrínsecamente. Dado que el modelo a desarrollar es planeado para ser aplicado a un tipo de piedra en específico se hace una descripción del medio físico donde esta es extraída. Después se enumeran las

propiedades del material y finalmente se muestra la propuesta elaborada para el panel.

Conclusiones: Las conclusiones están orientadas en dos sentidos, hacia el aspecto técnico del sistema propuesto y en la perspectiva global de la tecnología de los materiales pétreos.

Esta tesis está dirigida principalmente a los actores involucrados en la industria de los materiales pétreos, en especial a las empresas comercializadores (extractoras y transformadoras), a los estudiantes y docentes de arquitectura, así como a los profesionistas involucrados en los procesos de edificación, quienes pueden encontrar aquí una herramienta útil para el conocimiento de nuevas tecnologías relacionadas con los materiales pétreos, pretende ser un documento académico que describe con una visión arquitectónica un material constructivo de innegable relevancia y presencia en la edificación actual.

PRIMERA PARTE

1.- PRESENTACIÓN.

La piedra ha estado presente en la vida del hombre aún antes de que éste pudiera controlar el fuego, manipular los metales o cosechar vegetales; es la más básica de las armas; durante siglos material esencial para la construcción de las grandes obras arquitectónicas, que por sus características físicas se transformó en icono de: estabilidad, permanencia, eternidad; imagen que aun hoy evoca una primigenia sensación de seguridad. Pero esta imagen mental de los materiales pétreos¹ es todo lo que queda de su uso en la arquitectura, en el mundo Industrializado el uso de la piedra como la masa estructural del edificio y como acabado final del mismo ha cambiado lentamente, ha migrado hacia aplicaciones principalmente decorativas.

“... en muchos edificios de finales del siglo XX las técnicas de revestimiento en piedra tuvieron poco en cuenta las posibilidades y las características del material: la naturaleza de la piedra se sacrificó frente a la eficacia tecnológica.”²

Esta cita, David Dornie, nos esboza el estado del arte de los materiales pétreos arquitectónicos, el cual busca de forma general hacer más eficientes sus procesos productivos. Pero en México, el desarrollo tecnológico de esta industria pareciese ser nulo, los sistemas constructivos y de producción son tecnológicamente atrasados. Las posibilidades de un material como la piedra son muy amplias y aunque se tiene un dominio en su manejo técnico, siempre es posible de una mejoría por medio del constante avance de las tecnologías constructivas y de análisis.

¹ En este documento se entenderá como material pétreo el que está formado principalmente por algún tipo de roca o cuya matriz dominante es esta.

² David Dornie-Arquitectura en piedra-Blume pag.228

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La piedra tiene una importante presencia en la construcción, su uso en la arquitectura, actualmente ha pasado a ser el de un material principalmente decorativo, gracias a sus propiedades estéticas (textura, color, brillo etc), pero otras son poco aprovechadas.

Cada material pétreo posee características particulares y su uso está ligado a la región en la que se ubican, lo cual hace necesario que estos estudios se hagan en el contexto de las áreas que estos materiales abarcan, que dependiendo de la demanda de los mismos puede ser desde local hasta mundial.

En la ciudad de Durango, la cantera es una piedra muy abundante, existen edificaciones históricamente importantes construidas con dicho material y su uso en la construcción local ha sido constante, pero su explotación e industrialización no ha florecido como un sector económico de importancia. Actualmente esta actividad económica, realiza la mayoría de sus trabajos haciendo uso de medios manuales y presenta poca industrialización, siendo la extracción el área que se encuentra más atrasada, ya que en esta se trabaja enteramente por medios manuales. Los usos de la cantera se limitan a la decoración y pavimentación de aceras y su comercialización fuera de la región es casi nula.

JUSTIFICACIÓN.

La realización de este tipo de estudios, es de gran importancia, ya que el avance técnico en cuanto a los materiales pétreos se ha dejado de lado en favor de otros materiales, que en apariencia presentan beneficios mayores, pero la falta de estudio respecto a un área puede llevar a la pérdida de conocimientos ya adquiridos acerca de la misma.

El estudio de las características de los materiales pétreos, en este caso la cantera, podría activar su industrialización en México, que actualmente se encuentra estancada, y no sigue el paso a otros ramos que tecnológicamente han avanzado mucho más en un tiempo relativamente corto.

HIPOTESIS.

El análisis de las propiedades físicas de la cantera, así como el estudio de sus procesos de producción permitirá un avance tecnológico en su uso.

OBJETIVOS:

GENERAL:

- Desarrollar una tecnología basada en las cualidades particulares de la cantera, para incrementar su uso en la arquitectura

PARTICULARES:

- Comprender el uso histórico de los materiales pétreos en la construcción, así como su estado del arte, para establecer una base de partida para su análisis.
- Conocer las propiedades físicas y mecánicas de la cantera, para poder ubicar sus posibles usos y aplicaciones dentro de nuevas tecnologías o sistemas constructivos.
- Crear nuevos usos de la cantera en sistemas constructivos o nuevas tecnologías afines a esta, para crear una demanda ahora inexistente.

2.- ANTECEDENTES.

Hoy en día la piedra es utilizada esencialmente como un recubrimiento, ya sea en muros o en pisos, exceptuando algunos usos tradicionales como los cimientos de mampostería, es decir que ha dejado de emplearse como elemento de carga. ¿Pero cuál es motivo de la transformación en su uso? La explicación más simple es, que los materiales pétreos carecen de las bondades tecnológicas del concreto, pero esta lógica parece insuficiente y en algunos casos cuestionable hoy en día.



Ilustración 1 Stonehenge es un monumento neolítico, tipo Cromlech, de la Edad del Bronce situado cerca de Amesbury en Wiltshire, Gran Bretaña (reproducción hecha con fines didácticos)

Haciendo un análisis histórico de la evolución en el uso arquitectónico de los materiales pétreos se puede dividir principalmente en dos grandes etapas: la pre-industrial y la post-industrial.

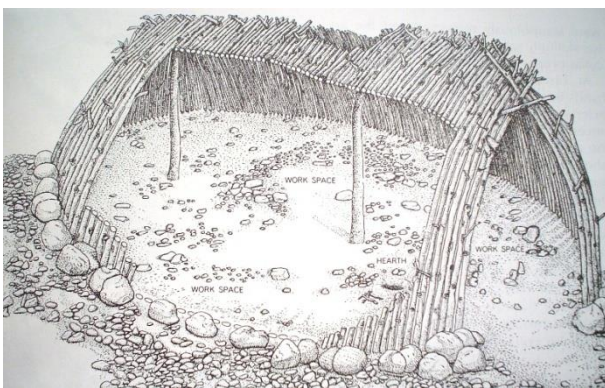


Ilustración 2 Reconstrucción de las ruinas de Terra amatta (reproducción hecha con fines didácticos)

2.1.- ETAPA PREINDUSTRIAL

La etapa pre-industrial abarca desde las primeras estructuras edificadas, donde se usaba la piedra como elemento constructivo, ésta se puede ubicar desde el Neolítico; aunque se han encontrado evidencias del uso de rocas en construcciones en el Paleolítico, como es Terra Amatta en Francia³, aunque en esta construcción la piedra no es usada como un

³ Kostof Spiro, A History Of Architecture.

material primario.

Es propiamente en el periodo neolítico en donde aparecen estructuras hechas con piedras, destacando los megalitos como son: los Dolmen y los Menhires estas construcciones se mantienen en pie y son fechadas entre 5000 y 3000⁴ a.C., en ellas se evidencia el uso más simple de la roca, su colocación gravitacional, es decir la transmisión de cargas de forma directa, el empleo de grandes masas para su estabilidad estructural.



Ilustración 3 Templo de Ggantija, Islas de Malta (reproducción hecha con fines didácticos)

En el periodo comprendido entre el 3000 y 2000 a.C. se erigieron construcciones más complejas como es Ggantija, en la isla de Malta, esta podría clasificarse como una de las primeras edificaciones con un propósito específico, el religioso, el principio es el mismo, la construcción seca de forma gravitacional, pero creando espacios interiores bien definidos.



Ilustración 4 Pórtico de las cariátides, templo de Erecteion, Acrópolis, Grecia (reproducción hecha con fines didácticos)

La arquitectura egipcia en esta misma etapa hace uso del mismo principio constructivo, vemos una vez más las grandes masas de roca, pero ya se comienza a trabajar el material, se prepara antes de su colocación, no es usado de forma natural, se comienza de forma primitiva la prefabricación. Los arcos adintelados (arcos de sección recta) son construidos por secciones las

columnas se hacen en segmentos y comienza la decoración de estos elementos un

⁴ Ibídem

ejemplo claro, es el capitel palmiforme.

De los egipcios a los griegos continua el proceso de perfeccionamiento de la técnica constructiva los templos y los edificios civiles alcanzan tamaños mayores y la escultura ya forma parte de la arquitectura. El pórtico de la cariátides en el templo de Erecteion es un ejemplo clásico de esa fusión entre estructura y decoración que se repite muchas veces en elementos ejecutados con piedra natural y aun presente el arco de sección recta.



Ilustración 5 Acueducto de la época romana en Segovia, España (reproducción hecha con fines didácticos)

En la etapa comprendida entre los etrusco y los griegos comienza el surgimiento de lo que seria el siguiente salto tecnico del uso de la piedra el arco curvo, cabe aclarar, que este es un elemento que fue evolucionando, desde el Neolítico. Tanto el arco, como su desarrollo, la bóveda, marcan el uso de la piedra como elemento estructural y decorativo. Los romanos utilizan ambas

formas en muchas de sus edificaciones, y difunden su uso por todo su imperio.

A partir de aquí los desarrollos en el uso de los materiales pétreos giran entorno de la mejora técnica en su extracción, manipulación y construcción, una constante búsqueda de mayores alturas y ligereza. La piedra como elemento constructivo, se fue consolidando como el material estructural ideal para la edificación de templos, murallas, castillos e infinidad de otros tipos de estructuras en los que por su magnitud se requerían: durabilidad, resistencia y belleza.

2.2.-LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.

En 1768 James Watt construyó el primer modelo de una máquina de vapor que



Ilustración 6 Máquina de vapor de Watt, procedente de la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, expuesta en el vestíbulo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. (Reproducción hecha con fines didácticos.)

funcionaba de manera eficiente, esta es el icono de la revolución industrial, es en esta etapa donde se unen la producción e investigación científica con fines económicos.

El capitalista, buscando formas de incrementar su producción se apoya en el desarrollo de maquinarias y técnicas para lograr este objetivo. La necesidad de mejorar los procesos productivos los llevan a invertir en investigación científica, que se ve beneficiada

por los nuevos requerimientos de los industriales, pues ésta les permitirá aplicar soluciones teóricas que no podrían emplearse en la producción sin la colaboración de los investigadores. El apoyo de capital privado, es la sinergia entre estos factores (producción-capital-investigación) misma que permitió el surgimiento de las primeras tecnologías, es en este momento histórico en el que se marca la transición a la época moderna.

En la arquitectura el periodo antes mencionado definió no solo la transformación de los procesos de producción, sino que también determinó el cambio entre la arquitectura Pre y Pos industrial, este proceso se concreta a finales del siglo XIX d.C. La revolución industrial fue sin duda el detonador que inicio esta transición, ésta se debió a que con la industrialización y el capitalismo se propició una constante competencia entre productores, para reducir costos e incrementar la producción, así como de mejorar la calidad de los productos, durante esta etapa principio la industrialización del cemento Pórtland y es entonces cuando también se obtienen aceros de mayor resistencia y eventualmente se utilizaría el concreto reforzado con acero, el cual por su economía y propiedades constructivas más flexibles sustituyó a los materiales pétreos como elementos de carga.



Ilustración 7 El Pabellón Barcelona de Mies Van Der Rohe fue construido con láminas delgadas de mármol y otras piedras (Reproducción hecha con fines didácticos.)

La arquitectura generada por la revolución industrial se caracterizó por la búsqueda de formas innovadoras, del futuro y de la modernidad, entonces apareció un nuevo mundo donde las formas viejas eran rechazadas, así, los usos tradicionales de la piedra fueron poco a poco abandonados y la industria de los materiales pétreos no presentó una respuesta tecnológica acorde a los nuevos

tiempos, simplemente reacciono adecuando su producción a la demanda, la que conservo su importancia de uso en la construcción fue para la decoración, las demás aplicaciones disminuyeron su empleo.

“La creciente ligereza de los métodos de construcción moderna ha eliminado el impactante sentido de ponderosidad inseparable de solidos muros y cimentaciones masivas”⁵

En esta cita Gropius nos evidencia la nueva visión de los materiales pétreos donde ya pueden ser considerados como piezas ligeras, una piel que viste estructuras más ligeras y resistentes.

Es importante destacar que la piedra realmente nunca se dejó de utilizar, pero si disminuyo significativamente su uso. Es a partir del pos-modernismo, que se volvió un poco la mirada hacia los antiguos estilos y se suavizaron las ideas reaccionarias acerca de la ornamentación de la arquitectura. Esto permite un eventual desarrollo tecnológico en el uso de los materiales pétreos.

El desarrollo de maquinaria capaz de sustituir la mano de obra, capaz de lograr laminados de piedra más delgados que se acoplaron a las estructuras de acero,

⁵ Walter Gropius, La nueva arquitectura y la Bauhaus

concreto y tabique, recubriendo la arquitectura y dejando la superficie de alguna piedra. Pero el desarrollo de una tecnología de los materiales pétreos durante muchos años fue prácticamente nulo, limitado únicamente a hacer más eficiente su extracción y manipulación.

2.3.-USOS ACTUALES

El avance tecnológico en el uso de los materiales pétreos, deriva precisamente de las nuevas herramientas en su manipulación, las cuales hicieron posible la obtención de placas más delgadas, llamadas laminados, éstos se comenzaron a utilizar a principios del siglo XX, (aunque en principio, no son una innovación ya que los asirios ya recubrían estructuras de adobe o ladrillo con placas de piedra), estas placas se lograron manufacturar en espesores tan esbeltos que estas ya no trabajaban de manera gravitacional, sino que trasladan los esfuerzos al elemento que las soporta, resultando en una modificación en la forma en que eran ejecutados estos recubrimientos.

Para mediados del siglo XX se hacían uso de estructuras metálicas adosadas a muros para soportar los laminados, creando un hueco entre



8"La piedra, como el vidrio, resiste a la compresión, pero es frágil y acaba fragmentándose. Si pudiéramos proteger la piedra de la tensión y las cargas repentinas, quizás podríamos construir una pantalla utilizando la obra en piedra como material estructural principal."

-Peter Rice—



Ilustración 9 Diferentes tipos de paneles de piedra reforzadas con una placa tipo "panel de abeja" de aluminio.
Foto: Stonecontact.com
(Reproducción hecha con fines didácticos.)

muro y laminado (muro cortina) y entre los 70s y 80s se comenzaron a elaborar laminados ultra ligeros, los cuales disminuían al mínimo el espesor de la piedra, por lo tanto es necesario que esta se refuerce con algún otro elemento que le da rigidez a la flexión.

En 1992 Peter Rice, aplica el Procedimiento de Tensado a una estructura a base de arcos piedra en el Pabellón del Futuro de la expo Sevilla 1992, logrando arcos de gran altitud y esbeltez, que no requieren de contra trabes u otros elementos para darles estabilidad, el pabellón fue demolido al finalizar la expo⁶.



Ilustración 10 Pabellón del Futuro de la expo Sevilla 1992
(Reproducción hecha con fines didácticos.)

⁶Seville pavillion <http://www.see.ed.ac.uk/~s0345236/Thesis/Web%20Poster/Case%20Studies/Seville%20Pavilion.html>

3.- MARCO TEORICO.

Las variedades de los materiales pétreos es muy amplia: “el día de hoy los arquitectos pueden escoger entre 8,000 variedades diferentes”⁷, estas abarcan los diversos tipos de piedras que existen. En este trabajo se entenderá por materiales pétreos a: **las rocas naturales extraídas de bancos de piedra con una composición interna homogénea dentro de unos límites**, “Las rocas pueden ser simples o compuestas, según estén constituidas por iguales minerales o distintos”⁸. Cada una es diferente en cuanto a sus características naturales, pero de manera general las rocas se comportan como un material rígido, con resistencia a la tensión muy baja y una resistencia a la compresión y a la abrasión variable, se puede afirmar que su comportamiento es similar al de los materiales cerámicos, siendo las rocas un cerámico natural⁹. Finalmente cabe destacar que aunque los materiales pétreos comparten propiedades físicas similares, por ser un material natural, cada roca es única inclusive dentro de un banco de material existen variaciones en el color, la densidad y la resistencia del material.

3.1.-CLASIFICACIÓN.

El primer acercamiento en el conocimiento de los materiales pétreos es su clasificación, existen diversas formas en que un material puede ser clasificado, desde el punto de vista de su uso arquitectónico, son de importancia: su génesis y uso.

POR SU GENESIS.

Esta clasificación, es también conocida como petrográfica o geológica, divide a las rocas por su mecanismo de formación, las rocas son los materiales más abundantes de la tierra, su variedad es tan extensa que su clasificación es igualmente extensa, aquí solo se expone sus tres principales ramas, que engloban a todas las rocas, estas son: ¹⁰

⁷ Ine Ter Borch, David Keuning et al – Skins for Buildings

⁸ Félix Orus Asso, Materiales de construcción

⁹ Askeland, Donald R, Ciencia e ingeniería de los materiales pag 12

¹⁰ Félix Orus Asso, Materiales de construcción

- **Ígneas o Eruptivas:** se forman al enfriarse un magma fundido, habiéndose consolidado en el interior de la corteza terrestre las llamadas de **profundidad o plutónicas** (granito); en el exterior las **efusivas o volcánicas** (rolitas) y a poca profundidad las **filoneanas** (pórfidos).
- **Metamórficas:** estas rocas se formaron a partir de las rocas volcánicas y las sedimentarias, por transformaciones en su composición mineralógica y estructura, a causa de las grandes presiones, temperaturas elevadas de las capas profundas de la corteza terrestre y de las emanaciones gaseosas de los magmas. Como estas transformaciones afectan tanto a rocas sedimentarias como volcánicas existen metamórficas de ambos orígenes.
- **Sedimentarias:** se forman al depositarse los fragmentos de las rocas eruptivas y metamórficas, por cristalización de sustancias disueltas en el agua, acumulación de restos orgánicos o productos de explosiones volcánicas. Teniendo en cuenta como se han producido estos sedimentos se clasifican a su vez en: Sedimentación mecánica, precipitación química, origen orgánico y origen volcánico.

CLASIFICACIÓN ASTM.

Este tipo de clasificación se basa en el uso que se le da al material, no sigue ningún lineamiento técnico o científico, es la clasificación que se usa de manera comercial, para facilitar el uso de estos materiales al usuario. La ASTM¹¹, en la norma “C 1528 – 08” engloba los materiales pétreos en los siguientes campos:

1. **Granitos:** Es una roca ígnea plutónica, formada principalmente por cuarzo, feldespato y mica de colores: blanco y negro, grises, amarillento, rojizo y verdes, su apariencia es granulosa y acepta un pulido muy uniforme, características que comparten muchas de las rocas ígneas, razón por la cual la mayoría de estas sean conocidas como granitos

¹¹ American Society for Testing and Materials Norma: C 1528 – 08

2. **Mármoles:** Son rocas calizas metamórficas, permiten un pulido muy fino como los granitos, pero a diferencia de estos, el grano es uniforme, presentan un muy amplio rango de colores, el cual puede ser: sencillo, policromo y vetado, estas características son las que encierran a otras rocas dentro de los mármoles, el ejemplo más claro sería el mármol Travertino, que es una roca sedimentaria de precipitación química.



Ilustración 11 Mármol Travertino en realidad no es mármol sino una roca sedimentaria. (Reproducción con fines didácticos)

3. **Calizas:** Son rocas sedimentarias formadas por carbonato cálcico, pueden ser de origen orgánico químico y metamórfico. Su coloración varía en los blancos grises y cafés. Su textura puede ser de grano fino, pero sin aceptar un pulimiento de espejo como los mármoles o granitos. En México son conocidas comúnmente con el nombre de “Canteras”, denominando así a las rocas que tengan similitud con las calizas.

4. **Cuarzos:** es el bióxido o anhídrido silícico SiO_2 , es el principal constituyente de las rocas¹². Este es el nombre con el que se denominan a las rocas con un alto contenido de cuarzo, como las rocas silíceas sedimentarias. Su rango de colores es muy amplio, su textura dependerá del grano, pudiendo aceptar un pulido fino.



Ilustración 12 Pizarra para techo de la empresa Welsh Slate Foto tomada de la revista: Natural stone specialist. Tomo Marzo 2010 pág. 39 (reproducción hecha con fines didácticos.)

¹² Félix Orus Asso, Materiales de construcción

5. **Pizarras:** proceden del metamorfismo de las arcillas, son rocas que se pueden producir en piezas delgadas, normalmente usadas para el techado (aunque este uso no es muy común en México) o la pavimentación, también conocidas como lajas.

3.2.-CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES PETREOS.

Existe una gran variedad de materiales pétreos de uso arquitectónico, pero en general tienen un ciclo de vida común, ejemplificado en la ilustración 13. Cada cuadro representa una etapa del ciclo, iniciando en la extracción de la materia prima y terminando con el fin de su vida útil. Estas etapas y sus respectivas ligas son abordadas a fondo más adelante. Es necesario precisar que desde un punto de vista pragmático, los materiales pétreos no tienen un ciclo de vida, ya que el proceso mediante el cual las rocas transformadas de un tipo de roca a otro, toma millones de años (conocido como ciclo rocoso) este lapso de tiempo es tan largo, que es imperceptible dentro del tiempo de vida del hombre. De hecho es probable que ninguna de los materiales pétreos que han sido extraídos y manipulados por el hombre, se hayan ya reintegrado a este ciclo, más allá de ser simples sedimentos a baja profundidad.

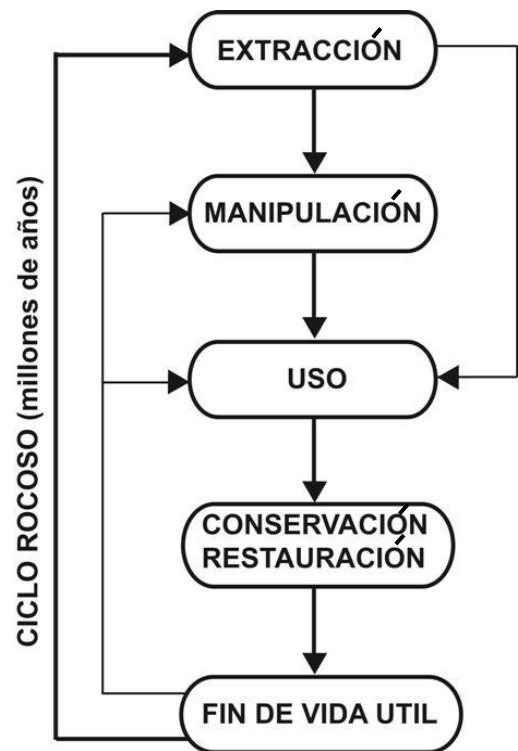


Ilustración 13 Esquema general del ciclo de vida de los materiales pétreos, las ligas representan las relaciones directas entre una etapa y la otra, por ejemplo: la liga de la extracción al uso hace referencia a que el material puede ser usado en su estado bruto, directo del banco, como son los cimientos de mampostería.

Instrumentos de trabajo.

En el libro “Stone A Legacy and Inspiration for Arts” se clasifica a las herramientas de la siguiente manera: “Las herramientas de tallado piedra se pueden dividir en tres principales grupos. Los primeros dos están involucrados en darle forma a la piedra, uno a través del impacto la otra a través de la abrasión. El tercer grupo se ocupa de la medición.”¹³

Aunque el libro se refiere a un trabajo de orden artístico y artesanal, pero el

13 •PATRIZIO, Andrew... [et al.] Stone A Legacy and Inspiration for Arts. Pag 141.

principio es válido para todos los ámbitos del ciclo de vida de los materiales pétreos, aunque sería necesario agregar un cuarto tipo de herramienta, las de manipulación. Estas herramientas tienen a su vez un grado de desarrollo tecnológico, ambos parámetros quedarían ejemplificados en la siguiente tabla:

<i>Nivel tecnológico</i>	Manual	Mecánico	Digital
<i>Tipo de herramienta</i>			
Manipulación	Barras, Rodillos	Polipasto, Grúas	Grúas Viajeras
Impacto	Hacha, cincel	Martillo neumático	
Abrasión	Lija, Limas	Pulidora, Fresadora	Fresadora de ejes múltiples
Medición	Escuadra, Transportador		Escáner 3D

Tipo de herramienta: Como fue expuesto con anterioridad, este parámetro se refiere tanto a la función de las herramientas, como a la forma en que trabajan, siendo los tipos de herramienta los siguientes:

1. **Manipulación:** En general, los materiales pétreos como elementos arquitectónicos (decorativos o constructivos ej. Conizas de cantera o piedra braza), tienen un peso mayor al que una persona podría manipular eficientemente o inclusive sería imposible hacerlo, adicionalmente muchos de estos elementos requieren un trato cuidadoso para evitar posibles daños. Estos requerimientos dan como resultado herramientas y equipos que permiten realizar la manipulación de forma segura y eficiente, por medio del uso de principios físicos como son las palancas y las poleas; la fuerza hidráulica y motriz
2. **Impacto:** Como su nombre lo indica, son las herramientas que por medio de impactos se utilizan principalmente para cambiar el volumen y la forma de los materiales pétreos, la gama de herramientas es muy amplia, pero el principio es el de un marro y un cincel o una hacha
3. **Abrasión:** Por este principio se llevan a cabo básicamente dos trabajos en las piedras, su pulido y su corte, el material abrasivo varía dependiendo del tipo de piedra, pero el más común es el diamante industrial.

4. **Medición:** Su uso es para dimensionar con precisión la piedra en todos sus ejes. Así como las herramientas de impacto las de medición tienen una variedad muy nutrida.

Nivel tecnológico: es el grado de desarrollo de las herramientas, se identifican tres niveles básicos:

1. **Manual:** Son las herramientas que se valen de la fuerza y control humanos en su desempeño.
2. **Mecánico:** Utilizan potencia artificial, ya sea eléctrica, neumática o química, pero sigue requiriendo control humano para su trabajo.
3. **CNC¹⁴:** Son equipos controlados numéricamente, por una computadora, lo cual permite sustituir parcial o totalmente la intervención humana, mas allá de alimentar datos y material al equipo.



Ilustración 14 Arriba izquierda, Herramienta de Puntos, usada para trasladar medidas de una maqueta al labrado en piedra. Reproducción hecha con fines educativos

Arriba derecha: Antiguas herramientas de labrado Marro y cinceles, los cuales aún son usados por los artesanos del labrado. Reproducción hecha con fines educativos

Abajo: Maquina CNC Lapisystem EVO de la compañía T&D Robotics capaz de moverse en múltiples ejes y trabajar distintos tipos de materiales.

Foto: Revista Natural Stone Specialist Sept 2010 pg 42



¹⁴ De las siglas inglesas: Computer Numeric Control.

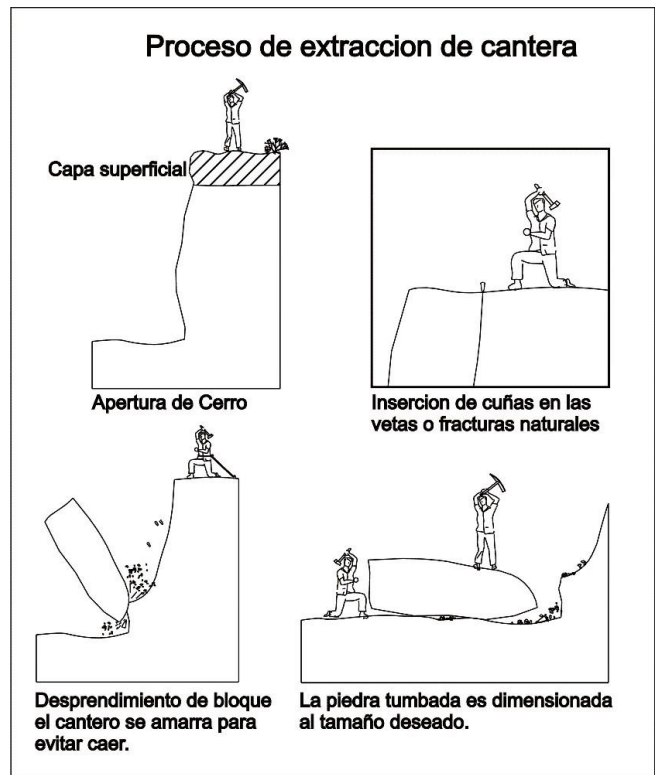
3.2.1.-EXTRACCIÓN.

La extracción es el proceso mediante el cual segmentos de piedra son separados de un macizo rocoso, esta es realizada en “**bancos de material**”, conocidos en México como “**Canteras**”¹⁵ estos bancos son de diversos tipos pero los más comunes son: a cielo abierto y mina subterránea, cabe mencionar que: “salvo casos muy excepcionales, la extracción de la piedra natural se realiza en explotaciones a cielo abierto”¹⁶

El procedimiento para la extracción de la piedra, es de forma general, común a la mayoría de los diferentes tipos de rocas, el cual consiste en:

1. Preparación.
2. Dimensionado primario.
3. Desprendimiento.
4. Redimensionado.

1. **Preparación:** esta etapa abarca las actividades preliminares a la extracción de la piedra, las cuales están enfocadas a hacerla posible, e incluyen: caminos de acceso, instalaciones para el personal, movimiento y retiro de materiales no aprovechables. En algunos tipos de piedra como la cantera, la capa superficial de



¹⁵ Procedimiento de extracción de cantera en la ciudad de Durango.

¹⁵ La palabra “cantera”, es un Homónimo, describe tanto al lugar de su extracción, como a un tipo de piedra de construcción, en este documento, se utilizara en este sentido, para el otro se utilizara “Banco de material”.

¹⁶ MINGARRO Martín Francisco en al, Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Pag78

material, al estar sometida a los efectos climáticos, carece de las características deseadas en un material nuevo, normalmente este material sometido a la intemperización es demasiado duro lo cual lo vuelve frágil, sirve solo como material de relleno, de uso rustico o cimentación.

2. **Dimensionado primario:** es el análisis de las vetas, fracturas y juntas del macizo rocoso, con el fin de determinar el tamaño máximo del material a separar del macizo y cuál es la mejor forma para desprender la piedra. En esta etapa es fundamental la planeación a futuro de la explotación del banco.
3. **Desprendimiento:** Consiste en separar la sección elegida utilizando alguno de los diferentes métodos de extracción, como son: manual, mecánico o químico, los cuales varían dependiendo del tipo de roca y capacidad de inversión del extractor.

Manual: esta es la forma más primitiva de extracción de piedra, pero es una técnica, que se ha perfeccionado a tal grado que llega a ser sumamente eficiente tomando en cuenta que utiliza solo la fuerza del hombre, haciendo uso de herramientas de mano, sogas, palancas y mucho ingenio, grandes bloques de piedra pueden ser manipulados con aparente facilidad, esta forma de trabajo carece de la seguridad, economía y rapidez de los otros medios extractivos, pero cuenta con dos grandes ventajas: dinamismo y movilidad. Los bancos de extracción regularmente están ubicados en zonas de difícil acceso; (laderas de montañas, áreas alejadas de los centros urbanos o demasiado accidentadas) además, la roca al ser un material natural al ser extraído se presenta en tamaños, formas y pesos muy diversos, por lo que no es posible eliminar por completo el trabajo manual de las actividades extractivas.

La metodología de extracción que usan consiste en:

- a) Una vez retirada la capa superior, se procede a separar grandes bloques de piedra del cerro, aprovechando las vetas, fracturas y pliegues naturales de este, se hace uso de marros grandes y punzones.

b) El resultado es la piedra “Tumbada”, los grandes bloques que caen la parte inferior del banco son dimensionadas a un tamaño manejable, dependiendo este del tamaño de los bloques o de los requerimientos del comprador, se realiza una talla burda con hachas y barras.

Mecánico: como su nombre lo indica, estos medios comprenden la herramienta y equipos que en un primer nivel complementan los medios manuales, y en un segundo nivel sustituyen el método de extracción.

El primer nivel de mecanización, se refiere a la introducción de equipo que facilita el trabajo de la extracción utilizando el mismo método descrito en el procedimiento manual, como son: martillos neumático, taladros, grúas etc.

El segundo nivel de mecanización, sustituye prácticamente por completo la mano de obra y utiliza maquinaria especial para cortar la piedra directamente en el macizo rocoso, este método de corte directo, permite la extracción de segmentos de mayor tamaño y de forma más regular. Estas máquinas usan cadenas con segmentos de diamante industrial, distinguiéndose en estas dos tipos: las que usan una sierra, y las que usan únicamente la cadena Ilustración 16.

Químicos: los métodos químicos consisten realizar perforaciones con taladros en las líneas de paramento, para depositar en ellos explosivos o pastas expansivas, los



Ilustración 16

Arriba: Máquina de corte por sierra marca Fantini Modelo 50.90

Abajo: Máquina de corte por hilo marca Skystone
(reproduccion hecha con fines didacticos)

primeros por medio de la fuerza que produce la explosión separan la roca, estos métodos no son del todo recomendables ya que pueden producir mayores fracturaciones en el macizo, reduciendo el volumen de piedra utilizable. Las pastas expansivas por medio de una reacción química incrementan de tamaño, produciendo una fuerza que separa la roca. Existe también un método que consiste en calentar las perforaciones y después enfriarlas, por medio del choque térmico se desprende el material, aunque este método se reduce casi exclusivamente a la extracción de granitos.

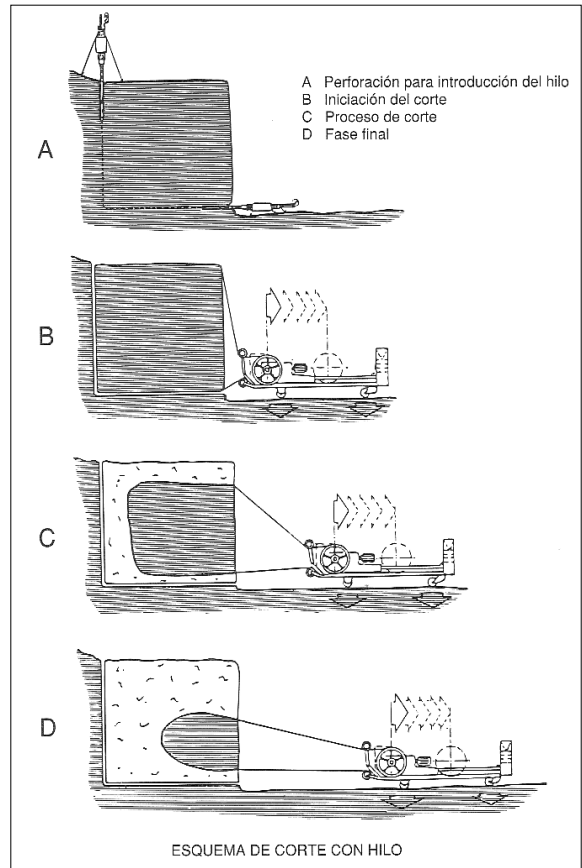


Ilustración 17 Esquema de corte con hilo (Dapena García Enrique, Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Pág. 273)

4. **Redimensionado:** Una vez extraído, se le da “in situ” una forma más o menos regular, el **tamaño que dependerá de la hegemonía del bloque, su uso futuro así como de la capacidad que se tenga para transportarlo** “el aspecto esencial es que la roca debe de ser extraída en bloques de dimensión adecuada, de forma que dentro de cada bloque no haya discontinuidades o fracturas.¹⁷”

17 MINGARRO Martín Francisco en al, Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Pag78

3.2.2.-TRANSFORMACIÓN.

En esta etapa la piedra como materia bruta, es procesada para adquirir su forma como producto final. Este inicia con el diseño, este define: uso final, dimensiones y estética, estos factores son fundamentales para seleccionar el material pétreo adecuado, así como el proceso mediante el cual va a ser transformado.



Una vez definidos estos factores se selecciona o se extrae del banco una piedra con la envolvente más cercana

Ilustración 19 Máquina de corte marca Maveco, de la empresa Británica "Doultling" imagen tomada de la revista: "Natural Stone Specialist" Tomo: Sept 2008 pg 66 reproducción hecha con fines didácticos

al producto final, este paso es fundamental para evitar desperdicios y sobrecostos en su transporte al lugar donde será trabajada.

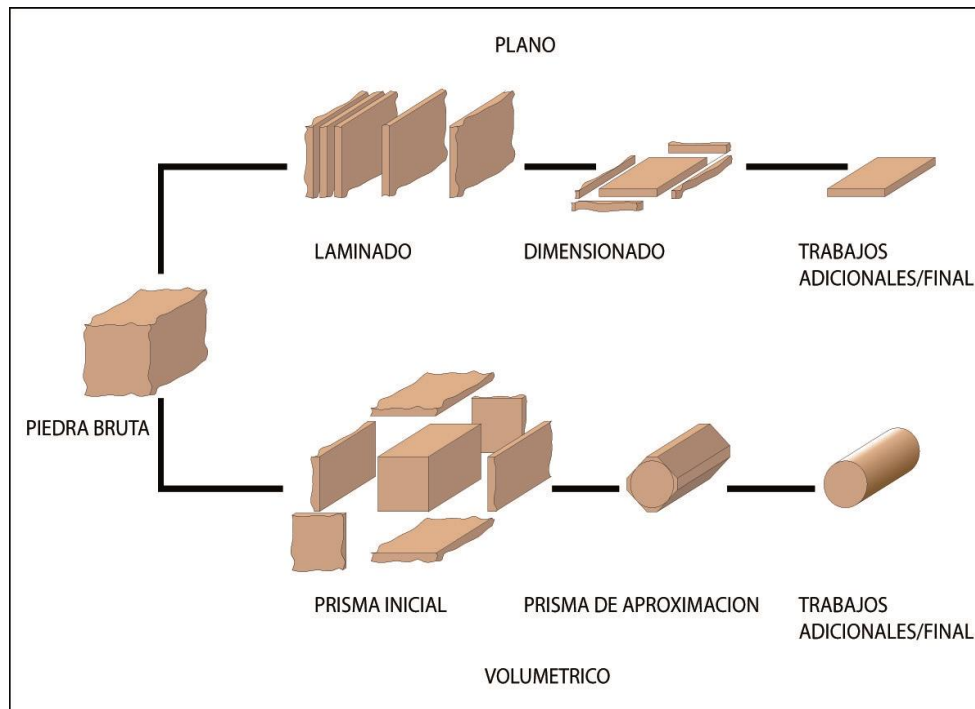


Ilustración 18 a partir de la materia prima, los procesos productivos se dividen principalmente en dos, dependiendo del producto final a obtener. Arriba la descripción general para crear elementos planos; abajo el proceso de un objeto volumétrico.

Los procesos de producción de los materiales pétreos, se dividen en dos: plano y volumétrico, ambos son solo un enfoque general de los procedimientos, ya que dentro de estas dos formas de trabajar el material existen infinidad de técnicas para alcanzar objetivos determinados y estas a su vez varían en nivel de eficiencia – existen muchas formas de hacer una sola cosa-.

PROCESO DE PRODUCCIÓN EN PLANO:

La piedra es trabajada como un plano, aunque el material siempre tiene un espesor, este es despreciado ya que su impacto en el proceso de transformación y en el uso final es mínimo. El procedimiento tiene al menos tres etapas:

- **Laminado:** consiste en cortar los bloques extraídos del banco, en placas o láminas de piedra usando disco, cuchillas o sierras. La sección de estas varía dependiendo del material, su uso futuro y del área de la pieza en sí, se pueden encontrar espesores de hasta 6mm (piedras duras que vayan a ser reforzadas¹⁸).
- **Dimensionado:** este generalmente es después del laminado y como su nombre lo indica consiste en dar la sección final a la placa de piedra, ya sea rectangular o irregular.
- **Trabajos adicionales y finales:**, más adelante se detallara afondo este punto, ya que es también parte de los trabajos de orden volumétrico del material.

PROCESO DE PRODUCCIÓN EN VOLUMEN:

Este es usado cuando el producto final, tiene un desarrollo espacial, una maza de proporciones importantes, el método consiste básicamente en la sustracción de masa de un volumen regular para llegar a uno más complejo, tiene al menos tres etapas.

- **Prisma inicial:** conocido también como paramentado o rozado, consiste

18 DERNIE David, Arquitectura en piedra. Pag. 63

en crear un prisma regular el cual envuelve al objeto final deseado, en este prisma se trazan las vistas laterales de este objeto, por medio de plantillas previamente diseñadas.

- **Prismas de aproximación:** siguiendo las plantillas trazadas se crea un prisma que se aproxima a la forma final, esta etapa se puede repetir un número indefinido de veces, dependiendo de la complejidad del volumen deseado.

•

TRABAJOS ADICIONALES Y FINALES:

Estos comprenden etapas intermedias y de acabados en el trabajo del material, estas varían dependiendo del trabajo específico que se realice en el material, siendo estas las que definen el número total de etapas de cada proceso, y son comunes a ambos procedimientos, plano y volumétrico.

- **Pulido:** con el uso de medios abrasivos, se le da a la superficie del material un acabado uniforme, algunas piedras como el granito y el mármol requieren ser pulidas antes de su dimensionado, con el fin de detectar fallas estructurales. Este también es el proceso final de la industrialización (cuando el material es entregado ya como un producto terminado), y de su colocación final (cuando el material requiere ajustes finales en obra como son los laminados).
- **Labrado:** es el labrado en la piedra a mano realizado por un cantero, como ya se menciono puede hacerse al material en bruto o en piezas con un dimensionado inicial, este es común en piezas de formato mediano y pequeño.
- **Texturas:** estas pueden ser manualmente de forma mecánica o físico-química (ácidos o fuego), y siempre es la etapa final del material (similar al pulido)

- **Grabado:** es muy usual grabar letras en la piedra, esto se puede realizar a mano, o con maquinaria, haciendo uso de diferentes medios abrasivos como son la arena (sandblast), el agua (wátercarving), puntas de diamante y laser, este último actualmente tiene una penetración limitada.



- **Pátina:** la pátina es la capa que forma la piedra de manera natural, esta puede ser patinada artificialmente, haciendo uso de pigmentos minerales, normalmente es usada en procesos de restauración para igualar tonos de injertos nuevos en piedras con patinas naturales.

Ilustración 20 Máquina de grabado con punta de diamante, controlada por computadora grabo enlozas curvas de piedra portland, los más de 15,000 nombres del monumento de las fuerzas armadas (Inglaterra) Imágenes tomadas de la revista: "Natural Stone Specialist" Tomo: dec 2008 pg 34

- **Torneado:** se realiza de manera similar al torneado en madera, la piedra es trabajada en una máquina que hace girar sobre un eje, al estar directamente vinculado con la maquinaria, el torneado en piedra tiene múltiples niveles tecnológicos, los cuales aunque siguen el mismo principio, dependen del equipo que se usa, los cuales parten de la maquinaria más rudimentaria, que se limita a hacer girar el material, hasta tornos controlados por computadora.

3.2.3.-USOS ARQUITECTÓNICOS

El uso de la piedra en edificios y monumentos, se puede separar en dos tipos: “Piedra de construcción y roca ornamental”¹⁹

La piedra de construcción es aquella que “se incluyen como un elemento estructural del edificio o bien forman parte de unidades constructivas en obras específicas tales como adoquinado, pavimento rustico, bordillos, separación de lindes etc.”²⁰

La roca ornamental, es todo aquel elemento que tiene un fin principalmente estético, ya sea por el trabajo que se le haya dado o por el acabado que tenga. Esta división a veces tiende a caer en una zona ambigua, ya que un elemento puede estar cumpliendo ambas funciones, tanto constructivo, como ornamental. El uso arquitectónico de la piedra, inicia con su habilitación, proceso por medio del cual un producto pétreo, que ha pasado por el proceso de manipulación o directamente de la extracción, es formalmente constituido como una unidad arquitectónica o constructiva²¹, esta acción puede ser tan simple como colocar un producto terminado en el lugar donde va a ser usado (ej. La colocación de una escultura en un jardín) o requerir de pasos más complejos como la prefabricación de piezas y su eventual construcción (ej. La construcción de la fachada de un edificio).

LA PREFABRICACIÓN EN LOS MATERIALES PÉTREOS

La prefabricación, entendida como la acción de fabricar los elementos arquitectónicos fuera de obra para su posterior habilitación, ha sido un concepto ligado al uso arquitectónico de la piedra desde hace miles de años, ya que es más práctico fabricar las piezas en un taller cerca del banco de material, para después ser transportadas en segmentos terminados a diferencia de transportar la materia prima en bruto.

Actualmente, la prefabricación incluye conceptos adicionales a la preparación previa de las piezas, algunos de estos son:

•MINGARRO Martín Francisco ... [et al.], Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Pag75
20 Ibid.

²¹ Son elementos arquitectónicos definidos, como puede ser un muro, un pavimento o una ventana

- Fabricación en serie.
- Control de calidad.
- Estandarización de medidas.
- Sistemas constructivos.

Estos conceptos determinan el nivel de industrialización de los materiales pétreos, algunas de las variantes de esta industrialización son las siguientes:

Parcial: Consiste en la producción de placas de grandes dimensiones sin terminar, las cuales se reservan para ser trabajadas posteriormente dependiendo de las necesidades del usuario final, presenta un control de calidad de las placas y una estandarización de su espesor el cual varía dependiendo del tipo de roca usada y de las dimensiones de la placa.

Aislada: engloba la producción de elementos arquitectónicos y decorativos sueltos como son chimeneas, columnas entre otros, no hay una estandarización de medidas ni diseños.

Completa: los recubrimientos de piedra al ser el uso más común, son los que presentan un mayor grado de industrialización, existen sistemas integrales de muros ligeros a base de paneles prefabricados de piedra, los cuales serán detallados más adelante.

La maquinaria actualmente, permite sustituir la mano de obra del hombre en muchos pasos de los procesos productivos de los materiales pétreos, lo cual ha tenido como consecuencia, el incremento de la producción, así como un mayor control de calidad.

APLICACIONES ARQUITECTÓNICAS DE LA PIEDRA

Muros de mampostería.

Es uno de los usos arquitectónicos más antiguo de los materiales pétreos, consiste en el apilado manual de piedras para formar un muro, estas se traban entre sí para una mayor estabilidad, entre las piedras se aplica una argamasa para darle más

firmeza al muro, cuando se preside de la mezcla se le llama “muro seco”. Este sistema utiliza la buena resistencia a la compresión de la piedra, para transmitir las cargas verticales al suelo, a mayor altura de los muros se utilizan secciones mayores, lo cual incrementa a su vez el peso propio del muro, limitando la altura máxima de estos en relación con su espesor. “El costo de estos muros son típicamente mayores al de otros sistemas” ²² razón por la cual su uso en la actualidad es limitado. Existen diversas variaciones de este sistema, como son: sillares, o la pared poligonal.

Recubrimientos

Consiste en cubrir elementos constructivos con placas de piedra de espesores más delgados en relación con el elemento cubierto. Su finalidad practica es la de usar otro material como soporte y el material pétreo únicamente como acabado, actualmente tiene un fin principalmente estético, usando el material pétreo con un acabado o para simular elementos arquitectónicos de mayor espesor.

En la etapa preindustrial, los recubrimientos, eran placas de un grosor considerable, que por sí mismas tenían cierto trabajo vertical, motivo por el cual algunos elementos se trababan con los muros, para transmitir parte de la carga.

Como ya ha sido mencionado con anterioridad los laminados de piedra se pueden producir en espesores muy delgados, esto permite que el peso de las piezas sea transmitido por completo al muro.

Los laminados de piedra tradicionalmente se colocan por medio de adhesivos directamente a la estructura portante, siendo esta técnica la más usada en común en México, sin embargo, también se puede usar el sistema de anclajes. Los anclajes

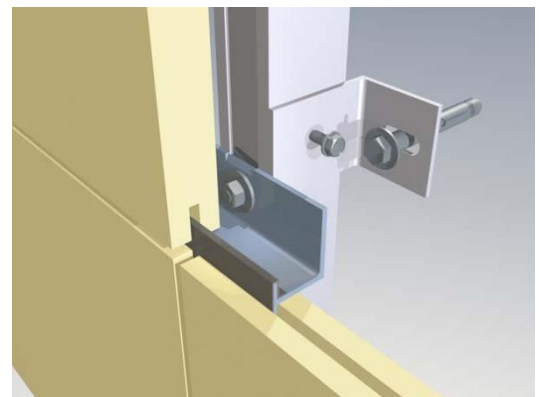


Ilustración 21 Sistema de montaje mecánico de piedras laminadas, estas se montan sobre piezas de acero en perforaciones previamente hechas al laminado. Foto www.stonesoge.com (Reproducción hecha con fines didácticos)

22 ASTM, Standard Guide for Selection of Dimension Stone for Exterior Use. Pag 2

son elementos mecánicos que sostienen la piedra y la unen al muro, este sistema forma un muro cortina.

Elemento arquitectónico

La piedra puede ser usada en unidades constructivas específicas, con el fin de acentuar dichos elementos y definir estilos arquitectónicos estos elementos son por ejemplo: Cornisas, ojos de buey, molduras, escalones, balaustradas, columnas, arcos, ménsulas etc.

Pavimentos y pisos

Gracias a la amplia diversidad de tipos de piedras que existen, esta se puede usar en un gran número de variaciones de pisos, sus características se pueden adaptar a las principales propiedades de los pisos: Resistencia, durabilidad, Textura variable, bajo mantenimiento, formatos grandes y juntas a hueso. Algunos tipos de piedra comunes para el piso son los mármoles y las canteras.

Los principales sistemas de colocación son simplemente colocados sobre una cama de arena si su peso le da estabilidad o pegados con un mortero apropiado a una superficie rígida.

Elementos escultóricos y decorativos

La piedra ha sido utilizada tradicionalmente como material para la elaboración de diversos tipos de elementos decorativos entre ellos: Esculturas, fuentes, placas, jarrones

Uso del material en bruto

La piedra extraída directamente del banco, puede ser usada sin ningún tipo de proceso industrial, esta es la forma más antigua de uso del material, y su uso es aún muy extendido en México, sobre todo para la elaboración de cimentaciones de mampostería, labrados artesanales y construcción de muros.

3.2.4.-CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

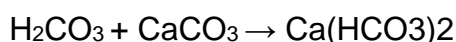
Factores que degradan la piedra.

La degradación de la piedra comienza desde su extracción, en ella intervienen diversos factores: climáticos, físicos, químicos, biológicos y humanos.

El principal factor que degrada la piedra es el agua (principalmente las que tienen material calcáreo), ya que interviene directa o indirectamente en varios de estos procesos "Entre otros muchos daños a la piedra, hidrata sales, produce y cataliza reacciones internas, favorece la reproducción de microorganismos, ayuda a la vegetación parasitaria a desarrollarse, desgata mecánicamente, y en climas muy fríos produce congelación dentro de los poros de la piedra."²³, afortunadamente es un factor el cual es relativamente fácil disminuir la afectación que ocasiona a la piedra.

Sulfatación y Carbonatación.

Este fenómeno afecta principalmente a las rocas calizas, el agua se combina con el CO₂ presente en la atmósfera, para formar ácido carbónico mediante las siguientes reacciones:



Este último compuesto es bicarbonato de calcio el cual es muy soluble, y por lo tanto puede ser lavado por la lluvia, este compuesto forma una capa en la superficie de la piedra llamada calcín, que cierra el poro de la piedra y la protege de la lluvia, pero si esta capa se vuelve muy gruesa y sella por completo la piedra le impide evaporar el agua en su interior, favoreciendo la aceleración de su degradación.

Un proceso similar ocurre con el SO₂, y es un contaminante sumamente agresivo, este se encuentra en abundancia en las ciudades grandes o con industria.

Al combinarse el agua de la atmósfera forma ácido sulfuroso y al oxidarse forma ácido sulfúrico.

Esta reacción forma una capa similar a la del ácido carbónico, esta se conoce como sulfín. El ácido sulfúrico es mucho más perjudicial a la piedra por los siguientes factores:

- a) Es más agresivo que el carbónico.
- b) La disolución de sulfato cálcico que emigra a la superficie, precipita en forma hidratada como yeso $\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{SO}_4^{24}$ (sulfín), aumentando su volumen del orden del 30%. Al precipitar dentro de poros o fisuras destruye la piedra.
- c) La costra de sulfín, ennegrecida si durante su formación había presencia de hollín, retiene más la humedad del interior de la piedra caliza, por ser su volumen mucho mayor.
- d) La costra de sulfín, al tener un coeficiente de dilatación térmica superior al de la piedra calcárea, se puede desprender con más facilidad.
- e) Otra diferencia con relación al calcin es la de ser 150 veces más soluble en agua. pero esto es una ventaja cuando hay que proceder a su limpieza con agua.²⁵

Formación de hielo.

“Es de todos sabido que cuando la temperatura del agua desciende a 0 °C, se transforma en hielo. Elio va unido a un aumento de volumen de un 9 %, lo que representa una expansión lineal del orden del 3%, y unas presiones que llegan a alcanzar los 500 kg/cm². Esto puede ocasionar que capilares saturados de agua, ante una congelación brusca a -5 °C, se destruyan.”²⁶

Agentes biológicos.

24 Sulfato de calcio (yeso) + Agua resulta en Oxido de calcio y Ácido tetraoxosulfúrico esto es el sub producto que el Dr. Núñez Prado identifica como sulfín

25 Idem. Pag.74

26 CARBONELL de Masy Manuel, Conservación y Restauración de Monumentos. Pag.74

Formado por las plantas inferiores (líquenes musgos hongos) y superiores (nopales arbustos etc.), así como por la fauna que radica en los edificios antiguos (principalmente las aves), degradan de manera importante la piedra, ya sea desde alterar su aspecto exterior, hasta destruirla por medios mecánicos o químicos.

“El desarrollo de microorganismos depende fundamentalmente de la presencia de humedad. Ello es lógico si tenemos en cuenta que en una célula —unidad de la vida— el agua representa el 70% de su peso.”²⁷, una vez más se hace notar la importancia de la protección contra el agua en las piedras, esto limitaría el crecimiento de cualquier tipo de flora que pudiera afectar este material.

El excremento de las aves es muy perjudicial para la piedra, ya que producen ácido fosfórico.

Aparte de los agentes ya mencionados existen otros que también intervienen en el deterioro de la piedra, pero aquí solo se mencionan los relacionados directa o indirectamente con el agua, estos otros agentes son:

- El viento.
- Choques térmicos.
- La acción del ser humano.

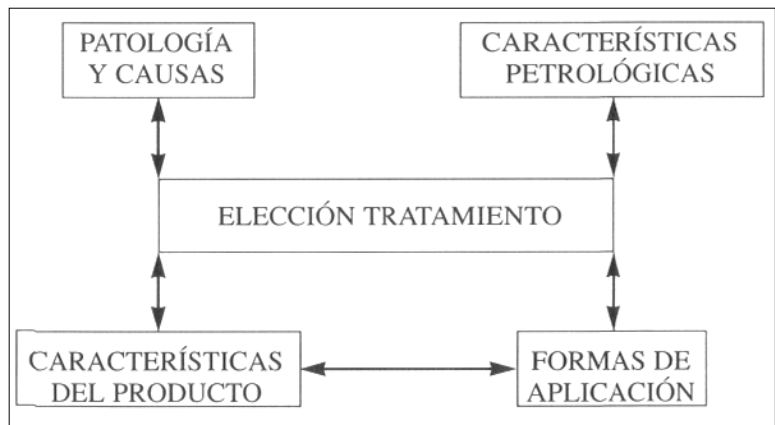


Ilustración 22 Diagrama de selección de tratamiento de restauración propuesto por Rafael Fort Gonzáles en el libro Conservación y Restauración de Monumentos. Pag.74 (Reproducción hecha con fines didacticos)

La restauración de piedra.

“La elección del tratamiento de la roca depende, por un lado, de la *patología* y las causas del deterioro, y por otro lado de las características petrológicas de la piedra, sobre todo teniendo en cuenta la propiedad física que interesa modificar

27 Idem. Pag 78

para evitar esas causas de deterioro. También hay que tener presente las características del producto, siendo necesario definir la forma de aplicación más adecuadas según las propiedades del producto y de la roca a tratar.”²⁸

Existen muchos métodos para restaurar elementos de piedra en edificios o monumentos, pero en general es necesario tomar en cuenta algunas medidas que se tienen que tomar en cuenta.

Cualquier trabajo de restauración en materiales pétreos debe de estar precedido por una limpieza general del área de trabajo, especialmente cuando se vaya a aplicar algún agente protector, consolidante etc.

La limpieza de la piedra debe de efectuarse con jabones neutros y con cepillos de cerda natural, con agua a presión de gravedad y si se usa agua con presión artificial esta no debe de ser excesiva para evitar que destruya las piedras muy dañadas. Aunque algunas piedras con dureza muy alta, puedan recibir un abrasivo ligero, de manera general, **SE DEBE DE EVITAR SU TALLADO**, especialmente en las piedras calizas o todo tipo de piedra que no acepte pulido fino, ya que este retira la pátina, una capa natural que se forma y protege a la piedra de los agentes externos que la atacan.

En la actualidad existen diversos productos químicos que limpian la piedra sin afectar su composición, pero su uso debe de **EFFECTUARSE CON PRECAUCIÓN**, ya que la composición de las acumulaciones en la superficie de las piedras es distinta en cada caso y estos productos pueden reaccionar de maneras distintas, es recomendable la asesoría del fabricante.

Si se van a sustituir elementos, de piedra, siempre es preferible que las piezas nuevas, provengan del mismo banco que las piedras ya existentes, si esto es

²⁸ Jose Pedro Calvo Sorando, Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico. Pag 482

muy difícil, impráctico o imposible, se debe de usar un material que tenga características similares al existente, tanto cualitativas como cuantitativas.

Como ya se ha mencionado, la piedra es muy susceptible a la degradación por factores en los que intervenga el agua, así que para su fijación, **NO DEBEN DE USARSE METALES SUSCEPTIBLES A LA OXIDACIÓN**. Siempre que sea posible se debe de usar un sistema constructivo lo más similar posible al usado originalmente.

El pegado de las piezas debe de ser con cal, si es necesaria la incorporación de cemento este **NO DEBE DE EXCEDER EL 10%**.

La aplicación de selladores para proteger la piedra del agua debe de ser una sustancia **HIDROFUGANTE**, es decir, que impida la entrada de agua, permitiendo la salida de vapor. El uso de un material que no sea hidrofugante puede ser sumamente destructivo, ya que satura el interior de la piedra de humedad, disolviendo las sales de la piedra y alterando gravemente su composición interna.

La piedra es un material cuya principal característica estructural es a la compresión, **SU RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ES PRÁCTICAMENTE NULA**, en cualquier trabajo que se vaya a modificar un elemento estructural es de suma importancia el tener en cuenta esta característica al proceder en los trabajos de restauración. En la sustitución de elementos estructurales, tales como columnas, dovelas, claves, etc. Una vez efectuada la sustitución se debe de completar el trabajo con cementantes expansivos.

3.2.5.-FIN DE LA VIDA ÚTIL.

Esta es la última etapa de la vida de los materiales pétreos, esta sucede cuando el material ya no cumple con las características deseables para las que fue utilizado, pero aun en este punto el material puede ser reutilizado en un uso diferente, por

ejemplo: el uso de elementos arquitectónicos desgastados como elementos decorativos (claves de arcos, segmentos de cornisa o capiteles de columnas). También puede ser reciclado utilizándolo como materia prima si sus características así lo permiten por ejemplo: el uso de muros de mampostería demolidos como material de cimentación.

Si la degradación de la piedra alcanza un punto en el cual su Reciclado o reutilización no son factibles, puede ser utilizada como material de relleno (siempre y cuando no esté contaminada) integrándola de nuevo al llamado Ciclo Rocoso.

Integración al ciclo rocoso.

Como su nombre lo indica es el mediante el cual las piedras se transforman de un tipo de roca a otra y como se destruyen para formar roca nueva. La materia prima de la roca es el magma que se encuentra bajo la corteza terrestre cuando este se enfría y se solidifica forma las rocas ígneas. Si las rocas son sometidas a calor y presión (por medio del proceso de profundización) estas se transforman en roca Metamórficas. Si las rocas se erosionan y/o se meteorizan se transforman en sedimentarias. Finalmente si las rocas sufren una profundización al grado de ser llevadas por debajo de la litosfera, estas se Funden y vuelven a formar Magma, completando el ciclo Rocoso el cual esta descrito en la Ilustración 21.

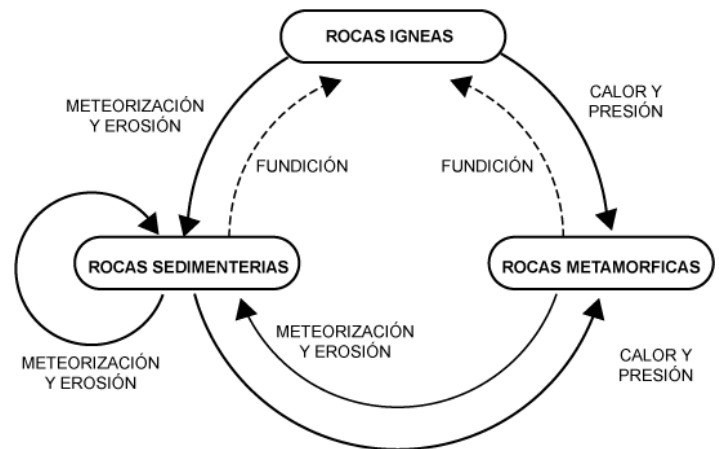


Ilustración 23 Ciclo Rocoso

Finalmente si las rocas sufren una profundización al grado de ser llevadas por debajo de la litosfera, estas se Funden y vuelven a formar Magma, completando el ciclo Rocoso el cual esta descrito en la Ilustración 21.

3.3. ESTADO DEL ARTE

"A medida que la tecnología de edificación contemporánea evoluciona para satisfacer los desafíos de la creciente industrialización y prefabricación del proceso de construcción la demanda de una mayor eficiencia también aumenta. La piedra es un material de gran carácter arquitectónico y de expresión. ... No obstante, no es inmune a las presiones por la eficiencia ".²⁹

-Remo Pedreschi-

En esta cita Remo Pedreschi, investigador de la universidad de Edimburgo, plasma de forma muy clara el principal factor de desarrollo de los materiales pétreos en prácticamente todos sus niveles de comercialización, la eficiencia, existen principalmente tres campos de desarrollo actualmente los cuales son:

- Tensado
- Paneles Reforzados

Tensado

El tensado es una técnica mediante la cual se le aplican cargas de compresión a un elemento estructural antes de ser puesto en servicio, consiste en tensionar el acero del segmento que va estar sometido a tensión, esta cuenta con dos variantes principales Pretensado y pos-tensado estas hacen referencia a el momento en que el concreto es fraguado en relación con el tensado del acero,³⁰ desarrollada para



Ilustración 24 Escalera Elaborada con Marmol Postensado
Desarrollada por Webb Yates Engineers y The Stonemasonry
Company Fuente: Arch Daily Foto: Agnese Sanvito
Reproducción hecha con fines didácticos

²⁹ Pedreschi, R 2013, 'A feasibility study of post-tensioned stone for cladding' Construction and Building Materials, vol 43, pp. 225-232., 10.1016/j.conbuildmat.2013.02.008

³⁰ Técnicamente ambas son pretensado ya que la tensión se aplica antes de que el elemento sea o

elementos de concreto armado es hoy en día usada ampliamente ya que reduce de forma importante las secciones de las vigas.

En la Universidad de Edimburgo el profesor Remo Pedreschi ha realizado múltiples investigaciones de sistemas constructivos, entre ellos un estudio de la factibilidad del uso de piedra post tensionada en fachadas.

Paneles Reforzados.

Como ya se mencionó en los antecedentes³¹, los paneles reforzados son placas similares a las tipo sándwich donde la cara externa y visible es un material pétreo de un espesor mínimo, y esta reforzada por un material de mayor resistencia a la tracción y un peso reducido

Este reforzamiento consiste en añadir a la piedra natural elementos artificiales con el fin de incrementar sus propiedades, este proceso es aplicado en mayor grado a los productos laminados, donde se busca espesores menores y ligereza

del material, el refuerzo, es aplicado en un lado de la placa, el cual se utilizara para su habilitación, dejando el lado con el material natural expuesto. Existen diversos tipos de reforzamiento, los principales son:

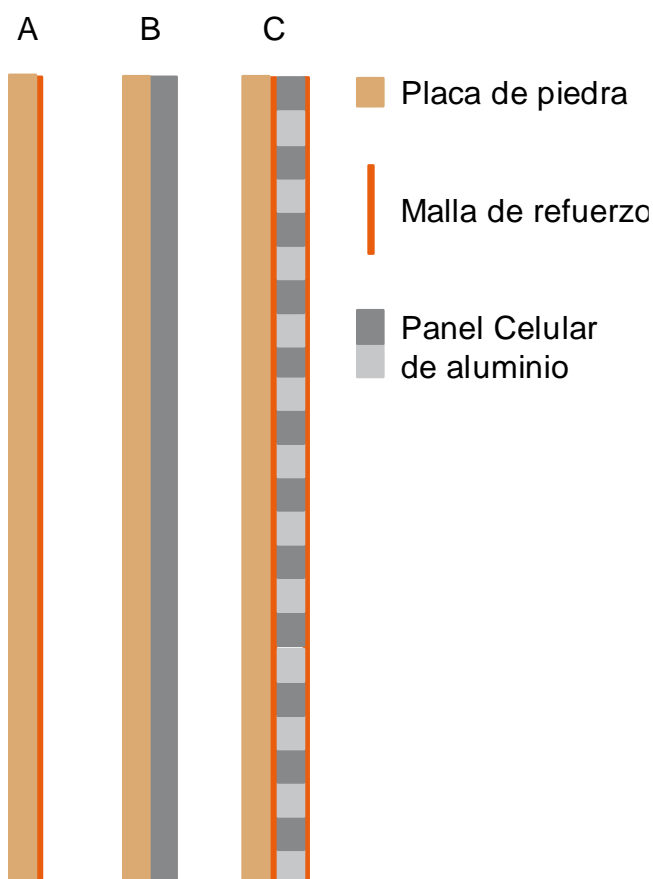


Ilustración 25 Tipos de refuerzo en placas de piedra.
A: Malla.
B: Bicompuesto.
C: Panel Compuesto.

³¹ Ver página 12



Ilustración 26 Con el uso de equipo CNC es posible producir placas curvas de espesores mínimos Foto: stonecontact.com (Reproducción hecha con fines didácticos)

Mallas: se utiliza en rocas duras, que permiten espesores de 4 a 5mm el refuerzo (regularmente una malla de fibra de vidrio) es pegado de forma directa a la cara de la piedra por medio de resinas epoxi, su colocación es por medio de adhesivos.

Placas bicompuestas: la base de refuerzo es de mayores dimensiones, y puede estar formada por materiales diversos dependiendo el uso que se le va a dar, como son materiales cerámicos, cementos o maderas comprimidas, su colocación puede ser con adhesivos o por medio de anclajes.

Paneles compuestos: la composición de este refuerzo simula el funcionamiento de los paneles tipo Sándwich, la piedra es reforzada por paneles de aluminio celular, unida a la roca por capas de fibra de vidrio y resinas epoxi, su colocación es por medio de anclajes, estas logran reducciones de peso de hasta 80%³² comparadas con equivalentes de piedra maciza.

Sustentabilidad.

En el año de 2014 la ANSI American National estándar y el Natural Stone Council publicaron esta norma para establecer un sistema de certificación sustentable como una guía para orientar los esfuerzos de la industria de la producción de materiales pétreos naturales hacia mejores prácticas sustentables, establece estándares ambientales, ecológicos y de salud basados en métodos científicos y medibles, crea un mecanismo mediante el cual los actores de la industria pueden probar su responsabilidad medio ambiental.

En el año 2021 este estándar paso a ser propiedad el NSI Natural Stone Institute,

³² Fernando López G.Mesones, et al, Manual para el uso de la piedra en la arquitectura, pag. 397

que es un organismo de comercio que agrupa a más de 2000 miembros en 50 países y revisa y republica este estándar en enero de 2022.

El estándar certifica con niveles Bronce, Plata Oro y Platino de acuerdo a un sistema de puntos que se otorgan de acuerdo al nivel de cumplimiento de los productores en las siguientes 10 categorías:

1. **Agua:** muchos procesos de la industria de los materiales pétreos demandan agua, por lo cual se busca fomentar la reducción de su uso el incremento de su reciclado y su reusó, así como su tratamiento final.
2. **Almacenaje y transporte:** Principalmente se busca establecer controles de seguimiento de distancias de recorrido y toneladas de transporte para hacer más eficientes dichos procesos.
3. **Administración de plantas:** establecer un control de las plantas productivas en especial la relación de los bancos de extracción y su impacto ambiental.
4. **Restitución de tierras y reusó adaptativo:** Trata del destino final de las canteras una vez que la operación de extracción ha concluido haciendo énfasis en el aspecto ecológico y social del espacio.
5. **Responsabilidad Social:** Busca fomentar las buenas prácticas laborales y las relaciones de las empresas con la comunidad
6. **Energía:** Fomenta la reducción energética de las empresas creando una relación de la producción y el consumo eléctrico, toneladas producidas contra KWh consumido
7. **Manejo de desperdicios:** se debe de buscar la reducción de desperdicios y subproductos del proceso productivo
8. **Manejo seguro de químicos:** Algunos tipos de procesos productivos en la industria por ende se trata establecer practicas seguras de operaciones, así como, reducir o eliminar su uso.
9. **Salud y seguridad:** debido al alto riesgo que implica los trabajos tanto en cantera como en fábricas de materiales pétreos se busca reducir los riesgos a los que los trabajadores pueden estar expuestos.
10. **Innovación:** Con el fin de promover la innovación en los procesos productivos, la norma otorga puntos a iniciativas que no se encuentren previstas dentro de los

rubros: Transporte, Desperdicios, Anergia y Salud.

³³Esta norma es fue adoptada en octubre de 2016 es reconocida por la certificación LEED del “Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos”, así como por el LBC (Living Building Challenge), lo cual la vuelve la principal referencia para la industria de los materiales pétreos, un tipo de material que por sus características propias tiene muchos factores benéficos, siendo el principal de estos su gran durabilidad.

³³ Sustainable stone certification now recognized in both LEED v4 and LBC. (s/f). Natural Stone Institute. Recuperado el 3 de octubre de 2022, de <https://www.naturalstoneinstitute.org/about/press-releases/2016/102016/>

SEGUNDA PARTE

4.-INVESTIGACIÓN

Como la fue planteado en la justificación la intención de este documento es desarrollar una aplicación tecnológica que haga uso de la cantera de la ciudad de Durango, en este segmento se describen las características de este material pétreo y se propone el modelo tecnológico en el que se usara como matriz.

4.1.-CANTERA DE LA CIUDAD DE DURANGO

ANTECEDENTES

Durango es una ciudad que cuenta con uno de los centros históricos más importantes del norte del país, a lo largo de sus más de 450 años de historia fue estructurando un núcleo urbano con importantes construcciones cuyo material principal es la cantera, estas edificaciones fueron producto principalmente de la riqueza minera extraída de lo profundo de la sierra madre occidental, ya que tanto la ciudad como diversos puntos del estado formaron parte del camino real tierra adentro.

Durante la revolución y los primeros años de los gobiernos revolucionarios aquel centro histórico cayó presa de la violencia destructora de la guerra y de un mal entendido ímpetu modernizador que no se detuvo en demoler un convento del siglo XVI (similar en importancia al de Guadalupe Zacatecas) aunque fuese necesario construir 2 km de vías férreas para retirar los escombros.

Después de esta etapa “Modernizadora” el centro histórico entró en una etapa de abandono el caos reino y con poca o ninguna regulación, los propietarios de los inmuebles realizaron múltiples intervenciones, algunas de un valor arquitectónico en su contexto cultural, la mayoría desafortunadas.

PROGRAMA DE RESCATE DE FACHADAS

En el año 2005³⁴ se dio inicio a un programa piloto de “Rescate” de fachadas en el centro histórico de la ciudad, las autoridades responsables buscaban unificar la

³⁴ Nota de prensa INHA 27 Enero 2006

imagen urbana, con un enfoque turístico³⁵, recurriendo a la intervención inicial de 6 fachadas, la intervención consistió en restituir la fachada “Original” del inmueble o de no ser posible esto por diversos motivos, construir una fachada con elementos similares a los del entorno.

Este programa tuvo una amplia aceptación en la población, y ha tenido diferentes etapas de forma consecutiva desde entonces, con intervenciones importantes, en las cuales se han presentado tanto casos de éxito, como ejecuciones pobres, que han dañado parcialmente el patrimonio inmobiliario de la ciudad. A la fecha las intervenciones más relevantes serían:

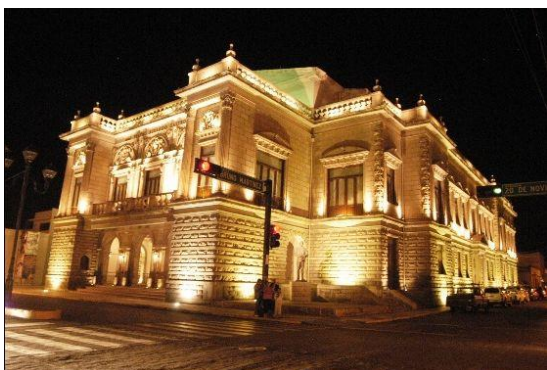


Ilustración 27 Teatro Ricardo Castro, el techo del teatro fue reconstruido después de un incendio. Reproducción hecha con fines didácticos



Ilustración 28 Catedral Basílica Menor, imagen de la catedral antes de que se repusiera el aplanado exterior. Reproducción hecha con fines didácticos

1. Ex Internado Juana Villalobos:

Edificio de principios del siglo XX originalmente sería destinado a ser un hospital nunca fue terminado a causa de la revolución, hoy alberga un centro de convenciones estatal, su intervención respeto la estructura del edificio y siguió procedimientos de restauración.

2. Palacio de Zambrano:

Antiguo palacio que perteneció a un importante minero, sufrió una intervención mayor para albergar al Museo “Francisco Villa”, evidencia malas prácticas de restauración, como son tallado excesivo de la piedra y patinas mal elaboradas.

3. Bancomer Centro Histórico:

Esta fachada es la más relevante desde el punto de vista de la ejecución de Falsos Históricos, ya que se reprodujo de forma muy aproximada la fachada posterior a la que se remodelo.

³⁵ Sotto Cesaretti, F. Et Al. (2015). Remodelación en el centro histórico de Durango. P.13



Ilustración 30 Iglesia de Santa Ana, La torre de la iglesia se encuentra muy dañada, en ella se pueden ver perforaciones de balas y un cañonazo que recibió durante la revolución. Reproducción hecha con fines didácticos



Ilustración 29 Internado Juana Villalobos, originalmente concebido como un hospital, solo durante la revolución cumplió parcialmente su objetivo, actualmente alberga las oficinas del ICED (Instituto de la Cultura del Estado de Durango)

4. **Paseo Constitución:** Esta calle (constitución) fue cerrada a la circulación vehicular, durante las distintas etapas del programa se han intervenido diversas fachadas para unificar la imagen a lo largo de recorrido, la intención es crear una unión peatonal entre la antigua estación de ferrocarriles en el límite norte del centro histórico y el barrio de analco en el límite sur del mismo.

5. **Plaza Fundadores:** Esta intervención consistió en la demolición de un edificio de fachada acristalada, probablemente la restitución de la fachada del edificio posterior no era factible dado a la morfología tan distinta de ambas estructuras, el resultado es un espacio urbano nuevo, que se apega a la imagen urbana de la zona

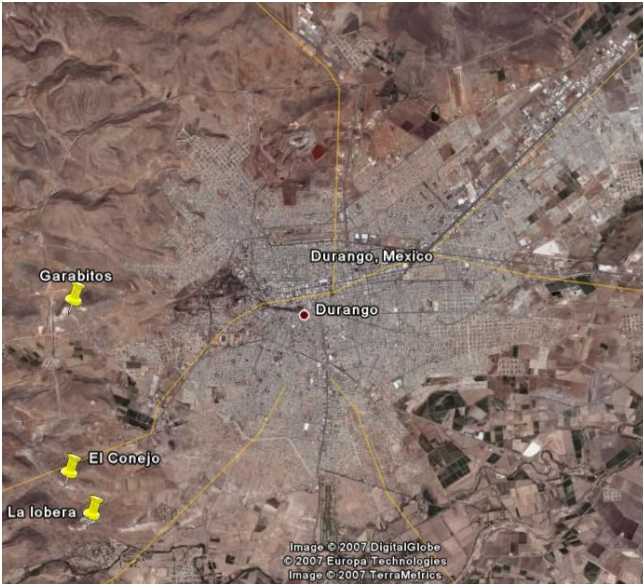
6. **Casa del Conde de Suchil:** Actualmente alojando una sucursal de BANAMEX, la casa del conde de sánchez es una de las casas señoriales del banco, ha sido restaurada y es conservada principalmente por el banco y es el edificio barroco civil más importante del norte de México.

7. **Catedral Basílica Menor:** Aunque la catedral no ha sido parte directa del programa de rescate, ya que cuenta con un programa de conservación propio, es durante esta etapa que sufrió una de las intervenciones más importantes de las últimas década, ya que le fue restituido el aplanado de cal que había sido retirado por su mal estado a principios del siglo pasado.

INDUSTRIA DE CANTERA LOCAL

EXTRACCION

Los principales bancos de extracción son “El Conejo” para la piedra blanca y “Garabitos” para la rosa pálido, ambos a una distancia de 9 y 8 km lineales del centro histórico de la ciudad respectivamente.



31 Ubicación de los principales bancos de cantera de la Ciudad de Durango, el punto rojo representa el centro histórico de la ciudad. Imagen tomada de Google Earth (Reproducción con fines didácticos)

En el conejo existe otro banco de cantera blanca, “La lobera” actualmente abandonado, de este banco se extrajo durante muchos años piedra para la construcción de los edificios de la ciudad.

La extracción del material se lleva a cabo por trabajadores habitantes de los poblados vecinos al banco, siendo estos territorios ejidales, pagan una cuota anual por los derechos de extracción. Esta, se realiza principalmente por medios manuales.

Las piedras se pueden dimensionar a la medida que sea requerida, inclusive se extraen grandes bloques de tamaños de hasta 2x2x3mts, pero estos son muy difíciles de manejar y transportar, solo se llegan a usar en pedidos especiales para elaborar esculturas.

Las dimensiones estándar que se manejan son

- Cordón de 12: 25x25x85cms
- Media de 10: 25x45x85
- Media de 8: 35x45x85
- Columna: 45x45x85
- Bolsón: 55x55x55

Estas medidas se pueden aumentar o disminuir en su lado largo, con una variación proporcional del precio. En promedio el precio de la piedra comprada en el

cerro varía entre \$1,900⁰⁰ y \$2,200⁰⁰ pesos el metro cúbico³⁶

TRANSFORMACION

Respecto a las empresas encargadas de la transformación del material, la mayor parte está conformada por pequeños talleres de cantería con menos de 5 trabajadores, solo existe registro ante el DENU³⁷ una empresa en el rango de 6 a 10 trabajadores que trabaja la cantera y una en el rango de 51 a 100 trabajadores, pero esta industrializa Mármoles³⁸.

Esto nos lleva a concluir que en general la industria de los materiales pétreos en la ciudad es de un tamaño menor y que la de la cantera es prácticamente inexistente

³⁶ Precios validos a julio 2017

³⁷ Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas mapas2

³⁸ Ver anexo 1

4.2.-PROPIEDADES DE LA CANTERA

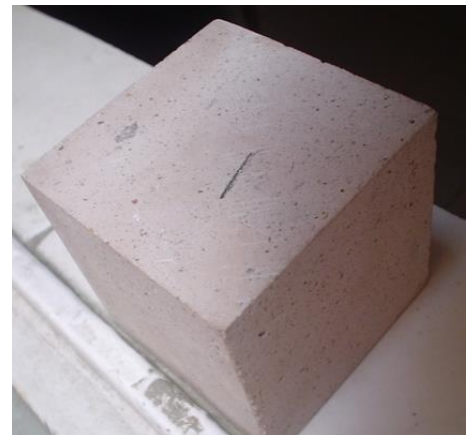
Un material posee ciertas características que definen como y para que puede ser usado, su calidad está en función de sus características intrínsecas, cada material tiene una gama de aplicaciones que puede cumplir satisfactoriamente si se conocen sus propiedades, estas se pueden agrupar en tres categorías³⁹:

1. **Técnicas:** Estas están por sus parámetros físicos, mecánicos y químicos⁴⁰
2. **Percepción:** Son las relacionadas con la forma en que un material es percibido por una persona, esta incluye todos los estímulos sensibles; visuales, táctiles, olfativos y sonoros.
3. **Requisitos:** Son las relativas a su uso, estas pueden ser: Confort, protección al medio ambiente, mantenimiento e impacto ambiental.⁴¹

A continuación se describirá siguiendo estos criterios, las principales propiedades de la cantera duranguense en su uso como material arquitectónico.

PROPIEDADES TÉCNICAS

La cantera que se encuentra en la ciudad es una piedra sedimentaria de origen volcánico (piroplástica) y se halla en el grupo de las riolitas, la mayoría de las piedras de la entidad son de color blanco y rosa pálido aunque también se puede encontrar un tono un rosa muy intenso, su grano es fino con pocos poros mayores de 1mm. Su peso promedio varía entre 1500 y 1600 k/m³ pero al ser saturada de agua puede incrementar su peso hasta



32 Muestra de la cantera de Durango dimensiones 7x7x7cms proveniente del banco Garabitos. Foto Esdras Alvarez

³⁹ HEGGER, M. et al. (2007). Materiales. España: Gustavo Gili. P. 11

⁴⁰ Idem P.24

⁴¹ Idem, P.17

en un 20%. Si la presencia de agua es permanente esta diluye los minerales internos y provoca el afloramiento del mismo en forma de manchas comúnmente conocidas como “Salitre”, este proceso puede llegar a provocar la pérdida de integridad estructural del material. Tiene una resistencia a la compresión media de 280k/cm^2 .⁴², pero esta puede tener una variación de +/- 16%, debido a la orientación gravitacional con la que se formó el material.⁴³

PROPIEDADES ESTETICAS

Visualmente la cantera se puede describir como áspera y dura, su composición con pocas impurezas y granulometría regular le dan una textura y color uniforme de tono mate, el color de la piedra se oscurece con el tiempo, proceso natural e irreversible del material.



33 Edificio "Telas Parisina", la parte inferior fue reconstruida como parte del programa "Rescate del centro histórico" aquí se puede ver claramente la diferencia de tono entre la cantera nueva y la vieja, ambas procedentes del mismo banco. Foto Esdras Alvarez

Se le pueden trabajar diferentes texturas como son

1. Pulido: usando herramientas abrasivas se puede lograr un superficie lisa muy regular, de aristas lineales
2. Texturizado: usando herramientas de impacto se le puede dar diferentes texturas, similares a la del martelinado, estas varían dependiendo de la herramienta usada
3. Bruta: es la textura de la piedra natural al ser “rota” o separada

Otra característica de la cantera se refiere a su composición constructiva, debido a que los sistemas constructivos de la piedra llevan implícito un grado de prefabricación, el diseño de las uniones de las piezas puede impactar de forma importante en la

⁴² Información obtenida de pruebas elaboradas por el autor

⁴³ Este punto se describe más a fondo en el capítulo de las pruebas hechas al material.

percepción visual del elemento arquitectónico construido, principalmente en relación a su escala y solides

Finalmente una de las propiedades más importantes de la piedras naturales en general es la asociación visual; “La estabilidad, la autoridad y la tradición son términos asociados a la piedra natural”⁴⁴, si bien estas varían dependiendo del entorno socio-cultural pero debido a que la piedra natural ha servido a lo largo de la historia de la humanidad como material de construcción de muchos edificios que simbolizan estos valores como se ha mencionado con anterioridad.

USOS ARQUITECTÓNICOS (REQUISITOS)

Debido a sus características tanto físicas como visuales, su abundancia y fácil extracción; la cantera fue usada en la construcción de edificios civiles, militares y religiosos, su grano pequeño y con pocas impurezas permite el tallado fino propio de los trabajos de cantería o de escultura.

Su textura áspera dificulta su limpieza pero le da un índice de fricción elevado, esto aunado con su buena resistencia hace que pueda ser usada como superficie de pavimentación. Debido a su alto índice de absorción de humedad no es recomendable en ambientes húmedos, ya que genera afloramientos de sales minerales (salitre) los cuales aceleran su degradación.

Puede ser laminada en espesores delgados comúnmente 2cm lo que permite su uso como recubrimiento en muros, principalmente en exteriores debido a su probada resistencia a las inclemencias del tiempo con un bajo nivel de mantenimiento el cual es muy simple, pero cabe destacar que nunca se reintegra el color que tenía en el momento de su habilitación.

Su impacto medioambiental inicia con la extracción misma de la piedra, ya que esta implica la destrucción de un área natural removiendo la capa superficial orgánica y dejar expuesta la superficie rocosa, en la cual no es apta para el crecimiento de

44 HEGGER, M. et al. (2007). Materiales. España: Gustavo Gili. P. 39

vegetación, aunque este es un proceso de extensión relativamente lento en relación del área afectada contra el volumen de material extraído. Otro factor de impacto ambiental es la huella de carbono cuya principal variación está relacionada con la distancia a la que el material tiene que ser trasladado, ya que es un material pesado y difícil de maniobrar. Por ser un material mineral natural la cantera puede ser reciclada fácilmente como material de relleno.

PRUEBAS AL MATERIAL PETREO.

Por el tipo de uso al que estará sometido el material es necesario determinar las siguientes propiedades del material pétreo a usar en la placa:

1. Resistencia a la compresión

Estas pruebas se realizaran de acuerdo a los siguientes estándares de la ASTM:

1. 59.1.5 Test Method C 170 (compression)

La prueba a la compresión se realizó en el laboratorio de materiales de la UAM Xochimilco, siguiendo el método C-170 de la ASTM. El equipo utilizado fue soiltest. El fin era determinar la resistencia a la compresión del material, en sus 2 diferentes condiciones, Horizontal y vertical, para lo cual se usaron 5 muestras para cada condición tanto en su forma cubica como de prisma (20 muestras en total).

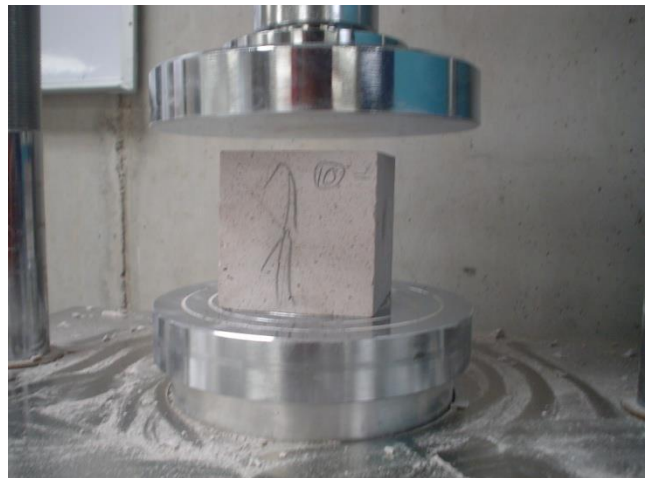


Ilustración 34 Prueba de resistencia a la compresión, muestra N°10 orientación vertical (foto del autor)

Las muestras provienen de la Ciudad de Durango Dgo, del banco de materiales conocido como “Garabitos” estas muestras fueron tomadas el día 21 de noviembre de

2008, controlando la orientación del manto rocoso, la roca en bruto fue transportada para su corte a un taller, cortada respetando las orientaciones marcadas con un disco de diente de diamante enfriado con agua, en cubos y prismas de 7x7x7 y 7x7x14 cm de acuerdo a la norma.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

<i>Tipo de Muestra</i>	Promedio k/cm ²	Desv. Est. k/cm ²	Mediana k/cm ²
<i>Cubo Horizontal</i>	307.68	42.68	293.99
<i>Cubo Vertical</i>	252.19	29.33	252.21
<i>Prisma Horizontal</i>	320.26	30.69	326.07
<i>Prisma Vertical</i>	263.91	22.51	253.76
<i>Todas</i>	293.38	44.41	281.29

Los resultados exponen que la orientación del material influye de manera importante en la resistencia del mismo, ya que las muestras horizontales son en promedio aproximadamente un **20%** más resistentes que las muestras verticales, siendo estas las que guardan una relación a la posición gravitacional en la que el material se fue sedimentando.

Así mismo, la geometría del material, no muestra diferencias importantes en la resistencia del material, la diferencia de las resistencias entre cubo y prisma, está dentro de la desviación estándar de cada muestra.

4.3.-PANEL PREFABRICADO DE PIEDRA

El uso de materiales pétreos como recubrimiento en muros, es uno de sus más extendidos y la prefabricación de estos, está bastante extendido en países industrializados, ya que aprovechan los beneficios de la prefabricación, como son: rapidez de colocación, limpieza, obra seca y ligereza.

En México existe un atraso tecnológico muy elevado en todos los campos del conocimiento, en los materiales pétreos este atraso es aún más marcado. Para la implementación de las tecnologías más avanzadas en su uso (como un primer paso en su innovación), es necesario realizar estudios en los materiales de la región, ya que es la regionalización es un factor determinante en los materiales pétreos, por el elevado costo de transportación que este podría significar.

Por medio del análisis de las propiedades naturales de estos y su diseño estructural se mejoran estas propiedades. Teniendo un objetivo de diseño, se le pueden dar al material propiedades artificiales por medios químicos y físicos para lograr un objetivo determinado, como sería el producir laminados ultra ligeros.

Este tipo de materiales compuestos, desarrollados en la época de los setentas son usados principalmente en Europa y Estados Unidos, en México su uso ha sido limitado y a la fecha no se ha encontrado algún productor nacional de estos.

Este producto representa una oportunidad de venta para una empresa dedicada a la venta de materiales pétreos.

Evaluación preliminar:

Es posible producir placas de piedra de espesores mínimos, pero estas no tienen un uso práctico, ya que son demasiado frágiles, reforzándola con otro material para incrementar su resistencia, esto permitiría reducir peso, el cual, es uno de los principales factores por los cuales otros materiales sustituyen a las placas de piedra.

El costo es otro factor importante en la selección de cualquier material, este factor puede ser evitado, si la placa diseñada permite una colocación más rápida y limpia.

Perfil del proyecto:

OBJETIVO PRINCIPAL: diseñar y elaborar un panel prefabricado, que utilice la piedra natural como elemento superficial principal y otro material como refuerzo estructural, capaz de ser utilizado como recubrimiento arquitectónico en exteriores e interiores

Objetivos primarios: el material obtenido debe de cumplir principalmente con las siguientes características:

1. Debe de ser más ligero que su volumen equivalente de piedra natural.
2. Sus dimensiones serán mayores a las que se puedan obtener en una placa de espesor similar.
3. Debe tener una resistencia igual o mayor a los agentes externos (humedad, temperatura, etc.)

Objetivos secundarios: el material obtenido debería idealmente cumplir con algunas de las siguientes características:

1. El costo beneficio de su uso será igual o mayor al material similar natural.
2. Permitirá una colocación más rápida

DISEÑO DEL PANEL

Con el fin de elaborar el análisis matemático del panel, se elaboró un modelo teórico, describiendo: uso principal, dimensiones, condiciones de apoyo y morfología

Descripción: Panel de piedra prefabricado para su uso en muros, con anclajes para su colocación en estructura ligera

Dimensiones: 60x40x3cms

Morfología: el panel estará formado por una placa de piedra natural en su cara exterior, unido por medio de adhesivos a una placa de un material por determinar, el cual servirá de refuerzo estructural a la piedra, ambos ocupando $\frac{1}{2}$ del espesor total del panel. Fijos al refuerzo se ubicaran anclajes, los cuales se unirán a una estructura ligera.

Condiciones de apoyo: los anclajes no estarán empotrados a la estructura ligera, con el fin de generar un apoyo simple sobre el lado largo del panel. Cada panel actuara como una unidad, ya que estos no tendrán contacto entre sí, transmitiendo las cargas a la estructura ligera de forma individual.

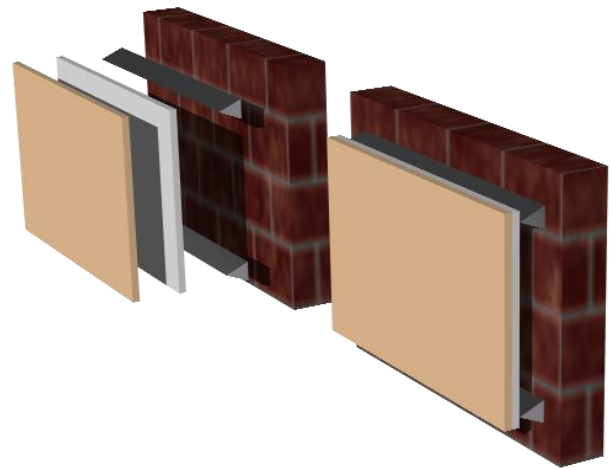


Ilustración 35 de izquierda: despiece del panel, el cual estará compuesto de placa de cantera laminada, refuerzo estructural. Apoyado sobre estructura ligera
Derecha: panel

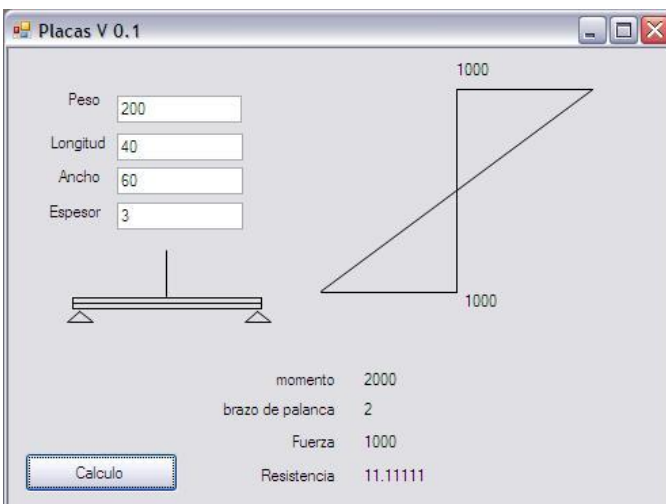


Ilustración 36 Interfaz Gráfica de la primera versión del programa para cálculo de las placas.

Con asesoría del Arq. Julio Souza Abad, se elaboró un análisis estructural del comportamiento del panel

Se estudió una placa de 40x40x3cms, analizándola como una viga con apoyo simple, tomando en cuenta que este apoyo se encuentra a todo lo largo de los lados (como se explica en el modelo teórico) se sometió la viga a una carga de 200kgs al centro,

esto, para simular las condiciones dinámicas de un impacto moderado de 25kgs

multiplicado por un factor de 8, suponiendo estas condiciones como las más críticas a las que se sometería el material.

Como resultados importantes cabe destacar:

En el centro de la placa, el momento máximo es de 2000kg cm, resultando esto en un esfuerzo a la compresión/tracción de 1000 kgs en el diagrama de esfuerzos lineales, esto servirá para determinar la resistencia a la tracción que el material de refuerzo tendrá que resistir

El esfuerzo cortante horizontal resulto ser de 1.25 Kgs/cm², el cual determina la resistencia del adhesivo que unirá los materiales.

A partir de este análisis se elaboró un programa para poder determinar estos valores a placas de diferentes dimensiones, con fin de determinar sus dimensiones máximas, de forma más veloz. Este maneja cuatro variables: largo, ancho espesor y carga puntual los resultados que se obtienen son: momento a flexión, fuerza de compresión/tracción en el diagrama de fuerzas horizontales y la resistencia a de las zonas de compresión/tracción.

COMPONENTE DE REFUERZO

Como material de refuerzo para un primer modelo se selecciona el concreto, debido a su facilidad de obtención y elaboración, así como la compatibilidad de trabajo físico que tiene con los materiales pétreos, uno de los inconvenientes es el peso y la baja resistencia a la tensión del concreto, ambas características dificultan el alcanzar los objetivos que el modelo debe de cumplir. Para tratar de sortear estas dificultades se buscara elaborar una mezcla con componentes que contrarresten dichas dificultades, para disminuir el peso se utilizara perlas de poliestireno y para reforzar el concreto a la tracción se usara fibra de vidrio.

4.4.-MODELO DE PRUEBA DE PANEL PREFABRICADO DE CANTERA.

Nombre del Modelo: CFP1

Descripción:

Panel compuesto de placa de cantera sección 40x60x1cm, en parte frontal y reforzado con mezcla de cemento - fibra de vidrio – poliuretano (CFP) de la misma sección en la parte posterior del panel.

Objetivos del modelo:

- Determinar el peso final de la placa con la mezcla propuesta.
- Probar el método descrito para su elaboración.
- Probar la adherencia entre el refuerzo y la placa de cantera.
- Elaborar un costo preliminar de la producción de la placa.
- Realizar pruebas de resistencia de la placa.

Material y equipo requerido:

- Placa de cantera sección 40x60x1cm
- Cemento Pórtland.
- Fibra de vidrio en trozos
- Perlas de poliuretano
- Acrilatex
- Cimbra de madera
- Bascula y recipientes de medida

Determinación de la dosificación de la mezcla CFP1:

	Sección			Volumen	peso vol	Peso aprox	en g
<i>Placa de piedra</i>	0.01	0.4	0.6	0.0024	1650	3.96	396
<i>Piedra equivalente</i>	0.02	0.4	0.6	0.0048	1650	7.92	792
<i>Cemento</i>	0.01	0.4	0.6	0.0024	1200	2.88	288
<i>Polietileno</i>	0.0127	0.25	0.25	0.00079375	20	0.015875	1.5875
<i>Fibra de vidrio</i>						1	100
<i>pol cem</i>				0.00160625	1200	1.911625	191.1625
<i>placa</i>						5.871625	
					Red	%74.1366793	

Para determinar la fibra de vidrio necesaria, se distribuyó fibra de vidrio en la superficie de la placa hasta que esta cubrió el total de la placa, se retiró y se pesó, este resultado fue aproximadamente 100g (la cantidad se incrementó hasta los 100g)

La espuma de poliuretano, su cantidad se determinó por medio del porcentaje que representa en la reducción total del peso de la placa, hasta llegar al 75%, este volumen se determinó por medio del peso vol de la espuma 20kg/cm^2 se cortó una placa de las dimensiones necesarias (ver tabla) y se destruyó hasta formar una granulación uniforme.

Se determinó por medio del peso volumétrico que se requieren 3kg de cemento

El agua se agregará de forma manual, tratando de reducir al mínimo su uso para incrementar la resistencia, pero permitiendo su plasticidad para que se llene todo el volumen requerido.

Agua total 1.0 L

Procedimiento Propuesto

En la placa de cantera cortada las medias especificadas preparar las fronteras de madera para vaciar sobre una de las caras la mezcla CFP1 dicha cara deberá estar completamente libre de polvos, la placa deberá estar saturada de agua para evitar pérdidas al momento de la fragua de la mezcla. La placa recibirá una capa de acrilatex marca durock para recibir la mezcla

Una vez preparada la pieza vaciar la Mezcla CFP de forma uniforme hasta alcanzar 1cm de espesor. Se introduce en una bolsa de plástico para evitar pérdida de agua

Dejar fraguar durante 48hrs antes de retirar las fronteras.

Reporte de ejecución

La pieza de cantera de sección 60x40x1cm se lavó y se saturó de agua, se colocó en una cimbra previamente preparada, la cual fue tratada con aceite quemado.



La determinación del peso del poliuretano en cantidades tan pequeñas es sumamente difícil, para

Ilustración 37 Placa de cantera previamente lavada y tratada con acrilatex en la cara que recibe la mezcla, posicionada en la cimbra.

poder determinar que cantidad se usó en la mezcla, se usara por medio de volumen y de forma inversa se determinara el peso (usando el peso volumétrico), después esta pieza se destruirá hasta formar una granulometría uniforme, usando lima gruesa.

Se trató la superficie que recibe la mezcla CFP con acrilatex marca Durorokc para incrementar la adherencia entre los materiales

Por un error al momento de elaborar la mezcla, se incrementó la dosificación de la fibra de vidrio, se agregaron 200grm en lugar de 100gr, siendo la dosificación final:

3kg de concreto

15gr de poliuretano (determinado por un volumen ver la tabla)

200 gr de fibra de vidrio en trozo

1.0 L de agua



Ilustración 38 Vaciado de la mezcla en el molde

Finalmente se guardó el modelo en una bolsa de plástico negra para favorecer su rápido fraguado

Conclusiones del procedimiento

La mezcla CFP1 resulto ser poco trabajable, se nivelo la mezcla a la altura de 1cm la cual era definida por los bordes de la cimbra, pero su distribución, resulto difícil, ya que la fibra de vidrio jalaba grandes porciones de la mezcla. Se decidió nivelar dejando ciertos huecos en la mezcla, y cerrar la superficie con una capa fina de concreto.

El proceso para la elaboración del modelo es poco práctico al ser hecho a mano, su producción en grandes volúmenes requiere de una maquinaria especializada. La mezcla tiene muy poca maniobrabilidad, es necesario alterar la dosificación, tal vez reducir la proporción de la fibra de vidrio, finalmente, la preparación manual del poliuretano resulta aún menos práctica, es necesario usar bolas suelta de la granulometría adecuada y preparar suficiente mezcla para poder determinar el peso con una báscula.

Reporte de preliminar de la placa terminada

La muestra se retira de la cimbra después de haber sido mantenida con una humedad permanente y se hicieron las siguientes observaciones:

Visualmente la muestra parece ser sólida, no presenta fracturas aparentes en ninguna de sus dos caras.

Al comparar el peso de la Placa CFP1 con una piedra de medidas finales equivalentes y saturada de agua, la placa CFP1 resulto ser mas pesada en un 6% (Peso piedra equivalente: 8.25kg Peso placa CFP1: 8.75)



Ilustración 39 Placa terminada

Conclusión del experimento.

El resultado del peso final de la placa no resulta favorable, y aunque la humedad de las placas debe de ser factor para no poder determinar adecuadamente la comparación de peso, la diferencia es muy superior a la esperada, al revisar el cálculo de la dosificación se encontró que se había hecho de forma incorrecta, siendo el cálculo correcto el siguiente:

	Sección m			Vol. m ³	P. vol k/m ³	Peso k	en g
<i>Placa de piedra</i>	0.01	0.4	0.6	0.002400	1650	3.96	3960
<i>Piedra equivalente</i>	0.02	0.4	0.6	0.004800	1650	7.92	7920
<i>Cemento</i>	0.01	0.4	0.6	0.002400	1200	2.88	2880
<i>Poliestireno</i>	0.0127	0.25	0.25	0.000794	20	0.015875	15.875
<i>Cem - pol</i>				0.001606	1200	1.9275	1927.5
<i>Fibra de vidrio</i>						0.1	100
<i>pol cem</i>						2.043375	2043.375
<i>placa</i>						6.003375	
					Reducción	75.80	

Con estos valores la dosificación del refuerzo debe ser:

24 g Poliestireno

3kg cemento

155 g de fibra de vidrio

CONCLUSIONES

El cierre de esta investigación está estructurado en tres temas, el primero es respecto la placa de cantera que fue propuesta como aplicación de la cantera de Durango; el segundo es referente a la hipótesis propuesta en un inicio y finalmente una reflexión respecto a la perspectiva del uso de los materiales pétreos en el futuro inmediato.

PLACA DE CANTERA REFORZADA

Aunque el primer modelo de placa no arrojó los resultados técnicos deseados, es evidente que un modelo que cumpla con esos es posible de elaborar, ya que la cantera tiene las propiedades físicas para ser producida en espesores inferiores a los comerciales, de hecho durante las pruebas se llegaron a elaborar segmentos de hasta 4mm, pero los cuales resultaban difíciles de manipular de forma manual, esto nos puede llevar a identificar algunos factores que son críticos para producir una placa que no solo cumpla los requisitos propuestos sino que los exceda y son los siguientes:

- **Control de la extracción:** de acuerdo a las pruebas realizadas al material, en la que la geometría de la formación del mismo influye en su resistencia, cortar las láminas de cantera tomando en cuenta este factor permitiría llevar al límite mínimo de su espesor la pieza
- **Maquinaria de corte y manipulación:** el uso de maquinaria de corte tipo CNC permitirá cortes precisos, así como una manipulación de las piezas controlado para evitar daños por maniobras manuales poco hábiles
- **Agente reforzante:** es necesario reducir su peso al mínimo, como referencia se puede tener las características de las placas de cemento ligero, cuyo peso está dentro del rango de $1000\text{kg}/\text{cm}^{345}$

⁴⁵ Dato extraído de: USG Manual Técnico: USG DUROCK pg 4 Disponible en: [-https://www.usg.com/content/usgcom/spanish/resource-center/manual-tecnico-durock.html](https://www.usg.com/content/usgcom/spanish/resource-center/manual-tecnico-durock.html)- fecha de consulta 24-Jun-2017, el dato en la ficha es $13.25\text{kg}/\text{m}^2$ para una placa de 12.7mm de espesor la cual

- **Proceso productivo:** antes del refuerzo la placa de cantera en espesores mínimos es frágil, aunque el proceso de producción sugiera que la placa debe de estar dimensionada para evitar fracturas de la misma se podría aplicar el refuerzo antes de dar la medida final para lograr los espesores deseados y una vez endurecido el refuerzo cortarlo a la medida final.

Cumpliendo estas condiciones es posible la producción de una placa de las dimensiones propuestas, pero de un espesor de 15mm

EVALUACIÓN DE LA HIPOTESIS

Quintanilla⁴⁶ separa la técnica en preindustrial e industrial, siendo esta última a la que se le reserva la categoría de “tecnología”

La placa propuesta en este documento está basada en un sistema tecnológico que depende de una base industrial, es por esto que para su desarrollo tecnológico (es decir industrial científico), la materia prima requiere de una condición preexistente que es un medio de producción industrializado.

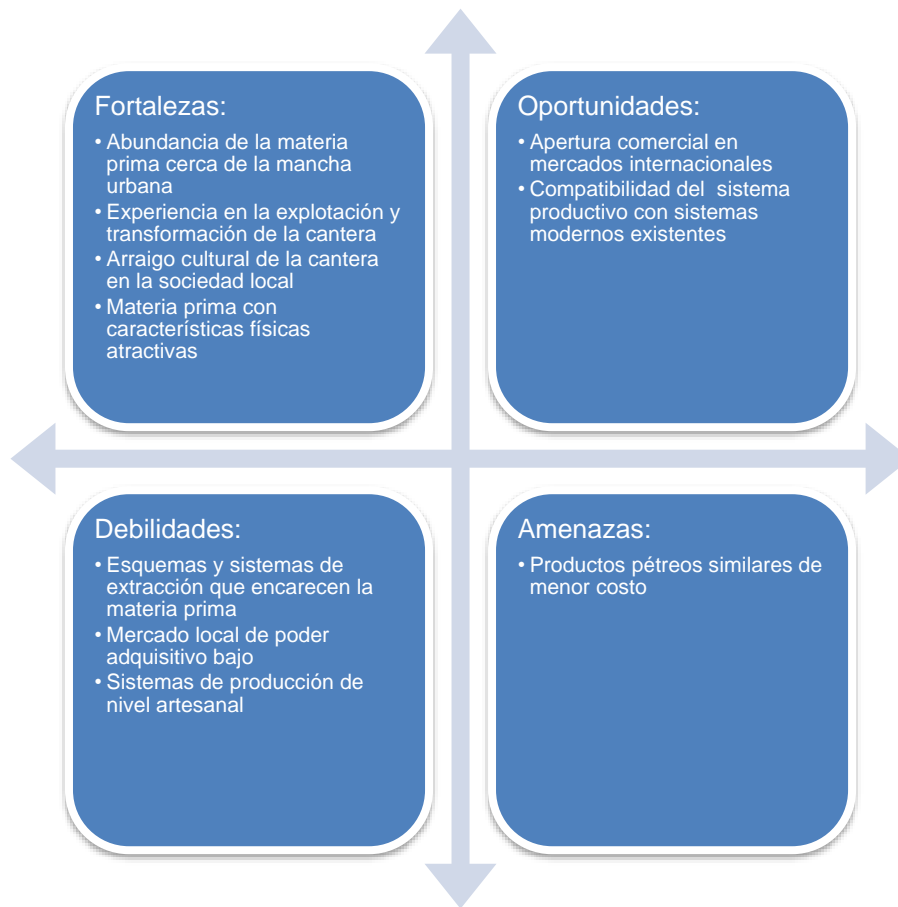
Lo anterior permite llegar a una conclusión de la hipótesis planteada: **“El análisis de las propiedades físicas de la cantera así como el estudio de sus procesos de producción permitirá un avance tecnológico en su uso”**, esta hipótesis es errónea. Es pertinente antes de continuar hacer la precisión de que este estudio es referente a un material específico de una región específica, la ciudad de Durango Dgo, México. No puede existir tecnología sin industria: el medio de producción del material trabajado tiene un nivel prácticamente preindustrial, por ende no existen las condiciones necesarias en el ámbito local para el desarrollo tecnológico, y aunque teóricamente es posible la producción de la placa de cantera reforzada, su verdadero desarrollo tecnológico no se puede poner en marcha sin antes un desarrollo industrial.

⁴⁶ “Tecnología: un enfoque filosófico” capítulo II

INDUSTRIALIZACION DEL MERCADO

Como ya se ha mencionado con anterioridad la industria de explotación y transformación de la cantera es de un nivel para fines prácticos artesanal, sin embargo existen las bases para el desarrollo de una industria formal y eventualmente una de nivel internacional

Usando un enfoque de tipo FODA⁴⁷ podemos identificar las siguientes características del mercado local de la cantera.



Este análisis permite proponer algunas estrategias para detonar la incipiente industria de la cantera, estas estrategias están planteadas de forma global y no pretenden ser una solución formal, se estructuran al igual que el ciclo de vida de los materiales pétreos mostrado en el capítulo III de este documento y son las siguientes:

⁴⁷ Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas

Formalización de la Técnica

De forma general, la industria de la cantera carece de técnicas tanto extractivas como productivas de nivel artesanal, la extracción como ya ha sido mencionado en el apartado 4.1, así mismo, las empresas transformadoras de la cantera (Talleres) utilizan maquinarias manuales o equipo de laminado de baja capacidad y un sistema industrializado no existe.

Esta situación se puede atacar bajo dos acciones paralelas que se conocen como el Know How y el Know that⁴⁸: 1) Capacitación formal del personal que trabaja la cantera, tanto en su extracción como en su producción esto a través de una organización que formalice las técnicas productivas y; 2) Investigación de los sistemas de producción, vincular a la iniciativa privada con agentes académicos que formalicen y desarrollen la industria.

El principal objetivo de estas dos acciones es establecer un sistema con parámetros medibles y susceptibles de modificaciones para permitir la mejora en su eficiencia productiva, así como establecer el vínculo industria - ciencia, necesario para el surgimiento de una industria tecnológica.

Modernización del esquema de extracción

Tal vez el principal candado para el desarrollo de la industria es la extracción de la materia prima, los bancos de cantera aunque cercanos a la ciudad, son explotados bajo un esquema ejidal el cuyo funcionamiento varía de ejido a ejido, pero que en todos tiene como resultado una materia prima cuyo costo bruto representa el 20% del costo comercial del material final esto sin incluir gastos de transporte y cuyo esquema hace imposible la comprobación fiscal. Al utilizarse un sistema de extracción manual la productividad es baja, aunque esto ha conservado la integridad física de los bancos por al no usar explosivos que fracturen sin control la roca.

⁴⁸ Quintanilla

El factor relacionado con la extracción del material (esquemático en la ilustración 39), esta aunado al propuesto en el punto anterior, primero capacitar formalmente al personal encargado de la extracción y segundo mejorar su eficiencia, como fue mencionado con anterioridad la técnica de extracción manual no puede ser suprimida en su totalidad, pero idealmente es solo un complemento a un sistema de extracción que use maquinaria apropiada para las características del material.



En relación al esquema de organización productiva, es fundamental reconocer que los bancos de cantera representan una fuente de ingreso para los pobladores de los respectivos

poblados, para algunos inclusive una tradición de muchas generaciones, siguiendo una visión sustentable los frutos de la extracción del material deben de beneficiar a esos pobladores, para esto se propone una organización de tipo cooperativa, donde todos los pobladores sean socios, pero permitan la administración y operación externa privada.

Ilustración 40: Algunas imágenes del banco de cantera del poblado "Garabitos" Izq arriba: se utilizan las grietas naturales de la roca para separarla por medio de barras. Izq Central: también se pueden usar cuñas para fracturar manualmente la piedra en secciones menores Izq. Abajo: la piedra es separada una vez aparece la fractura. Der.: La roca cae sobre llantas ramas o colchones de grava para evitar su ruptura, después es trabajada a tamaños regulares para su venta

Divulgación de la industria

Durante el desarrollo de este documento una de las principales dificultades que se presentaron fue la poca información referente a los materiales pétreos desde una perspectiva arquitectónica, la intención del marco teórico aquí presente, además de ser base del conocimiento del material, es servir como un documento de referencia. Proponiendo una estructura que entienda al material insertado en un ciclo de vida desde su extracción hasta su reincorporación a la naturaleza, mostrando todo el proceso productivo y comercial de la industria con una visión arquitectónica y tecnológica, para mostrar de forma integral todo el ciclo y que sirva como una herramienta académica y de capacitación.

PERSPECTIVAS DEL MATERIAL

Realizando un ejercicio de reflexión respecto al futuro de los materiales pétreos existen algunos puntos que se pueden desarrollar, primero tenemos el enfoque sustentable que se le debe de dar en todos los ámbitos de la vida, esto coloca un lugar privilegiado el uso de los materiales pétreos, *“la piedra natural es el material sostenible por excelencia, resistente, duradero, no tóxico, ignífugo, reutilizable, reciclable, que no requiere mucho mantenimiento, cuya vida útil conlleva bajo coste energético”*⁴⁹, esto permite revalorar al material y su uso arquitectónico más allá de su tectónica o su estética, si no como una verdadera fuente de materia prima para la construcción.

Otra variable fundamental en el uso del material es el avance tecnológico en la rama de la maquinaria con la que se trabaja el material, la flexibilidad y dinamismo de los actuales equipos permiten trabajar el material en formas nuevas, estas generan muchas posibilidades en el uso del material, al ser compatibles con programas CAD y BIM.



Ilustración 41: Izq. Máquina de corte con hilo de diamante de 10 ejes con control numérico. Der. Escalera helicoidal manufacturada en 1 sola pieza. Foto: Breton stone machinery Reproducción con fines didácticos

Finalmente, La “piedra” es el material más abundante que existe en la tierra tan abundante como el planeta mismo, adonde vayamos ahí está y si algún día logramos ir a otro planeta va a ser el primer material extraterrestre con el que vamos a construir.

⁴⁹ Estefanía Fernández Prieto, 2014

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Libros

- HEGGER, M. et al. (2007). *Materiales*. España: Gustavo Gili.
- CARBONELL DE MASY, Manuel. *Conservación y Restauración de Monumentos*. Vanguard Grafic, España
- DERNIE, David. *Arquitectura en piedra*. Blume, España. 2004
- MINGARRO Martín Francisco... [et al.] *Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico*. Editorial Complutense, España
- PATRIZIO, Andrew... [et al.] *Stone A Legacy and Inspiration for Arts*. Black Dog Publishing Limited, Reino Unido, 2011.
- GROPIUS, Walter. *La Nueva Arquitectura y La Bauhaus*. Traducción al inglés: p. MORTON SHAND. Traducción al español: DÁVILA Benjamin. TheMIT Press
- INE TER Borch ... [et al.] *Skins for buildings : the architect's materials sample book*. Amsterdam : Bis, c2004

Revistas

- Pedreschi, R 2013, 'A feasibility study of post-tensioned stone for cladding' *Construction and Building Materials*, vol 43, pp. 225-232., 10.1016/j.conbuildmat.2013.02.008

Revistas

- Welsh Slate. (Marzo 2010). *Welsh Slate Quarry*. *Natural Stone Specialist*, Marzo, p39.

Internet

- PEDRESCHI,R. (2012). *Edinburgh Research Explorer* :Prof Remo Pedreschi. marzo 23, 2016, de The University of Edinburgh Sitio web: [http://www.research.ed.ac.uk/portal/en/persons/remo-pedreschi\(d788a032-62f9-499d-b585-862b4d923aa0\).html](http://www.research.ed.ac.uk/portal/en/persons/remo-pedreschi(d788a032-62f9-499d-b585-862b4d923aa0).html)
- Fernandez Prieto, E.. (Septiembre 2014). *La Piedra Natural: un ejemplo de material sostenible* . 17-Ago-2017, de LITOS Sitio web: <https://www.litosonline.com/es/articles/es/457/la-piedra-natural-un-ejemplo-de-material-sostenible>

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Sotto Cesaretti, F. Et Al. (2015). Remodelación en el centro histórico de Durango. Guadalajara, Jalisco, México: AMAROMA EDICIONES.
- LÓPEZ G. MESONES, Fernando. *Manual para el uso de la piedra en la arquitectura*. Informstone technic & business. España
- ASKELAND, Donald R, Ciencia e ingeniería de los materiales
- NUÑES PRADO, Ricardo. *Procedimientos De Restauración Y Materiales*. Trillas, México
- ORUS ASSO, Félix. *Materiales de construcción*. Dossat,
- WILLIAM HARVEY, Emmons. *Geología: principios y procesos*. McGraw Hill.
- 1987 annual book of ASTM standards section 4 vol. 04.08 Soil and Rocks; Bulding Stones.
- QUINTANILLA, Miguel Angel. (2005). *Tecnología: Un enfoque filosófico y otros ensayos de tecnología*. México, D.F.: FCE.

Internet

- Desconocido. (2015). Honeycomb Panel. 12/Agosto/2015, de Stone Contact Sitio web: <http://www.stonecontact.com/p/honeycomb-panel>
- <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/CGMA/SERVICIOS/RESUMENES1/2011-MIA-004.PDF> (ref. 16 de Julio 2013)
- Portal de la ciencia (en línea),. (Ref. 14 de Junio 2007) <<http://www.portalciencia.net/geoloroc.html>>
- Dr Tim Palmer, Naural Stone, Limestone (en línea). UK Stone Industry magazine, (Ref. 10 de Junio 2007) <<http://www.naturalstonespecialist.com/essentialstone/stoneexplain/limestone.htm>>
- Fantini productor de maquinaria para corte de piedra. <<http://www.fantinispa.it/>>
- Rock of Ages; Granite Memorials, Granite Blocks and precision Granite Products. <http://www.rockofages.com/>
- INEGI. (03-2017). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. 08-08-2017, de INEGI Sitio web: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- Desconocido. (2014). Breton FUEGO 10 axis - Shaping machine. 17-08-2017, de Breton stone machinery Sitio web: https://breton-stonemachinery.blogspot.mx/2014/10/breton-fuego-multiaxis_16.html
- Stott, R. (2016). See The Engineering Behind This Floating, Award-Winning Stone Helical Stair .

17-08-2017, de Arch Daily Sitio web: http://www.archdaily.com/799954/see-the-engineering-behind-this-floating-award-winning-stone-helical-stair#_=_

- Sustainable stone certification now recognized in both LEED v4 and LBC. (s/f). Natural Stone Institute. Recuperado el 3 de octubre de 2022, de <https://www.naturalstoneinstitute.org/about/press-releases/2016/102016/>

NORMAS

- American Society for Testing and Materials norma C 1528 – 2008
- American National Standard Institute / Natural Stone Institute, 2022. ANSI/NSI Sustainable Production of Natural Stone. Ann Arbor, Michigan: Natural Stone Institute.

ANEXOS:

Anexo 1: Tablas de Unidades Económicas consultadas a través de la Aplicación Web GAIA del INEGI el día 08-08-2017 criterios de búsqueda: Actividad: Fabricación de otros productos a base de minerales no metálicos; Tamaño: Todos; Ubicación: Durango, Durango

ID	Nombre de la Unidad Económica	Nombre de clase de la actividad	Personal ocupado
1090236	ANTIKA STONE MARMOL & GRANITO	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1082711	CANTERA COLONIAL	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1098322	CANTERA ESTRUCTURAL Y ARTÍSTICA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1077680	CANTERIA SIN NOMBRE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1093716	DE CANTERA SANTA ANITA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1109626	ELABORACIÓN DE CANTERA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1118017	ELABORACIÓN Y VENTA DE LÁ• PIDAS	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1111229	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE PIEDRAS DE CANTERA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1088368	FABRICACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE PIEDRAS DE CANTERA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1094961	INNOVA Y GRANITE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	6 a 10 personas
1116685	MARMOL Y GRANITO GUSSA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1117742	MARMOLERA DECORA STONE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	6 a 10 personas
1116709	MARMOLERÍA DURANGO	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1116686	MARMOLERÍA EL PROFE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1116705	MARMOLERÍA FÉLIX	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1116704	MARMOLERÍA LÓPEZ	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1116684	MARMOLERÍA MARTÍNEZ	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1116702	MARMOLERÍA SAN JUDAS TADEO	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1089523	MARMOLERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1089999	MARMOLERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1090031	MARMOLERÍA SIN NOMBRE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1088592	MARMOLERÍA VILLA FÉLIX	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1117317	MARMOLERÍA VILLASEÑOR	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1117313	MARMOLES DECORE STONE	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	6 a 10 personas
1116744	MOLDURAS LÁ• PIDAS Y MONUMENTOS	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	6 a 10 personas
1113680	MOSAICOS CHACÓN	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas

1111367	REAL CANTERA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	6 a 10 personas
6326657	SOCIEDAD PIEDRA SIERRA S DE RL DE CV	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	51 a 100 personas
1109777	TALLER ARTESANÍAS CANTERA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas
1095623	TALLER DE TRASFORMACION DE CUBIERTAS DE COCINA	Fabricación de productos a base de piedras de cantera	0 a 5 personas

ANEXO 2: Textos originales de citas traducidas

Texto original de la cita de Peter Rice en la página 8 tomada de la página 64 del libro *New Stone Architecture*:

“Stone, like glass, is strong in compression, but fragile and prone to cracking. If we could protect the stone from tension forces and from sudden loads then we could perhaps build the screen using stone work as a primary structural material.”

Texto original de la cita del libro *Stone A Legacy and Inspiration* en la pagina 14 tomada de la pagina 141:

“Stone carving tools can be divided into three main groups. The first two are involved in shaping the stone, one through impact the other through abrasion. The third group is concerned with measuring.”

Texto original de la cita de la investigacion *A feasibility study of post-tensioned stone for cladding* :

“As contemporary building technology evolves to meet the challenges of increasing industrialisation and prefabrication of the construction process the demand for more efficiency also increases. Stone is a material of great architectural character and expression. ... It is however, not immune to the pressures for efficiency.”