



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

EL GRANITO. PROCESO DE ELABORACIÓN

Alumno: Maria del Carmen Cuevas Fernández

Tutor: Mario Miró Barnés

Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

Junio, 2.019



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**EL GRANITO. PROCESO DE
ELABORACIÓN**

Alumno: Maria del Carmen Cuevas Fernández

Tutor: Mario Miró Barnés
Depto.: Ingeniería Mecánica y Minera

CUEVAS
FERNANDEZ
MARIA DEL
CARMEN -
47207986A

Firmado digitalmente por
CUEVAS
FERNANDEZ MARIA
DEL CARMEN -
47207986A
Fecha: 2019.06.24
13:18:39 +02'00'

MIRO
BARNES
MARIO -
26219341P

Firmado digitalmente por
MIRO BARNES MARIO -
26219341P
Nombre de reconocimiento
(DN): c=ES,
serialNumber=26219341P,
sn=MIRO BARNES,
givenName=MARIO, cn=MIRO
BARNES MARIO - 26219341P
Fecha: 2019.06.25 20:51:30
+02'00'

Junio, 2.019

INDICE

1.-INTRODUCCIÓN.	4
2.-GRÚA PÓRTICO BIRRAIL.	5
2.1.-Estructura del puente.	5
2.2.-Zancas.	6
2.3.-Vigas o Testeros.	6
2.4.-Bastidor de carro.	6
2.5.-Mecanismo de elevación con Polipasto	7
2.6.-Aparejo	7
2.7.-Mecanismo de Traslación del carro	7
2.8.-Mecanismo de Traslación del puente	8
2.9.-Características grúa Puente Birrail.	8
3.- PUENTE GRÚA: ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA GRÚA.	10
3.1.-Motor de elevación.	11
3.2.-Freno.	11
3.3.-Reductor de Elevación	12
3.4.-Tambor.	12
3.5.-Guía Cable	13
3.6.-Aparejo y Gancho.	13
3.7.-Final de Carrera	13
3.8.-Equipo Eléctrico	13
3.9.-Mecanismo de Traslación	14
3.10.-Bastidor	14
3.11.-Testeros y Mecanismos de Traslación	15
3.11.1.-Mecanismo de Traslación	15
3.11.2.-Estructura	15
3.12.-Características y dimensiones del puente grúa.	15
4.-ASERRADO DEL BLOQUE EN TABLERO.	17
4.1.-Parámetros que influyen en el aserrado del granito.	21
4.1.1.-La bajada.	21
4.1.2.-Frecuencia y duración de los desechos.	25
4.2.-Consideraciones sobre los desechos del aserrado del granito.	26
4.2.1.-El recicló de las aguas clasificadas.	31

4.3. Nociones Teóricas de base.	32
4.3.1. Dureza del agua.	32
4.3.2. Acidez y basicidad de las aguas	34
4.4.-Mezclas Negras.	38
4.5. Criterios para determinar la dirección correcta del corte.	41
4.6. Características del Telar TG 1000 - MEGA.	43
4.7. Cálculo de los costes de aserrado con telar tradicional.	44
4.7.1. Cálculo del coste de los flejes	44
4.7.2.-Cálculo del coste de la granalla	46
4.7.3.-Cálculo del coste de la cal.	47
4.7.4.-Cálculo del coste del agua.	48
5.-PULIDO DE LOS TABLEROS ASERRADOS.	52
5.1.-Características de los abrasivos.	54
5.2.-Características de la Pulidora LM 2000.	55
6.-CORTE EN DESPIECE.	56
6.1.-Características del Disco Diamantado.	57
6.2.-Características de la Cortadora de Puente AL – 50.	58
6.3.-Características de la Cortadora de Puente AL – 72.	59
7. FLAMEADO Y ABUJARDADO.	60
8.-TRATAMIENTO DE LOS LODOS.	62
8.1.-Espesamiento rápido de los lodos	64
8.2.-Filtración de los lodos espesados y recuperación del agua limpia.	65
9.-RESUMEN PROCESO DE ELABORACIÓN.	68
10.-CONTROL DEL POLVO.	70
10.1.-Naves de Elaboración.	70
10.1.1.-Selección del sistema del control del polvo.	70
11.-UTILIZACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS GRANITOS.	74
12.-SEGURIDAD Y SALUD LABORAL EN ELABORACIÓN DE GRANITO . .	85
12.1.-Actitudes y comportamientos seguros por puestos de trabajo.	85
12.2.-Análisis de riesgos específicos.	86
12.2.1.-El ruido y sus efectos para la salud.	87
12.2.2.-El polvo y sus efectos para la salud.	89
12.3.-Las vibraciones y sus efectos para la salud.	90
12.4.-La manipulación de cargas y sus efectos para la salud.	92

12.4.1.-Empuje de elementos.	93
12.4.2.-Desplazamiento manual de pequeñas cargas	93
12.4.3.-Manejo de bidones.	94
13.-CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS ORNAMENTALES.	
CARACTERIZACIÓN.	101
13.1.-Descripción petrográfica.	101
13.2.-Análisis químico.	102
13.3.-Determinación del peso específico aparente y de la absorción del agua.	103
13.4.-Determinación de la resistencia a compresión.	104
13.5.-Determinación de la resistencia a flexión.	105
13.6.-Determinación de la resistencia al choque.	107
13.7.-Determinación de la resistencia a las heladas.	107
13.8.- Determinación de la resistencia al desgaste por rozamiento.	108
13.9.-Determinación de la resistencia a los cambios térmicos.	109
13.10.-Determinación del módulo de elasticidad.	109
13.11.-Determinación del coeficiente de dilatación lineal.	111
13.12.-Determinación de la resistencia al SO ₂	112
13.13.-Determinación de la resistencia al anclaje.	112
13.14.-Determinación del contenido en carbonatos.	113
14.-CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS ORNAMENTALES.	
NORMALIZACIÓN.	115
14.1.- El porqué de la normalización.	115
14.2.-La Normalización de la piedra natural.	118
14.3.-La Normalización en España.	118
15.-BIBLIOGRAFÍA.	122
15.1.-Libros.	122
15.2.-Artículos y documentación en línea.	123
15.3.-Páginas web.	123
15.4.-Visitas a empresas del sector.	124

1.-INTRODUCCIÓN.

El proceso del granito desde que se encuentra en su estado natural hasta que es usado por el ser humano, se ha dividido en dos grandes bloques:

- Proceso de extracción del granito.

Este bloque ha sido explicado por otro compañero por lo que en el presente estudio no se hará referencia a dicho tema.

- Proceso de elaboración del granito.

Será estudiado en el presente estudio, a partir de que el granito es extraído y transportado a fábrica. A continuación, se explicarán las maquinarias necesarias para la manipulación de la roca, los procesos de elaboración, usos del granito, ...

Teniendo en cuenta ambos bloques, hemos conocido a la perfección la vida del granito.

2.-GRÚA PÓRTICO BIRRAIL.

Una vez que el bloque de granito llega a la fábrica es descargado por una grúa pórtico birrail (Imagen 2.1), que se desplaza sobre 120 metros de camino, formado con 240 m de carril de 45 Kg/m, con sus correspondientes placas de anclaje y patillas de sujeción.



Imagen 2.1: Grúa Pórtico Birrail.

2.1.-Estructura del puente.

El cálculo de la estructura se ha realizado de acuerdo con las prescripciones de la norma DIN 120. Consta de dos vigas formadas por chapas de acero en ejecución soldadas en forma de cajón estrecho, que van rígidamente unidas a los dos testeros extremos, también en estructura de cajón, que soportan los galetes de traslación del puente.

Dichas vigas llevan diafragmas o rigidizadores horizontales y verticales en las caras anteriores de las chapas que forman el cajón, distribuidas de tal forma que aseguren la estabilidad local de almas y platabandas. El tramo central de cada viga, en una longitud de 6 metros se construirá de chapas longitudinales sin empalmes.

Las vigas principales van calculadas con amplitud, para resistir tanto las cargas verticales como los empujes horizontales en las condiciones más desfavorables, y en dichas

condiciones las flechas de vigas y de testeros, serán inferiores a $1/1000$ de sus respectivas luces.

2.2.-Zancas.

Las zancas están compuestas por chapas unidas entre sí, formando cajón, llevando en su interior los diafragmas necesarios que aseguren la estabilidad local de las zancas. Todo el conjunto de vigas y zancas están dimensionadas para resistir las cargas verticales, producidas por el peso de la carga, carro y peso propio, así como las cargas horizontales producidas por el viento y frenado del carro y pórtico.

2.3.-Vigas o Testeros.

Las vigas testeras también serán fabricadas en forma de cajón con diafragmas interiores distribuidos adecuadamente para el reparto uniforme de las cargas producidas por los galetes o vigas principales. Los apoyos de los galetes irán convenientemente mecanizados. La unión de las zancas a las testeras será atornillada y estos puntos serán debidamente rigidizados.

2.4.-Bastidor de carro.

Las vigas principales del bastidor del carro se construirán de forma similar a las testeras, siendo de chapas y perfiles laminados las auxiliares y apoyos mecanizados. Todo ello formará un conjunto de gran rigidez. Las poleas de compensación se dispondrán preferentemente en la parte superior del carro para que su revisión y mantenimiento sea cómodo.

La flecha máxima admisible en las dos vigas principales, tomada entre ejes verticales

de galletes del mismo lado, será como máximo de 1/1000 de dicha distancia, con la carga nominal suspendida del gancho.

2.5.-Mecanismo de elevación con Polipasto

Motor ampliamente dimensionado con freno electromagnético, de frenado instantáneo y gran seguridad (3 sobre el par motor). Reductor de engranes de acero tratado, tallados en máquinas de precisión montados sobre rodamientos de bolas en un cárter estanco en baño de aceite. Tambor de acero roscado por el exterior para el enrollamiento del cable girando en sus extremos sobre rodamientos a rodillos.

Grúa formada por una abrazadera de bronce con un dispositivo interior que evita el aflojamiento del cable. Final de carrera compuesto por microrruptores montados en cárter blindado graduables a la altura deseada.

2.6.-Aparejo

El gancho será construido de acero forjado y calculado de acuerdo con las normas DIN. Será montado sobre un rodamiento de bolas axial, apoyado en un crucete de acero forjado. Las poleas girarán sobre rodamientos obturados con sistema de engrase.

El grupo de poleas y cruceta de gancho irá en un fuerte armazón y protección construido en acero fundido.

2.7.-Mecanismo de Traslación del carro

El carro rodará sobre cuatro ruedas de acero fundido, con doble pestaña e irán encauchutadas en ejes de acero forjado. Estos girarán sobre rodamientos de bolas o rodillos, encajados y fijados al bastidor del carro.

Las ruedas motrices reciben el movimiento a través de un moto-reductor de engranes de acero tratado, montados sobre rodamientos en un cárter estanco en baño de aceite.

2.8.-Mecanismo de Traslación del puente

La traslación del puente se realiza por dos grupos de transmisión separados, que actúan sincronizados con mando único, dispuestos uno a cada lado y accionado cada uno a una rueda motriz. El puente se apoya sobre cuatro ruedas de acero moldeado duro mecanizadas con doble pestaña, ajustadas y enchavetadas a ejes de acero al carbono, los cuales giran montados sobre rodamientos de rodillo alojados en soportes de acero que llevan caja de engrase.

Asimismo, los mecanismos tractores forman un grupo compacto motor, reductor, conjunto de ruedas, de fácil desmontaje, reduciendo al mínimo el problema de mantenimiento. De la misma forma resulta sencillo desmontar cualquiera de sus partes, para lo cual el árbol de impulsión está dentado con flancos de envolvente.

El reductor consta de tres trenes que trabajan en constante baño de aceite, cuyos piñones y engranes son tallados en acero aleado de gran resistencia y montados sobre ejes del mismo material y que giran sobre rodamientos de bolas. Este reductor es movido por un motor de brida en cortocircuito y con freno electromagnético incorporado.

2.9.-Características grúa Puente Birrail.

La grúa Puente Birrail utilizada presenta las siguientes características (Tabla 2.1.):

TIPO	Birrail JE-125 H-24 G/I
LUZ	25 mts (voladizo= 5 mts)
CAPACIDAD	32000 KGS

VELOCIDAD DE ELEVACIÓN	25 MPM
MOTOR DE ELEVACIÓN	28 CV a 1.500 R.P.M
VELOCIDAD DE TRASLACIÓN DEL CARRO	25 MPM
MOTOR DE TRASLACIÓN DEL CARRO	Freno 3,2 CV a 1.500 R.P.M.
VELOCIDAD DE TRASLACIÓN DEL PUENTE	30 MPM
MOTOR DE TRASLACIÓN DEL PUENTE	2 Frenos de 5,5 Cv a 1.500 R.P.M.
RECORRIDO DEL GANCHO	7 METROS
MANDO MEDIANTE	Botonera desplazable independiente de carro.

Tabla 2.1: Características de la grúa Puente Birrail.

3.- PUENTE GRÚA: ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA GRÚA.

El transporte de los tableros por el interior de la nave ya sea para su pulido, para el corte, así como el movimiento de los palets, con el producto terminado, se realiza por medio de un puente grúa. Los elementos (Imagen 3.1), más importantes que componen una grúa son:

- Carro polipasto
- Testeros
- Vigas
- Armario eléctrico.
- Alimentación carro.
- Botonera de mando.

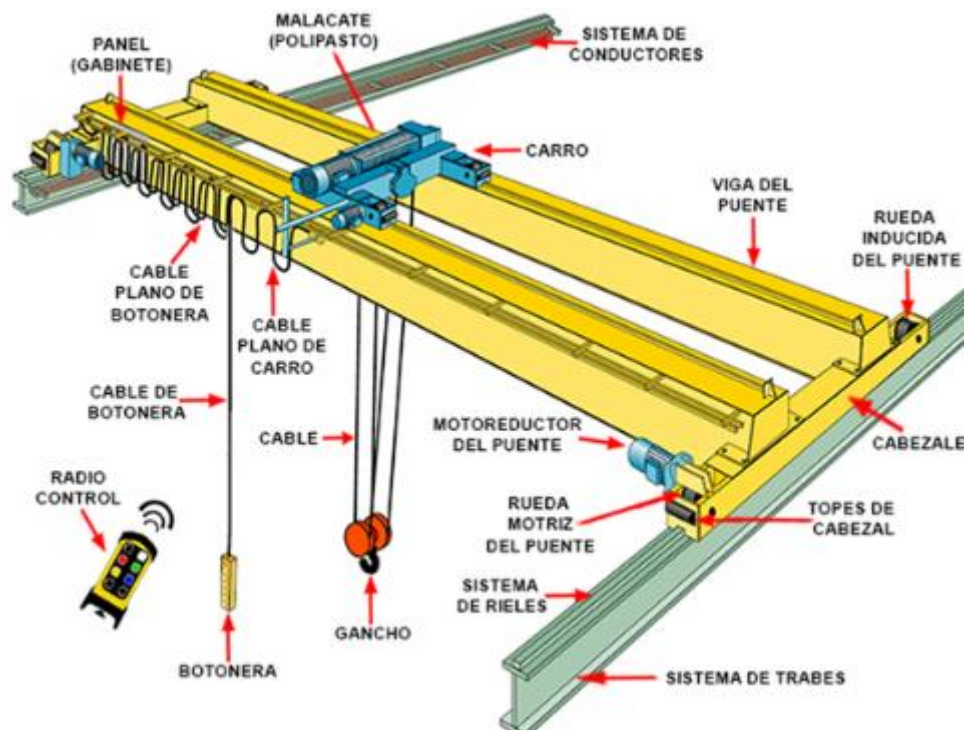


Imagen 3.1: Componentes de puente grúa.

3.1.-Motor de elevación.

Motor freno de rotor en cortocircuito (Imagen 3.2.), especialmente diseñado para su utilización en mecanismos de elevación. Protección IP44.



Imagen 3.2: Motor de elevación.

3.2.-Freno.

Electromagnético de accionamiento instantáneo (Imagen 3.3.), por cese de corriente a través de ferodo de disco frontal de gran seguridad.



Imagen 3.3: Freno para puente grúa.

3.3.-Reductor de Elevación

El reductor de elevación (Imagen 3.4.), formado por engranajes helicoidales montados sobre rodamientos girando en baño de aceite en la caja herméticamente cerrada. Las coronas y piñones están fabricados con acero de cementación consiguiendo reductores de reducidas dimensiones y alto rendimiento.



Imagen 3.4: Reductor de elevación.

3.4.-Tambor.

El tambor (Imagen 3.5.), de palastro soldado totalmente torneado con ranuras profundas, que gira sobre rodamientos. Su longitud es tal que, con el gancho, en posición más baja, queden enrolladas como mínimo, tres espiras de seguridad.



Imagen 3.5: Tambor.

3.5.-Guía Cable

Se trata de una abrazadera que acoplada a la rosca del tambor asegura el perfecto enrollamiento del cable; así como su duración.

3.6.-Aparejo y Gancho.

El gancho (Imagen 3.6), es de acero forjado, suspendido de una cruceta también de acero forjado, girando sobre un rodamiento axial. Las poleas son de acero laminado con gargantas profundas para el cable, que giran sobre rodamientos. Las poleas están protegidas por tapas de acero desmontables.



Imagen 3.6: Aparejo y gancho.

3.7.-Final de Carrera

Accionado por el guía cable, limita el movimiento del gancho en las posiciones extremas, aportando seguridad de funcionamiento.

3.8.-Equipo Eléctrico

En un armario compacto y suficientemente dimensionado se incluye todo el

aparellaje eléctrico. El mando del polipasto se hace a través de botonera colgante con pulsadores que accionan los contactores debidamente dimensionados.

3.9.-Mecanismo de Traslación

El mecanismo de traslación (Imagen 3.7) consta de un motor de brida en cortocircuito con freno electromagnético incorporado. El motor ataca a un reductor de engranajes helicoidales en constante baño de aceite, girando sobre rodamientos. Los ejes de salida accionan en ataque directo a dos ruedas motrices sobre rodamientos.



Imagen 3.7: Mecanismo de traslación.

3.10.-Bastidor

El bastidor (Imagen 3.8) formado por dos testeros en forma de cajón, mecanizados después del ensamblaje para asegurar la perfecta alineación de las ruedas. Los testeros están unidos entre sí por las vigas que soportan los asientos mecanizados que sirven de apoyo al polipasto.



Imagen 3.8: Bastidor

3.11.-Testereros y Mecanismos de Traslación

3.11.1.-Mecanismo de Traslación

Cada testero está equipado con:

- Un motor-reductor con engranajes helicoidales en constante baño de aceite girando sobre rodamientos.
- Dos ruedas que giran sobre rodamientos, una de las cuales es accionada en ataque directo por el eje de salida del reductor.

3.11.2.-Estructura

Construidos en forma de cajón soldado y mecanizados después del ensamblaje para asegurar la perfecta alineación de las ruedas. Dos topes de caucho van montados en los extremos.

3.12.-Características y dimensiones del puente grúa.

El puente grúa presenta las siguientes características y dimensiones (Tabla 3.1):

DENOMINACIÓN	BG-50
CAPACIDAD DE CARGA	5.000 KGS
VELOCIDAD DE ELEVACIÓN	5 M/MIN
POTENCIA MOTOR	7 C.V.
GRUPO C.M.A.A.	B - C
GRUPO F.E.M. 1987/150	M-4
NUMERO DE RAMALES	4 / I
IPN MÍNIMO	240

RADIO MÍNIMO (CURVA EN METROS)	2
VELOCIDAD DE TRASLACIÓN	20 M/MIN
POTENCIA MOTOR TRASLACIÓN	0.5 C.V.
RAÍL RODADURA CARRO BIRRAIL	40 x 30
LUZ	25 METROS
REACCIONES POR RUEDA	5.105 KGS Máximo 2.455 KGS Mínimo.

Tabla 3.1: Características y dimensiones del puente grúa.

4.-ASERRADO DEL BLOQUE EN TABLERO.

La grúa pórtico nos cargará los bloques en vagonetas portabloques, estos bloques se recibirán con mortero.

Las vagonetas portabloques son transportadas por un transbordador de vagonetas, que se desplaza sobre raíles por el interior de la nave, a su vez el transbordador será el encargado de introducir la vagoneta con los bloques dentro del telar. Una vez introducida la vagoneta con su carga en el interior del telar, se comenzará la operación de corte aserrado de los bloques (Imagen 4.1).



Imagen 4.1: Marco portaflejes de un telar.

El corte se consigue a través de un movimiento alternativo del bastidor portahojas. En un bastidor de acero, con unas dimensiones de 3,60 m de ancho y un largo útil de corte de 3,50 m, así como una altura útil de corte de 2,10 m, se montan los llamados flejes de aserrado. El número de flejes que caben en el bastidor de acero es de aproximadamente 120. Cada fleje tiene unas dimensiones de 120 x 4 mm, es decir, una altura de 120 mm y un espesor de 4 mm, el largo viene a ser de unos 3,80 m. Los flejes son de acero con una resistencia de 75-80 Kg·mm², y se montan en paralelo uno al lado del otro, con unos separadores entre fleje y fleje que tienen el espesor del tablero que se desea obtener. Cada fleje es tensionado hidráulicamente, por medio del llamado tensor oleodinámico. El tensor oleodinámico permite la constante tensión de las hojas sobre los bastidores para granito sin tener que parar la máquina, logrando, de esta manera gran ahorro de tiempo y de mano de obra.

La tensión constante, además, garantiza un mayor rendimiento de las hojas y una precisión mayor de corte. El tensor oleodinámico tiene construcción modular y se suministra instalado sobre una plancha que hay que aplicar directamente al bastidor.

La alimentación oleodinámica está suministrada por una central con funcionamiento manual para el montaje de las hojas, y funcionamiento automático con el bastidor en marcha. La tensión de trabajo puede regularse mediante un volante y en el manómetro se indica el correspondiente valor en toneladas.

La carrera de 30 mm de longitud del teclado asegura siempre la tensión a las hojas, incluso en caso de alargamiento anómalo de las mismas. Por tanto, el bastidor de acero donde van montados los flejes recibe una considerable tensión de compresión que alcanza, aproximadamente las 840 toneladas.

Una vez montados los flejes, convenientemente aplomados y tensionados, el bastidor está en condiciones de recibir el movimiento alternativo, que producirá el aserrado y que es proporcionado por medio de un sistema de biela-manivela.

Al movimiento alternativo hay que añadir la necesidad de refrigerar el fleje y aportar la granalla, para que por abrasión se produzca el corte. La granalla se fabrica mediante la fusión de chatarra cuidadosamente seleccionada, en hornos eléctricos. La composición química del acero líquido se analiza por espectrometría óptica.

Durante la atomización, el caldo metálico se transforma en las partículas de granalla, cuyo tamaño, y forma física son exhaustivamente controlados.

Composición química (Según S.A.E. J/827):

- Carbono: 0.85 - 1.20 Manganeso: 0.60 - 1.20 %
- Silicio: 0.40 - 1.20 %
- Azufre: 0.05 % máximo
- Fósforo: 0.05 % máximo

La microestructura será MARTENSITA uniforme, con carburos finos bien distribuidos, si los hubiera.

La dureza media de 10 partículas deberá estar dentro del margen de 62 a 66 HRC.

Se aplica un tratamiento HIFI que proporciona un incremento notable en la vida de la granalla, y por tanto un consumo inferior en el telar.

La refrigeración y aportación de granalla se produce por un circuito cerrado, accionado por medio de una potente bomba de SU HP, la cual está situada en un pozo que recibe la mezcla de barro, procedente del corte, con la correspondiente agua, cal, y la granalla

presente en el circuito.

La mezcla es lanzada nuevamente sobre la parte alta del bloque, introduciéndose por los cortes y pasando a situarse parte de ella bajo los flejes, que con el movimiento alternativo produce el aserrado.

Es muy interesante la consideración o estudio de la mezcla, formada por barro procedente del material eliminado en el aserrado y granalla. La mezcla debe ser lo suficientemente espesa para ser capaz de levantar la granalla. Si la mezcla no tiene conveniente consistencia, no es lo suficientemente espesa, por ser muy clara, la granalla no es capaz de subir, quedándose esta en el pozo. Entonces la abrasión que se produce sobre el bloque no corta y por tanto el fleje desvía, los cortes no salen verticales y entonces los tableros salen curvos.

Este material no sería aprovechable, ya que los tableros deben salir convenientemente planos.

Cualquier defecto en el aserrado incide fuertemente en la fase de pulido, elevando dada la dureza del material, mucho los costes en la fase de pulido.

La presencia de granalla en el pozo de la bomba es suministrada por el dosificador de granalla, que periódicamente va lanzando una determinada cantidad de granalla al pozo de la bomba. La cantidad de granalla debe ser la justa, ya que una mayor presencia de la misma, producirá una elevación del trabajo de los flejes, subiendo inmediatamente el amperímetro de trabajo, por lo que saltaría la alarma de la máquina, produciendo la parada de esta.

La granalla con el aserrado se deteriora, se consume, junto con el exceso de barro, y todo ello es eliminado por medio de un aparato que se denomina recuperador de granalla, el cual en esencia consta de un "ciclón" que permite que la parte más pesada, que contiene todavía granalla sea recuperada y la parte que pesa menos sea eliminada junto con el barro sobrante. Es decir, que durante el aserrado se va produciendo lo que se conoce como el "lavado". Se aporta periódicamente agua nueva con cal, granalla nueva y se elimina el exceso de barro y la granalla consumida, recuperando la aprovechable.

El bastidor del telar, en la máquina, va "colgado" de lo que se llama Balancines de la máquina, lo que le da un movimiento al bastidor de tipo pendular, que hace que el bastidor en cada revolución o movimiento alternativo se eleve un poco, aproximadamente dos o tres centímetros, lo que facilita la entrada de la mezcla, que se sitúa debajo del fleje para por abrasión producir el corte.

El consumo de granalla es de unos $2,5 \text{ Kg/m}^2$.

A continuación, se presenta el circuito de funcionamiento del telar (Imagen 4.2.)

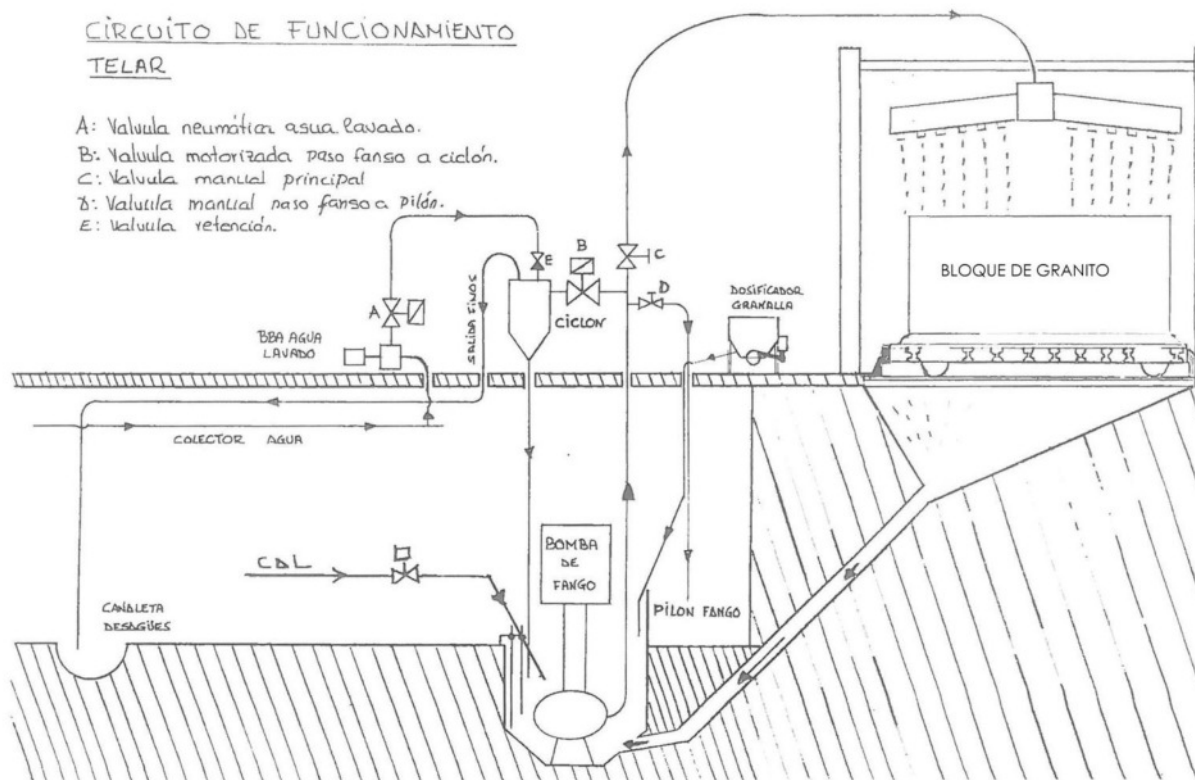


Imagen 4.2: Circuito de funcionamiento de telar.

Una vez aserrados los bloques en tableros, la vagoneta portabloques se saca del telar por medio del transbordador de vagonetas y es transportada a una zona de lavado, donde se procede a lavar los tableros con agua a presión.

4.1.-Parámetros que influyen en el aserrado del granito.

4.1.1.-La bajada.

El término técnico de "bajada" se utiliza para indicar la velocidad de corte de las máquinas para granito y mármol (Imagen 4.3). Es este uno de los asuntos más importantes, sin duda muy controvertido y difícil de tratar. En efecto, dado el alto coste de los bloques, la primera preocupación es casi siempre la de no dañar las losas, y así se utilizan bajadas bajas (10-20mm/h) prácticamente en todos los casos, para obtener resultados satisfactorios. Por consiguiente, los costes suben por la baja productividad del telar y el consumo del fleje y de la granalla puede aumentar, así como el consumo energético. Trabajar en estas condiciones, tan distintas de las óptimas, implica otra desventaja; la de no permitir al aserrador entender de ninguna manera el funcionamiento del instrumento que está maniobrando y tampoco individualizar los factores más importantes que tiene que controlar. En efecto, hay problemas también en los cortes donde las bajadas son muy limitadas. Por tanto, podemos decir que cuanto mayor sea la velocidad de bajada, mayor será el peligro de un mal corte, pero también es verdad que proceder siempre y a pesar de todo por bajadas bajas es un error e incluso puede perjudicar la buena calidad de un aserrado.



Imagen 4.3: Carga situada dentro del telar y lista para la bajada.

Cualquier telar, que no sea demasiado anticuado, a pesar de que tenga un movimiento pendular, puede trabajar fácilmente por bajadas elevadas con absorbimientos amperométricos normales. La posibilidad de tener bajadas elevadas (y una buena calidad del aserrado) depende mucho de la composición de la mezcla abrasiva y de la constancia en el tiempo de dicha composición. Utilizando bajadas muy bajas, sin duda garantizamos, un trabajo sin inconvenientes.

Una mezcla, que tenga una composición más o óptima, cambia poco dicha composición en el tiempo a causa de una limitada producción horaria de detritos de granito y granalla. También la regulación de los desechos es simple, dado que el tiempo a disposición para intervenir es largo y casi siempre el corte termina sin dificultad.

Sin embargo, además de los problemas de productividad mencionados al principio, proceder siempre y a pesar de todo por bajadas bajas puede determinar dificultades y peligros en el aserrado, especialmente al iniciar el corte y en presencia de fuertes cantidades de granalla gruesa, ya que el movimiento de los flejes tiene la importante función de eliminar la mezcla (y la granalla) del fondo de los cortes, y que dicha función es más limitada si la bajada es baja.

La observación práctica y los mecanismos de corte hipotizados nos dicen que los flejes no están en contacto directo con el fondo del corte. El utensilio de corte corresponde, en efecto, a la capa de mezcla abrasiva, de espesor más o menos alto según los casos, que se pone entre el fleje y el granito. Si la bajada es inferior respecto a la soportable por el telar, la distancia entre el fleje y el fondo aumentará ulteriormente mientras que la capacidad del fleje de eliminar la granalla y los detritos de corte será menor.

Por consiguiente, la granalla puede empezar a acumularse llevando a las consecuencias siguientes: Bajadas que no aumentan, desviación de los flejes, mezclas negras, etc. Utilizando bajadas más elevadas, la acción más eficaz de los flejes contribuye a eliminar la granalla y los detritos, impidiendo así su acumulación.

En efecto, se ha observado que a menudo el consumo de flejes está concentrado principalmente en la fase inicial del aserrado, cuando las bajadas son más bajas y el contenido de granalla más elevado. Por lo tanto, en las condiciones de corte susodichas, es evidente que el funcionamiento del sistema de corte puede entrar fácilmente en crisis; el

fuerte consumo del fleje nos indica que la energía proporcionada al utensilio es utilizada en una cantidad mínima para la eliminación del granito y en gran cantidad para la acción de frotamiento de la mezcla y el consumo del fleje.

Vamos ahora a examinar otro punto mencionado al principio: la posibilidad de proceder por bajadas muy elevadas. Desde el punto de vista energético, alcanzar este resultado no parecería demasiado arduo, dado que solo una pequeña parte de la potencia producida se utiliza para la eliminación del granito más que en otros frotamientos improductivos y dañosos. El perfeccionamiento de este mecanismo será posible regulando oportunamente los parámetros más importantes (viscosidad, contenido de granalla, velocidad de bajada, peso específico, etc).

Se observará así que la bajada aumentará gradualmente hasta valores elevados, disminuyendo el consumo de los flejes y de la granalla, mientras que el consumo energético, será un poco superior al que se produce normalmente. Pero, al mismo tiempo, aumentará también la sensibilidad a las variaciones en las condiciones operativas. En efecto, este sistema tiene una pequeña inercia y un equilibrio precario que puede romperse fácilmente con la modificación de los parámetros del corte.

En presencia de bajadas elevadas se soportan mal hasta las interrupciones que normalmente se hacen para asegurar los tableros o controlar los flejes. Durante estas pausas, que siempre tendrán que ser limitadas y breves, la mezcla inmóvil en el pozo y en los conductos cambiará su estructura, y el mecanismo de corte que estaba en régimen, será interrumpido y luego restablecido con dificultad, empezando en condiciones menos rígidas. Además, en presencia de bajadas elevadas, las modificaciones en la composición de la mezcla serán sin duda muy evidentes a causa de la veloz eliminación del material.

Una de las primeras modificaciones se producirá a causa de las altas temperaturas que se desarrollan, temperaturas que favorecen reacciones en la mezcla, una mayor evaporación del agua y, por consiguiente, aumento de viscosidad. Otra importante modificación, ella también con efectos sobre la viscosidad, será la originada por un constante aumento de mineral triturado.

En un corte hipotético de bloques de 3 metros de largo, con un centenar de flejes y con una bajada de 50 mm/h, habrá un aumento de alrededor de 350 Kg de materiales sólidos

triturados cada hora. Es evidente como esta cantidad de material sólido junto a un volumen de la mezcla en circulación de 1500 litros aproximadamente, puede cambiar fácilmente sus parámetros. En efecto, los desechos previstos con una determinada frecuencia tienen la tarea de mantener más o menos constantes las características de la mezcla, eliminando los detritos sólidos con la misma velocidad con la que se han producido. Pero, en bajadas elevadas el control de la composición de la mezcla es siempre más difícil, y no podrá hacerse a través de los métodos utilizados en las bajadas bajas porque en pocas horas el sistema puede salir del campo de regulación.

Un aserrador muy experto puede intervenir para corregir cada vez la situación, pero es evidente que la posibilidad de controlar la mezcla solo puede darse con un sistema automático retroactivo, que regule la viscosidad, el contenido de granalla y otros parámetros. "Sistema de regulación retroactivo" significa instrumentos de medida continua de las variables afectadas, conectados a sistemas que intervienen para restablecer en el valor deseado los parámetros controlados que eventualmente se hubieran desviado de los intervalos prefijados.

La mayoría de los telares modernos efectúan este tipo de control solamente para las bajadas y para el amperaje del motor principal, mientras que parámetros como la viscosidad, peso específico y porcentaje de granalla gruesa no se controlan para nada o bien se controlan con un sistema llamado "en adelante". O sea, el sistema de regulación prevé las variaciones que se producirán en la mezcla y actúa para eliminar las variaciones hipotizadas, sin embargo, no hay ningún instrumento que compruebe si la acción reguladora ha ocurrido satisfactoriamente o no.

Es obvio que, en presencia de bajadas elevadas, una regulación de este tipo no puede ser satisfactoria, la masa de detritos producidos, la gran cantidad de granalla a alimentar por unidad de tiempo y, en general, las fuertes modificaciones del equilibrio con la imposible previsión de todos los efectos secundarios, producen pequeños errores de regulación que se acumulan hasta que se producen situaciones inadecuadas a las bajadas utilizadas.

Podríamos llegar así a las siguientes conclusiones: la bajada, en relación a la composición de la mezcla, no tendría que ser demasiado baja y tampoco superar la cantidad fisiológicamente soportable por el mecanismo de corte, en presencia de más grandes cantidades de granalla, la bajada podrá y tendrá que ser más elevada, pero esto no siempre

es posible si en precedencia se han producido fenómenos de sedimentación en los cortes. La dificultad de trabajar utilizando bajadas elevadas es debida en parte a la resistencia de los materiales, lo cual sucede por la difícil regulación de la composición de las mezclas abrasivas.

4.1.2.-Frecuencia y duración de los desechos.

Otra operación importante de controlar es el lavado de las mezclas abrasivas. La operación de lavado es esencial para eliminar del ciclo los detritos de corte. El lavado sirve también para regular la viscosidad y el peso específico de la mezcla. En efecto, para cada fracción de mezcla extraiga, a través de la sonda de un nivel del pozo, entrará una cantidad igual de agua. Así es posible diluir la mezcla, que, de lo contrario, se volvería siempre más viscosa por el continuo aporte de materiales sólidos.

Al hablar de la bajada, hemos dicho que la composición de la mezcla que trabaja en régimen tendría que mantenerse constante. Por lo tanto, sería más preciso hacer el lavado de manera tal que limite en lo más posible las variaciones de composición, y que regule bien la viscosidad. Así pues, está claro que las operaciones de lavado, tendrían que ser más frecuentes y breves en lugar de escasas y largas. En efecto, con el aumento de los sólidos, aumenta la viscosidad y la tendencia de la mezcla a pegarse al bloque y a las paredes del telar.

Cuando se toma una parte de mezcla para el lavado, y luego se adicionan agua y cal para restablecer el nivel del pozo, la mezcla es inicialmente más fluida, pero la mayor fluidez despegga los depósitos de la mezcla y hace aumentar de nuevo la viscosidad y el porcentaje de sólidos en suspensión. En la práctica, ya no es posible llevar a cabo la regulación. En cuanto a la duración de la operación de lavado, tiene que ser proporcional a la bajada, de modo que los desechos de corte sean eliminados con la misma velocidad, con la que se produjeron.

Regulando cuidadosamente la duración del tiempo del lavado es posible regular también la viscosidad y el peso específico a los valores deseados. Es posible observar que las variaciones introducidas llevan tendencialmente a otro equilibrio con parámetros diferentes de aquellos iniciales. El dispositivo mediante el cual se realizan los lavados de la

mezcla es de diversos tipos.

4.2.-Consideraciones sobre los desechos del aserrado del granito.

Las mezcla utilizada en el aserrado del granito deben tener características particulares a fin de que el corte proceda por bajadas elevadas produciendo tableros llanos. La mezcla tiene generalmente la siguiente composición en porcentajes:

- Cal: 1.2 %
- Agua: 66.3 %
- Granalla: 3.1 %
- Mineral: 29.4 %

Los datos están expresados en volumen y no en peso por la gran diferencia entre los pesos específicos de cada parámetro (agua 1g/cc, granalla 8-5 g/cc, detritos 2-1,5 g/cc, cal 0.6-0.9 g/cc). Su fluidez es así más fácil de intuir. La composición de los desechos de la mezcla de aserrado no es muy diferente de la mezcla misma, por lo menos durante el corte, mientras que cambia sustancialmente cuando el aserrado termina y se prepara el telar para el corte sucesivo.

En esta fase, aunque durante un tiempo limitado, la cantidad aumenta enormemente por el lavado manual de los aparatos. Esto implica variaciones cualitativas y cuantitativas de los desechos. Se podría decir que los desechos de las instalaciones del aserrado de granito se caracterizan por una gran cantidad de sólidos de naturaleza y dimensiones diversas, porque contienen granalla de hierro de diverso tamaño, desechos del aserrado de dimensiones bastante grandes y partículas de unos micrón.

Las partículas pequeñas, también dichas coloidales, no se depositan solas tampoco en tiempos largos. Según lo dicho anteriormente, es evidente que los desechos de la mezcla del aserrado tienen características variables en el tiempo, tanto en el aspecto cualitativo como en el cuantitativo. Además, se puede decir que otra variable es el operador especialista que maneja el aparato que, generalmente, trabaja con características de la mezcla y metodologías de ejecución que se basan en su experiencia personal. Se han definido estadísticamente las características de los desechos midiendo los valores de diversos aparatos. Por consiguiente, antes de someter cada mezcla al proceso de clarificación (es decir, de separación de los

sólidos del líquido), será indispensable hacer un test de fiabilidad.

Esto significa que, antes de tratar los desechos con un producto cualquiera, por razones económicas y técnicas es indispensable hacer pruebas para ver cuál será el producto más idóneo para el tratamiento (criterio técnico), y sobre todo para ver con cual dosificación es preciso operar a fin de obtener una buena floculación (criterio económico). Esta prueba es necesario porque una buena floculación es posible solo cuando hay una afinidad electrostática entre las partículas suspendidas en el agua (turbieza) y el floculante utilizado para la precipitación.

Por lo general, los floculantes del mismo tipo (polímeros catiónicos, o amiónicos o no iónicos), marcados por siglas diferentes se distinguen entre sí por la concentración del producto y por la fricción de carga electrostática que poseen.

Una vez individuado el polímero idóneo, es siempre posible obtener una buena floculación a través de una correcta dosificación del mismo polímero, una mayor o menor dosificación casi siempre lleva a una mala floculación. La prueba se hace por medio de un aparato que se llama "Iar-Test", constituido por dos o más agitadores regulables, cada agitador trabaja con un becher por unos minutos, y luego cada en cada becher, se dosifican cantidades variables de solución de polímero.

Al principio, se utilizan cantidades muy pequeñas, alrededor de 10/15 p.p.m (partes por millón o mg/litro), se reduce la revolución hasta cero y se deja descansar unos minutos. En cada becher, la dosificación se ha realizado de tal manera que aumentará de 2-3 p.p.m; se observa entonces en cual recipiente se produce una perfecta clarificación.

La prueba se repite varias veces para garantizar su fiabilidad. Cabe recordar que el polímero tiene que ser dosificado. no en base al volumen de la mezcla, sino en base a la cantidad de sustancia a precipitar, recordando siempre que las partículas gruesas consumen el polímero. Gracias a la prueba del Iar-Test es posible conocer datos fundamentales:

- El volumen del líquido flotante.
- El volumen del fango y el tiempo que lleva para separarse del agua.
- El consumo del polieléctrolito.

De los primeros datos sacamos los elementos experimentales para las dimensiones del decantador, del filtro prensa para la deshidratación del fango, y la bomba de alimentación del filtro prensa (Imagen 4.4).. El tercer dato es el más importante para el cálculo de los

gastos de gestión.

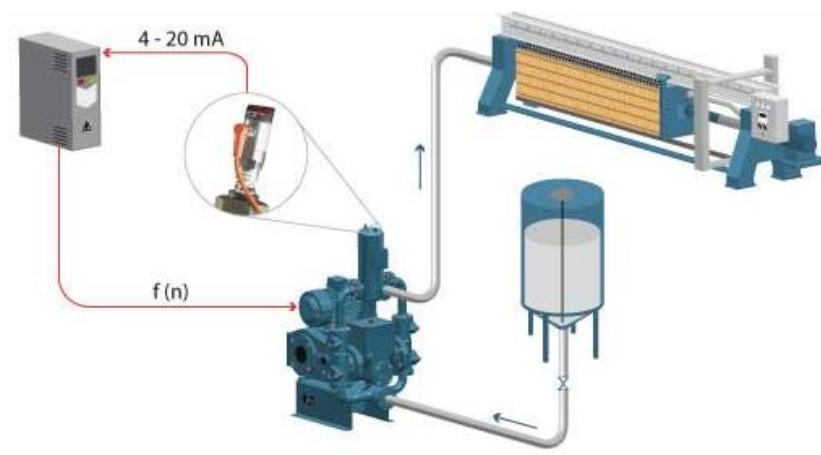


Imagen 4.4: Decantador, filtro prensa y bomba de alimentación.

Para la evacuación de los desechos de la mezcla será preciso adoptar un sistema de tratamiento con el cual el fango puede ser colocado en una descarga de tipo B y las aguas vertidas en aguas superficiales (ríos, mares o lagos), con tal que respeten los parámetros de según la Ley mostrada en la Tabla 4.1:

Componente	Valor requerido por el cuadro Ley.	Valor encontrado en las aguas de corte después del tratamiento químico-físico.
PH	5-9.5	12-13
Materiales Sedimentarios	0.5 mg/l	--
Materiales en suspensión	80 mg/l	--
Aluminio	1 mg/l	--
Hierro	2 mg/l	--
COD	160 mg/l	--
Cloruros	1200 mg/l	--

Tabla 4.1: Parámetros según Ley.

El sistema consiste únicamente en un tradicional aparato de depuración del cual saldrá un fango con un grado de sequedad superior al 65-70%. Este grado de seco es necesario para dar estabilidad al fango mismo y, sobre todo, para moderar los gastos de transporte. El fango que procede del corte del granito, por su composición química, puede ser colocado en descargas del tipo B con tal que tenga un grado de sequedad de 65-70% aproximadamente. Es posible alcanzar este porcentaje muy fácilmente con un filtro o una cinta prensa.

En cambio, las aguas clarificadas pueden ser vertidas en aguas superficiales solo si se respetan los parámetros químicos establecidos por la Ley. Los controles que hay que hacer en este tipo de aguas son:

- El PH es un parámetro que depende de la cal añadida y siempre está fuera de los límites establecidos por la ley, si no se corrige. Su corrección puede hacerse con ácido clorhídrico con el riesgo de no respetar los límites establecidos para los cloruros.
- Los sólidos en suspensión y aquellos sedimentarios no crean problemas si el aparato de tratamiento está bien dimensionado y si el polímero es justo; estos dos parámetros dependen exclusivamente del proyectista y del operador del aparato. El aluminio y el hierro dependen mucho de la naturaleza del material cortado, del PH de la mezcla y de los eventuales coagulantes utilizados para mejorar la floculación.
- El COD es el parámetro que controla la cantidad de sustancia contaminadora presente en el agua. Generalmente, este parámetro está siempre dentro de los límites aceptables; en condiciones particulares de utilización excesiva de un polímero, este podría quedar en solución y el COD salirse de los límites marcados por la Ley. Las consideraciones sobredichas sugieren un aparato de tratamiento de los desechos con la siguiente estructura:
 - Una fase de Homogeneización, necesaria para que el efluente tenga una composición constante.
 - Una fase de floculación que, bajo agitación, permite un contacto estrecho entre mezcla y reactivo.
 - Una fase de decantación en la que se produce una separación entre el sólido y el líquido. El líquido se descarga tras la regulación de su PH, mientras que el sólido pasa a la fase sucesiva. El dimensionamiento de este decantador

tiene que hacerse en base a la cantidad de masa tratada, a la velocidad de caída del flóculo del fango y a la velocidad ascensional de la mezcla en el decantador. Según lo dicho, en el decantador lo que importa es la superficie y no la longitud, siempre en función del caudal.

- Una fase de acondicionamiento de fangos, que se lleva a cabo por medio de un filtro prensa o una cinta prensa y sirve para acondicionar el fango hasta un contenido de sequedad de alrededor del 70%. El fango así acondicionado puede ser almacenado temporalmente en un lugar apropiado y enviado a la descarga. El agua que sale del filtro, siempre en cantidades pequeñas, puede ser conducida a la parte superior del aparato de modo que los eventuales sólidos presentes no creen problemas. Para el buen éxito del proceso de clarifloculación, el método de separación del polímero y su concentración tienen una gran importancia.
- El floculante es una molécula orgánica muy larga que, en el estado sólido, se enrolla en sí misma, por eso, antes de su utilización, es preciso realizar la solución de este producto agitándolo lentamente, en concentraciones nunca superiores al 5%. Esto permite a la molécula abrirse y ejercer su acción máxima floculante. El ideal está alrededor de 1-2% y siempre es necesario dejarlo madurar agitando lentamente (50-90 rpm) durante 30-60 minutos hasta que alcance las dosis necesarias para el Jar-Test.
- Hay que hacer la dosificación de la mezcla mediante una lenta agitación de modo que el floculante pueda distribuirse igualmente en toda la masa, antes que alguna partícula de fango en suspensión, más grande que las otras, capture más polímero del necesario. existen en el comercio pequeños aparatos para la preparación del floculante que funcionan continuamente y que dosifican el polvo en relación al caudal de agua de alimentación. Este sistema garantiza una concentración constante.
- El sistema de solubilidad se compone de tres cámaras, cada una de las cuales está provista de un agitador lento. La primera actúa como solubilizadora, la segunda y la tercera como cámaras de maduración. La bomba dosificadora de polieléctrolito es alimentada por esta cámara. Gracias a este sistema estamos seguros de que la concentración y el grado de madurez del polieléctrolito son siempre los mismos hasta que la programación cambie. Tras haber encontrado el justo equilibrio en esta fase, que garantiza características constantes en los desechos, será fácil utilizar

correctamente el aparato de clarificación.

4.2.1.-El reciclaje de las aguas clasificadas.

El artículo 7 de la Ley 319 dice en el último apartado: "Todos los sujetos que, sin ayudas estatales, proveen autónomamente el abastecimiento hídrico, tendrán que proveer a la instalación y al buen funcionamiento de los aparatos idóneos para la medida del caudal de las aguas sacadas y denunciar esto a las oficinas competentes de la administración en el plazo máximo de un año". Está claro que la ley se dirige hacia el control del agua sacada del suelo, lo que, en el futuro, podría gravar económicamente sobre las empresas.

Por lo tanto, es oportuno tomar en consideración la posibilidad de reciclar el agua clarificada. A menudo, el agua clarificada, sobre todo si está neutralizada, tiene una salinidad que crece con el número de los reciclajes, incluso puede contener sólidos en suspensión y de sedimentación o bien transportar cantidades pequeñas de polímero en función de la dosificación de este.

Hay diversos inconvenientes que pueden producirse: el transporte del polímero conlleva a problemas tanto en la fase de corte como en la de pulido. Esto es fácil de comprender si se piensa que el polímero es una macromolécula orgánica muy estable, es decir, difícilmente degradable. Si se la somete a esfuerzos mecánicos y térmicos de los flejes y de la mezcla de aserrado o de la muela bruñidora, se adhiere a la superficie del granito creando imperfecciones en el pulido. Además, da a la solución un poder lubricante que disminuye el efecto abrasivo de la mezcla, un efecto positivo obtenido es que dicha agua clarificada tiene un PH alrededor de 10, lo que conlleva un menor consumo de cal en la reintegración de la mezcla.

Es posible eliminar los inconvenientes si se plantea el tratamiento de los desechos con el objetivo del reciclaje. Esto quiere decir que el aparato debe de tener la posibilidad de:

- Mantener constante la concentración de sólidos en los desechos. Ofrecer la posibilidad de eliminar de los desechos, los sólidos más grandes que se separan espontáneamente en breve tiempo, porque se enlazaría solo momentáneamente con el polímero, requiriendo una cantidad mayor de lo necesario para la clarificación del agua. Este polímero enlazado temporalmente puede ser de nuevo libre en el agua,

apenas los fangos sean manipulados, y volver a emerger en exceso en otras fases de elaboración donde no sea oportuno.

- Tener un consumo mínimo de polímero según los resultados de las pruebas con el Iar_test (del dimensionamiento del decantador).
- Permitir una buena filtración del fango sin otras adiciones de polímero.

Respetando estos criterios generales, el agua puede considerarse idónea al reciclaje.

4.3. Nociones Teóricas de base.

Los asuntos que vamos a tratar son la dureza del agua y la medida de su acidez o basicidad mediante la determinación de su PH. Hablaremos también de los fenómenos de coagulación y floculación que son importantes para comprender mejor el funcionamiento de los aparatos de elaboración de los desechos de corte.

4.3.1. Dureza del agua.

Las aguas que se utilizan en grandes cantidades en el aserrado y en el pulido del granito proceden casi completamente de pozos más o menos profundos excavados en el suelo, o de corrientes de agua superficiales. Generalmente, estas aguas son limpias e incoloras, pero pueden contener sustancias diversas, así como formas de vida microscópicas, sustancias orgánicas que derivan principalmente de residuos. Las bacterias y las sustancias orgánicas presentes en pequeñas cantidades hacen no potables las aguas del pozo, pero no ocasionan ningún problema en la elaboración de las piedras. En cambio, los minerales disueltos en las aguas que corren por las entrañas de la tierra pueden afectar a las operaciones de aserrado.

Estas sales pueden ser muy abundantes en relación a la naturaleza del suelo que atraviesan, y su presencia nos indica la llamada "dureza" de un agua. El contenido salino de un agua, es decir, su dureza, se mide y se expresa en grados franceses (°F). Un agua ligera tiene una dureza de 4-8 grados franceses; en cambio, un agua muy dura tiene una dureza igual o superior a 30 grados franceses. Un agua de pozo tiene una dureza que oscila entre 15 y 35 grados.

Vamos a examinar más profundamente el concepto de "dureza".

Dado que las sales disueltas en el agua son disgregadas, casi siempre se hablará de la composición salina en términos de iones, positivos o negativos, presentes en el agua. Los iones positivos más comunes en el agua son los de Calcio, Magnesio, hierro, manganeso, aluminio, sodio, potasio y otros. Los iones negativos agregados a los iones mencionados son el ión hidro-carbónico (HCO_3^-), el ión sulfúrico (SO_4^{2-}), el ión de cloruro (Cl^-) y otros en cantidades menores.

La dureza de un agua corresponde a la cantidad de sales de los iones positivos (cationes) mencionados (menos los iones Na^+ y K^+) presentes en un litro de agua. Sin embargo, no se identifican dichas sales individualmente, sino globalmente, como si fueran carbonato de calcio (CaCO_3). La dureza se mide habitualmente en grados franceses ($^\circ\text{F}$) y se establece convencionalmente que 1°F equivale a 10 mg/l de CaCO_3 que, como ya indicamos, es la sal de referencia. Por consiguiente, cuando decimos que un agua tiene una dureza de 20°F no significa que dicha agua contiene $20 \times 10 = 200$ mg/l de CaCO_3 , sino que puede contener diversos tipos de sales que, teóricamente, equivalen a 200 mg/l de CaCO_3 .

La dureza total de un agua se compone de una dureza temporánea y una permanente, en relación al tipo de sales presentes. La dureza temporánea se debe a la presencia de bicarbonatos (el bicarbonato de calcio es el más común) y se la llama así porque puede ser eliminada fácilmente, mientras la permanente deriva de todas las demás sales. Es posible utilizar también grados ingleses, alemanes u otros que son similares a los franceses. No haremos distinciones sino sólo vamos a mostrar la relación entre los varios grados de dureza:

Si se quiere pasar de los grados franceses a otras escalas de dureza, se multiplican los $^\circ\text{F}$ por los factores indicados. En cambio, si se quiere transformar los demás grados de dureza en $^\circ\text{F}$, se divide por los factores indicados. El interés de la industria hacia la dureza se debe al hecho de que las aguas duras producen incrustaciones y, a veces, fenómenos de corrosión.

En nuestro caso específico, dichos problemas no son muy importantes, sin embargo, el uso de las aguas muy duras puede causar problemas en la formación de las mezclas abrasivas, en el pulido y en el corte con herramienta diamantada. Por lo que atañe las mezclas abrasivas, la dureza del agua afecta a la formación de la lechada de cal. En efecto, lo que

sucede es que los bicarbonatos de calcio y de magnesio presentes en el agua (que son generalmente abundantes y constituyen la "dureza temporal" mencionada antes) reaccionan con la cal dando lugar a un precipitado de Carbono de Calcio (CaCO_3).

El fenómeno es bien visible si preparamos dos mezclas: una de agua destilada con cal y la otra de agua de grifo con la misma cantidad de cal. Es posible observar cómo, en el segundo caso, la lechada de cal clarifica mucho más rápidamente. Probablemente, la reacción de precipitación que se verifica entre los bicarbonatos y la cal favorece la floculación de las partículas más sutiles de cal y, por consiguiente, la mezcla clarifica antes. El mismo fenómeno no se repite en la muestra con agua destilada.

La cal, también por su propiedad disgregante, es útil para mantener tixotrópica la mezcla en presencia de sales que, en cambio, favorecen el fenómeno opuesto, es decir, la floculación. Por lo tanto, el efecto que nosotros deseábamos se ha reducido. Otro efecto importante concierne al pulido: la presencia de sales interfiere aumentando los consumos energéticos y opacando a las superficies. La causa puede hallarse en la precipitación de las sales presentes (por evaporación del agua y transformación química de la dureza temporánea por parte de los bicarbonatos) con efecto empastante.

El pulido se realiza mucho mejor utilizando aguas sin sales y la razón es bastante evidente: a causa del calor desarrollado por la abrasión y a causa de la evaporación natural, las sales presentes en el agua se depositan sobre el utensilio y las superficies elaboradas con efectos negativos. Lo mismo se verifica, aunque de manera menos evidente, en el corte con herramienta diamantada. Para concluir, toda operación, en el sector de las piedras naturales se realiza mejor si las aguas de elaboración tienen una dureza limitada.

4.3.2. Acidez y basicidad de las aguas

Un problema que atañe específicamente a los aserradores es la basicidad o alcalinidad de las aguas de desecho. El agua químicamente pura, es decir, destilada, es neutra. Si se le añade un ácido (clorhídrico, sulfúrico, acético, etc.) a un agua pura, ésta se vuelve ácida. En cambio, si se le añade una sustancia alcalina (o básica) como la cal (Ca(OH)_2), potasa caustica, soda caustica, la solución se vuelve básica. La característica ácida o básica de una solución de agua se mide por medio de la escala de PH.

Cuanto más ácida la solución, más bajo es el valor de PH (Imagen 4.5). Si una solución es neutra, su PH oscila en torno a 7. Más básica la solución, más elevado su valor de PH (hasta 14). Un problema que interesa muy de cerca al técnico de los aserraderos es el de las aguas que salen de la filtro-prensadora de los fangos de desecho. Estas aguas están saturadas de cal y su PH tiene un valor de 12.7 aproximadamente.



Imagen 4.5: Escala del PH.

La ley 319 impone unas normas para tutelar las aguas de la contaminación. En nuestro caso particular el parámetro que nos concierne más es el del PH que tiene que estar entre 5.5 y 9.5 y (6.5 y 8.5 en un radio de 50 metros desde el punto de desagüe en el río). Por lo tanto, no es posible evacuar las aguas de filtración sin infringir la Ley. Así quedan dos posibilidades: neutralizar las aguas por medio de un ácido, antes del desagüe, o bien reciclarlas para neutralizarlas en los aserraderos, para que sean compatibles con las elaboraciones a realizar.

El reciclaje de las aguas es la solución mejor, también para disminuir el coste, así como impuestos sobre las aguas tomadas del subsuelo. No hay ningún problema en lo que concierne al reciclaje de aguas básicas en los telares durante la formación de las mezclas abrasivas, a condición de que estas no contengan demasiados floculantes que, generalmente, se añaden para facilitar la filtración.

Incluso, una cantidad de floculante muy pequeña (5-10 mg/l) en las aguas de reciclaje llevaría a disfunciones muy graves si dichas aguas fueran utilizadas en las mezclas abrasivas. En cambio, estas aguas básicas de reciclaje no son adecuadas para el pulido, porque contienen sales disueltas. En cuanto a la medida del PH de una solución, es posible utilizar unos "indicadores" o aparatos específicos llamados PHmetros. El método más conocido y viejo es el de los indicadores, es decir, sustancias que, añadidas al agua examinada, toman una

coloración diferente según el PH de la solución.

Son muy conocidos los "papeles de tornasol", que se tiñen de rojo en ambiente ácido y de azul en ambiente básico. Hoy en día, se utilizan papeles más selectivos, empapados de mezclas de indicadores de tal manera que, según el color tomado por la solución, nos indican aproximadamente el valor del PH. El método más preciso para determinar el PH es el que se aplica por medio del Phmetro que, gracias a la tecnología moderna, es muy rápido, robusto, seguro y económico.

Este aparato tiene una sonda, o "electrodo de vidrio", que adquiere un potencial diferente según la concentración ácida o básica. El aparato tiene una escala en PH, pero hay que calibrarlo mediante dos soluciones tope con PH conocido.

4.3.3. Coagulación y floculación

Los procesos de coagulación y floculación se utilizan para separar los sólidos que están en suspensión en el agua cuando sus velocidades naturales de precipitación son demasiado bajas para ofrecer una clarificación eficaz. La clarificación de las aguas turbias puede ser un ejemplo: el agua turbia contiene materiales en suspensión tanto sedimentarios (partículas bastante gruesas para sedimentar fácilmente) como dispersos (partículas que no sedimentan fácilmente). Una parte significativa de los sólidos dispersos es coloidal.

Cada partícula coloidal es estable gracias a cargas eléctricas que, en su superficie, repelen a las partículas cercanas, así como los polos magnéticos se repelen entre sí. Esto impide a las partículas con el mismo signo de chocar y formar masas más grandes, llamadas flóculos, quedando en suspensión. La coagulación es la desestabilización de dichos coloidales por neutralización de las fuerzas que los mantienen separados, y se realiza añadiendo coagulantes a la suspensión y aplicando una energía mezcladora.

Los productos químicos que generalmente se utilizan son sales de aluminio, sales de hierro y polielectrolitos. Los tipos de coloidales encontrados en las aguas turbias son: arcilla, sílice y silicatos, sales de hierro y de otros metales. Los coloidales pueden también producirse en los procesos de precipitación, incluso los aceites en las aguas de desecho se encuentran frecuentemente en forma coloidal.

Dada la variedad de materiales coloidales presentes en el agua, hay también una gran

variedad en las dimensiones de las partículas (1-500 milimicras). Los coloidales siempre necesitan coagularse para sedimentarse más rápidamente, pero aún las partículas más grandes, que no son realmente coloidales y pudieran sedimentar, si tuviesen el tiempo suficiente, se coagularían formando flóculos más grandes que pitarían más velozmente. Cuando en una instalación el tiempo de sedimentación en un aparato no es bastante largo para eliminar los sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación son necesarias para aumentar las dimensiones y el peso específico de las partículas y su velocidad de sedimentación.

Los coloidales pueden ser hidrófilos o hidrófobos. Los coloidales hidrófobos no reaccionan con el agua porque tienen afinidad con ella y deben su estabilidad a la carga eléctrica, generalmente negativa, de sus partículas que, por eso, se repelen entre sí. Por ejemplo, la mayoría de las arcillas naturales son hidrófobas. Los coloidales hidrófilos son estables gracias a la atracción hacia las moléculas de agua, con las que tienen más afinidad que con las cargas eléctricas, generalmente débiles. La fuerza con la que las partículas del mismo signo se repelen se llama "potencial ceta".

Por lo tanto, un coagulante tiene que "descargar" los coloidales presentes en el agua y formar un precipitado. Los principales coagulantes son sales minerales trivalentes y polivalentes; estos producen hidróxidos que tienden a aglomerarse en flóculos, arrastrando las partículas en suspensión por simple acción física o electrostática y sedimentado velozmente. Una vez que el coagulante añadido da lugar a la formación del flóculo, cuantos mayores sean el peso y la cohesión del flóculo en suspensión mayor será la precipitación.

Una moderada agitación que favorece el encuentro de las partículas coloidales "descargadas" y la adición de sustancias llamadas "floculantes", favorecen la formación y la sedimentación de los flóculos. Efectivamente, dichas sustancias aumentan la acción del coagulante e intervienen en la calidad del flóculo haciéndolo más coherente y aún más fácilmente deshidratable. Cuando las cargas del mismo signo de las partículas coloidales no son muy intensas, la coagulación y la floculación pueden producirse con el solo coagulante.

Los floculantes pueden ser inorgánicos como la sílice y la bentonita, o bien orgánicas como los polielectrolitos. Los polieléctrolitos son polímeros orgánicos hidrosolubles que, en su estructura molecular, tienen grupos de iones de cambio los cuales dan a la molécula una carga iónica. Los iones con cargas positivas son catiónicos, y aquellos con cargas negativas,

aniónicos. estas moléculas reaccionan con el material coloidal en el agua, neutralizando sus cargas y formando "enlaces" entre las partículas para que se aten en flóculos visibles e insolubles.

Es difícil establecer reglas precisas para la elección del floculante, aunque los parámetros más significativos que influyen en el fenómeno son: PH, temperatura y concentración. Siempre es oportuno efectuar pruebas de laboratorio (Iar-Test).

Por lo general, un exceso de floculante no produce resultados mejores de los obtenidos mediante dosificación, sino que incluso, puede resultar dañoso. Nótese que las consideraciones hechas hasta ahora son válidas para mezclas que contengan suspensiones coloidales. Las mezclas utilizadas en el aserrado del granito no solo están formadas por coloidales, sino que también tienen una composición bastante heterogénea.

La granalla y gran parte del mineral se sedimentan fácilmente dado el elevado peso específico aun sin el empleo del floculante. El polieléctrolito se adhiere a todas las partículas sólidas de la mezcla, que estén todavía por flocular o no, es decir, granalla, coloidales y detritos de aserrado. Esto aumenta el consumo de floculante sin mejorar la sedimentación y, a veces, empeorando la calidad del agua clarificada.

La acción del polieléctrolito sobre las partículas gruesas y pesadas es puramente mecánica, sin neutralizar las cargas ni formar enlaces que hacen la mezcla más sedimentable. Un "enlace" tan débil entre polieléctrolito y partícula no coloidal aumenta el consumo de éste. Todavía más problemático es el hecho de que el enlace se rompa fácilmente y el polieléctrolito pase al agua depurada. Si se reciclase el agua depurada rica de polieléctrolito, en la elaboración podrían producirse inconvenientes.

4.4.-Mezclas Negras.

A veces, en los aserraderos, se presenta un problema bastante grave, el de las "mezclas negras". Puede suceder que la mezcla abrasiva, cuya coloración tendría que ser parecida a la del material cortado, se haga muy negra y que, desde aquel instante en adelante, en el aserrado se verifiquen problemas como bajadas dificultosas, desviaciones de los flejes,

etc.

Naturalmente, el hecho de que el color de la mezcla sea negro no es peligroso en sí mismo, sino que es el síntoma inicial de que algo procede mal en el corte y de que hay que intervenir lo antes posible. En primer lugar, vamos a decir cuál es la causa de esta coloración negra: se trata de la presencia de hierro de granulometría muy fina que tiene color negro como cualquier metal molido en polvo muy fino.

Por consiguiente, la coloración de la mezcla nos señala que algún tipo de frotamiento está transformando el hierro en polvo muy fino. En presencia de una coloración negra en la mezcla, es preciso controlar inmediatamente la cantidad de granalla en la mezcla y su granulometría. En efecto, el fenómeno de las mezclas negras puede producirse tanto cuanto la granalla es poca como cuando está en exceso. Desde luego, los dos casos tienen que ser afrontados de modo completamente diferente, por eso es importante controlar inmediatamente la granalla presente.

Examinemos el primer caso, el más fácil a individuar y a resolver, en el que la alimentación de granalla ha sido interrumpida por algún motivo accidental y la mezcla se vuelve negra al faltar granalla de sección medio-grande. En este caso, la mezcla está negra porque el fleje, en directo contacto con el bloque y bajo el peso del cuadro porta-flejes, frotando sobre el granito, se consume produciendo polvo negro muy fino. Este fenómeno es además muy insidioso porque, mientras la granalla disminuye a causa del consumo, el corte parece proceder bastante bien y también el absorbimiento amperométrico disminuye lentamente.

Luego, una vez alcanzado el punto crítico, con una casi total ausencia de granalla de sección medio-grande, la situación precipita rápidamente en pocos minutos. Si se individúa el fenómeno inmediatamente, no se producirán daños en el corte. Si, en cambio, el fenómeno ocurriese cuando no hay vigilancia, entonces las consecuencias serían mucho más graves para los flejes y para la calidad del producto cortado. De todas maneras, es preciso intervenir como sigue: primero, se para el telar y se controla si los flejes están todavía en la posición correcta o si han subido un poco. Luego, se levanta el cuadro porta-flejes de alrededor de 2-3 cm y, tras haber parado los lavados, se continua con el aserrado con bajada normal. Sucesivamente, se tira un puñado de granalla en el pozo: en ese momento el amperímetro subirá hasta valores altos. Se espera a que el valor disminuya y luego se añade de nuevo un

poco de granalla. Se continua así hasta que el amperímetro no vuelva a valores normales. Entonces, se pone de nuevo en marcha la alimentación automática de granalla. Y, antes que los flejes toquen el granito, pueden adicionarse al pozo, en pequeñas dosis, uno o dos saquitos de granalla hasta que la mezcla tenga una cantidad considerada apenas suficiente. Más tarde, se restablecen los lavados y se puede añadir también un saco de cal en polvo para facilitar la eliminación de las partículas de hierro más finas.

Resuelto el problema, si se quiere, es posible ejecutar una "transfusión cruzada" de mezcla de un telar próximo para que en el telar en cuestión haya una gama más grande de granulometrías. Al final, los tableros cortados tendrán una raya horizontal en correspondencia con la mencionada intervención. Dichas rayas, serán más o menos marcadas según el tiempo en el que el telar ha estado trabajando sin granalla.

Examinemos ahora el caso en que la cantidad de granalla sea excesiva. En este caso, la mezcla negra se habrá formado por el depósito y la acumulación de granalla en el fondo de algún corte. El fleje y la granalla que se alimenta en continuación producirán un enorme frotamiento en el corte, con emisión de calor, ninguna aportación de mineral, y pulido del fleje que no logra bajar y se calienta. Esto origina también la desviación del fleje de la vertical.

Este fenómeno provoca un consumo asimétrico del fleje y forma denominado "cuchillo". En lugar de tener el perfil interior redondeado, los flejes son afilados como la hoja de un cuchillo y muestran un consumo muy elevado especialmente, por un lado. El fenómeno que se ha indicado puede presentarse fácilmente al comienzo del corte cuando la granalla gruesa es muy abundante y los cortes, que acaban de iniciar, se llenan de una gran cantidad de granalla muy difícil de eliminar.

Es preciso afrontar el problema con decisión y resolver esta grave situación, que puede perjudicar el buen éxito del corte. Habrá que ajustar el perfil interior de los flejes, eliminar del fondo del corte el material depositado, interrumpir inmediatamente la adición de granalla nueva e, incluso, decidir si es oportuno sacar de la mezcla la granalla en fuerte exceso. Habrá que proceder del siguiente modo: se establece una bajada muy baja (2-3 mm/h) y se cierra casi completamente la válvula del distribuidor. En la práctica, el telar trabajará con bajadas muy reducidas y con muy poca granalla distribuida en diversos puntos sobre el bloque, sin mojarlo completamente. De vez en cuando, se intentará abrir un poco la

válvula principal, pero, si el amperímetro sube bruscamente, se deberá cerrar ésta de nuevo.

Después de 7-8 o más horas de funcionamiento del telar en estas condiciones, los flejes habrán eliminado el metal depositado, se habrán consumido y su perfil se habrá redondeado de nuevo y la granalla en exceso se habrá consumido también. De este modo será posible volver a las normales condiciones de elaboración. Entre tanto, si se considera oportuno, se elimina parcialmente la granalla. Se desconecta la sonda de nivel y, a través de la válvula que permite la recuperación al final del aserrado, se hace pasar la mezcla a un contenedor de acero, apoyado sobre el borde del pozo, donde parte de la granalla se deposita para ser eliminada sucesivamente.

El problema de un exceso de granalla que obstruye los cortes y produce mezclas negras puede solucionarse también por medio de otro tipo de intervención mucho más drástica y rápida, pero más peligrosa que la precedente. Cuando se quieren eliminar los depósitos de granalla, se recoge la mezcla en el tanque de fin de aserrado. Luego, manteniendo una bajada elevada, se pone en marcha el telar sin distribuidor, rociando el lado superior del bloque con chorros de agua.

Gracias a esta intervención drástica y rápida, los depósitos de granalla en los cortes tendrían que desprenderse fácilmente y el aserrado proceder correctamente.

4.5. Criterios para determinar la dirección correcta del corte.

Antes de colocar el bloque sobre el carro, es oportuno examinarlo con cuidado para individuar la presencia de vetas y determinar la dirección correcta del corte. En efecto, no todos los materiales de estructura bastante homogénea pueden ser cortados en cualquier dirección. Primero, hay que controlar la integridad del bloque para apreciar eventuales fracturas. Para hacer eso, se precisan un espíritu de observación agudo, experiencia y un poco de práctica, características que no es posible transmitir por escrito.

De todas maneras, la técnica más utilizada es la siguiente: se moja abundantemente el bloque con agua y se le deja secar al aire. La superficie del bloque se secará rápidamente y uniformemente. En presencia de grietas o vetas, el agua que está en el interior del bloque

saldrá con mayor lentitud y marcará una línea húmeda sobre la superficie seca, la dirección de la veta.

Para ser más eficaz, esta operación no tiene que efectuarse cuando las temperaturas del aire y del bloque son muy elevadas porque la evaporación del agua sería tan rápida que no sería posible ver bien la señal de ésta. Si el bloque tiene vetas, sería mejor desecharlo inmediatamente. Pero, si hay que cortarlo forzosamente en tableros, se examina cuidadosamente la dirección de las vetas abiertas y se procede intentando limitar los daños lo más posible.

Cuando la veta atraviesa el bloque de parte a parte, si es posible se coloca el bloque de tal manera que el plano de corte de los flejes sea paralelo al plano de la grieta. Se perderán así solo algunos tableros, es decir, los que tienen grietas, mientras que los demás quedarán intactos. En caso contrario, todos serán afectados por la veta. En cambio, si la veta es diagonal, basándose en las dimensiones finales del tablero, se decide la dirección del corte que tenga menores consecuencias.

El hecho de que el bloque no presente vetas no significa que pueda ser cortado en cualquier dirección. Como ya se ha dicho, los materiales de estructura homogénea e isotrópica y que pueden cortarse en cualquier dirección indiferentemente, no son muchos. generalmente, en el aserrado, el plano de corte es perpendicular al plano del yacimiento del material en la cantera. En muchos casos, a través de varios ensayos de corte, los abastecedores de los bloques individúan la dirección correcta del corte y la señalan en los bloques con dos rayas paralelas de pintura, directamente en la cantera de extracción. Pero, a veces, la señalación no es correcta y por ello hay que tener siempre mucho cuidado.

La elección de la dirección del corte puede depender de factores como la resistencia mecánica de los tableros, los problemas de pulido de las superficies, o el efecto estético que se desea obtener. En relación a la dirección de corte, hay tres categorías de materiales:

- Indiferente (mecánica y estéticamente).

A esta categoría pertenecen materiales con estructura bastante homogénea que no presentan diferencias desde el punto de vista mecánico ni estético, a pesar del modo en que se cortan.

- Indiferente (mecánica, pero no estéticamente).

De esta categoría forman parte los materiales que, desde el punto de vista de la resistencia mecánica o de la facilidad de pulido, no requieren una dirección de corte en particular, pero los resultados estéticos logrados pueden ser muy diferentes.

- No indiferente (mecánicamente).

Examinaremos ahora el tercer grupo de materiales, los que es necesario cortar en una dirección precisa, porque de otra manera producirían tableros de mala calidad o, incluso, a desechar completamente. En general, se trata de materiales con una estructura estratificada, o de falda, pero también de materiales aparentemente homogéneos. Pero si se corta en la dirección incorrecta, no podrá ser pulido perfectamente por mucho cuidado que se tenga, y al contacto con el calor se romperá fácilmente.

4.6. Características del Telar TG 1000 - MEGA.

Las características del Telar son las siguientes (Tabla 4.2.):

Ancho útil de corte	cm	360
Largo útil de corte	cm	350
Altura de corte útil	cm	210
Velocidad de la bajada de trabajo	cm/hora	0 - 5
Motor Volante Batería	Kw	45
Motor subida y bajada rápida	Kw	5,5
Motor de bajada	Kw	0,33
Motor bomba de engrase	Kw	0,12
Cursa del fleje	cm	50
Numero de flejes	número	120
Peso neto aproximado	Tn	50

Volumen de embalaje marítimo	m ³	67
------------------------------	----------------	----

Tabla 4.2: Características del Telar.

4.7. Cálculo de los costes de aserrado con telar tradicional.

El coste final por metro cuadrado de plancha aserrada es un telar tradicional viene dado por la siguiente expresión, suma de seis costes parciales:

$$C_t = C_f + C_g + C_c + C_a + C_e + C_m \quad (1)$$

dónde:

C_t = Coste total de aserrado (euro/m²).

C_f = Coste de los flejes (euro/m²).

C_g = Coste de la granalla (euro/m²).

C_c = Coste de la cal (euro/m²).

C_a = Coste del agua (euro/m²).

C_e = Coste de la electricidad (euro/m²).

C_m = Coste de la mano de obra (euro/m²).

Este cálculo del coste total excluye los costes debidos a la materia prima, transporte, impuestos, almacenamiento y amortizaciones de maquinaria e instalaciones.

4.7.1. Cálculo del coste de los flejes

Para calcular el número de flejes necesario para aserrar un determinado bloque y aprovechar al máximo la capacidad del marco portaflejes (Imagen 4.6).

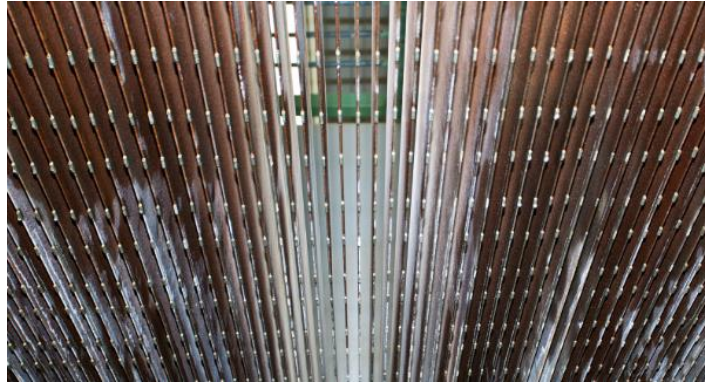


Imagen 4.6: Cantidad de flejes.

Una vez determinado el número de flejes, puede calcularse su peso total si se conocen sus dimensiones y la densidad del acero, según la expresión:

$$P_f = N_f \cdot H_f \cdot G_f \cdot L_f \cdot \gamma \cdot 10^6 \quad (2)$$

dónde:

P_f = Peso de los flejes (kg).

N_f = Número de flejes.

H_f = Altura del fleje (mm).

G_f = Espesor del fleje (mm).

L_f = Longitud del fleje (mm).

γ = Densidad del acero (7,85 g/cm³).

La longitud del fleje se considera igual a la longitud del marco más un margen de 850 mm correspondiente al espacio necesario para los enganches.

Al ser k_t el precio del kilo de acero para flejes (en euro/kg), un juego completo de

flejes (en euro), costará:

$$V_f = K_f \cdot P_f \quad (3)$$

Un telar con un único juego de flejes puede aserrar distintos números de cargas en función del tipo del material, cinco cargas cuando es un material blando, cuatro si es medio y tres si es duro. Por ello el coste del consumo de flejes por carga será igual al coste de un juego completo dividido por el número de cargas que puede aserrar:

$$V'_f = \frac{V_f}{N_c} \quad (4)$$

dónde:

V'_f = Coste del consumo de flejes por carga (euro).

N_c = Rendimiento de un juego de flejes.

Finalmente, es preciso conocer los metros cuadrados que corta cada fleje durante toda la operación. Para ello, el rendimiento horario del telar (r) se ha de multiplicar por el número teórico de horas (N_h) necesarias para aserrar el bloque, este valor se obtiene de una tabla que es función del espesor del fleje.

El coste final de los flejes por metro cuadrado de plancha aserrada será:

$$C_f = \frac{V'_f}{(r \cdot N_h)} \quad (5)$$

4.7.2.-Cálculo del coste de la granalla

El consumo medio de granalla durante el aserrado de un bloque se obtiene del valor inmediatamente superior que resulta de trazar una línea de interpolación en un nomograma que, a su vez, es función de las dimensiones del marco portaflejes y del tipo de material a aserrar.

El consumo total de granalla durante la operación de aserrado será:

$$C_{tg} = C_{mg} \cdot N_h \quad (6)$$

dónde:

C_{tg} = Consumo total de granalla (kg/h).

C_{mg} = Consumo medio de granalla (kg/h).

Al ser K_g el precio por kilo de granalla (en euro/kg), el valor total de la granalla consumida (en euro) será:

$$V_g = K_g \cdot C_{tg} \quad (7)$$

Finalmente, el coste de la granalla consumida por metro cuadrado de plancha aserrada, será:

$$C_g = \frac{V_g}{(r \cdot N_h)} \quad (8)$$

4.7.3.-Cálculo del coste de la cal.

El coste de la cal consumida se calcula de forma análoga al de la granalla:

$$C_c = \frac{K_c \cdot C_{mc} \cdot N_h}{(r \cdot N_h)} = \frac{K_c \cdot C_{mc}}{r} \quad (8)$$

dónde:

K_c = Precio de la cal (euro/kg).

C_{mc} = Consumo medio de cal (kg/h), dado por el correspondiente nomograma.

4.7.4.-Cálculo del coste del agua.

La cantidad de agua presente en un telar se puede clasificar en dos tipos: fija y variable.

La fija, que no se consume, corresponde al agua necesaria para mantener lleno el pozo de la bomba, y su volumen depende del tipo de bomba instalada para la circulación de la mezcla, y del tamaño del telar. Viene indicada con las especificaciones de la bomba.

La cantidad variable, debida a las pérdidas originada como consecuencia de las purgas periódicas de la mezcla y de la longitud del circuito cerrado, puede estimarse en unos 65 l/h, por lo que el consumo de ésta durante la operación de aserrado será igual a $65 \cdot N_h$, y el coste total del agua será:

$$C_a = \frac{K_a (C_f + 65 N_h)}{(r \cdot N_h \cdot 10)} \quad (9)$$

dónde:

K_a = precio del agua (euro/m³).

C_f = cantidad fija de agua (l).

4.7.5. Cálculo del coste de la electricidad

Mediante un gráfico pueden estimarse los k·Wh que va a consumir el telar en función del espesor de las planchas y de la longitud del marco portaflejes.

El cálculo del coste de este consumo se realiza una vez conocido éste, el precio del k·Wh, el tiempo de aserrado y el rendimiento de los flejes:

$$C_e = \frac{K_e \cdot C_{he} \cdot N_h}{(r \cdot N_h)} = \frac{K_e \cdot C_{he}}{r} \quad (9)$$

dónde:

K_e = Precio del kilowatio·hora (euro / k Wh).

C_{he} = Consumo horario de electricidad (k Wh).

4.7.6.-Cálculo del coste de la mano de obra.

Los costes de personal dependen directamente del número y grado de preparación de los operarios que supervisan todo el proceso y realizan el mantenimiento. Estos costes se pueden dividir en cuatro partidas:

- Preparación de los bloques.

Esta labor que es de gran importancia, puesto que la productividad final del telar depende de la correcta selección y disposición de los bloques, la suelen realizar dos peones en tres horas. El coste de esta fase será:

$$C_{ma} = K_p \cdot N_p \cdot n_h \quad (10)$$

dónde:

C_{ma} = Coste de la fase (euro).

K_p = Precio horario de un peón (euro).

N_p = Número de peones.

n_h = Número de horas necesarias (h).

- Montaje de los flejes.

Esta operación es la más delicada por los numerosos factores que hay que controlar,

y su influencia en la calidad del aserrado y su rendimiento. Para esta operación es necesaria la supervisión de un especialista y de tres peones durante al menos cinco horas. El coste de esta fase será:

$$C_{mb} = (K_e \cdot N_e + K_p \cdot N_p) \cdot n_h \quad (11)$$

dónde:

C_{mb} = Coste de la fase (euro).

K_e = Precio horario de un especialista (euro).

N_e = Número de especialistas.

- Ajustes periódicos del telar.

Esta labor la realiza un especialista. Normalmente se necesitan tres ajustes de biela por carga, lo que supone una hora de trabajo. El coste de esta fase será:

$$C_{mc} = K_e \cdot N_e \cdot n_h \quad (12)$$

- Descarga de las planchas.

Este trabajo lo lleva a cabo un especialista y dos peones con sumo cuidado, debido a la fragilidad de las planchas, su inestabilidad y la peligrosidad que implica su manipulación. El tiempo empleado en la descarga depende lógicamente del número de planchas aserradas que, como término medio, puede estimarse en cuatro horas. El coste de esta fase será:

$$C_{md} = (K_e \cdot N_e + K_p \cdot N_p) \cdot n_h \quad (13)$$

El coste global (en euro), suma de estos cuatro costes será:

$$C'_m = \frac{C'_m}{(r \cdot N_h)} \quad (14)$$

4.7.7.-Coste total del aserrado

El coste total final del aserrado de una carga de bloques mediante un telar tradicional se obtiene al sumar los seis costes parciales calculados con anterioridad:

$$C_t = (C_f + C_g + C_c + C_a + C_e + C_m) \quad (15)$$

5.-PULIDO DE LOS TABLEROS ASERRADOS.

Una vez que los tableros han sido aserrados y lavados, para la eliminación del fango procedente del aserrado, estos pasan a la fase de pulido. Reviste especial importancia esta fase, ya que el producto obtenido debe tener una alta calidad, con ausencia de cualquier defecto de brillo o sombra. Debido a la dureza del material, el pulido del tablero de granito se consigue no solo por una rotación del abrasivo sobre un eje, si no a modo de "fresado", el abrasivo gira alrededor de un eje central, pero a su vez tiene un movimiento oscilante, cambiando continuamente de generatriz.

Si no estuviera este movimiento oscilante y solo estuviera el movimiento de giro, como en el mármol que es un producto considerablemente más blando, resultaría que lo que se pule en lugar de ser el tablero de granito, sería el abrasivo, con lo cual dejaría de comer y por tanto no puliría el tablero de granito.

La máquina para utilizar en esta fase es la conocida como Pulidora de Tableros de Granito (Imagen 5.1).. Máquina que se compone de una serie de cabezales, denominados mandrinos, montados en línea y que tienen un movimiento transversal sobre la dirección del sentido de la banda que es la que transporta el material.



Imagen 5.1: Pulidora de tableros de granito.

El pulido se produce por el movimiento transversal del puente portamandrinas sobre la dirección de avance del material. Los mandrinos (Imagen 5.2) tienen en su parte inferior unos cabezales oscilantes acoplados y cada grupo mandrino es portador de una graduación de abrasivos.



Imagen: 5.2: Mandrinos.

En los primeros cabezales que son los primeros en recibir el material se montan los abrasivos que más comen, mientras que en los grupos mandrinos finales se montan los abrasivos de graduación más fina, de tal forma que los primeros son los que planifican la tabla y le elimina las fuertes rayas que a veces marca los tableros en el aserrado. Progresivamente con el avance del material de unos granos más bastos a otros más finos se va produciendo la aparición de brillo en las tablas.

La finalidad de hacer los granos de los abrasivos cada vez más finos se basa en la teoría de que cada uno haga desaparecer las rayas que produce el abrasivo anterior. Los abrasivos van refrigerados por medio del aporte de agua, lo cual no evita que haya un fuerte calentamiento en los tableros, en la fase de pulido.

En determinados materiales negros, sobre todo, puede ocurrir que los tableros al salir de la pulidora presenten un abombamiento, esto es debido a la textura de composición del material. Debido a las tensiones que acumula el material.

Las máquinas que pulen el tablero de granito normalmente son portadoras de entre

13 y 20 mandrinos o cabezales pulidores. No se presenta la misma dificultad en el pulido de los diversos materiales existentes, por ejemplo, los negros son los que más dificultad presentan para su perfecto pulido. Puede ocurrir observando el trabajo de la máquina pulidora que quede una franja de tablero que no se pule, esto es debido a que del Telar no ha venido en perfectas condiciones de planificación, por cualquier defecto en el aserrado que ha hecho desviar los flejes, produciendo este fenómeno.

Un exceso de bajada o calada en el Telar, produce un aserrado defectuoso lo cual hace que la fase de pulido sea mucho más dificultosa, debido al problema de "alcanzar" el material, como se le conoce en el mundo del trabajo a la planificación perfecta. Es preferible un aserrado con estos parámetros perfectamente utilizados, lo cual hace que la tabla entre en la pulidora en buenas condiciones que, por conseguir un mayor rendimiento de producción en el Telar, enfrentarse a planificar y pulir la tabla en la fase de trabajo del pulido con el consiguiente perjuicio.

5.1.-Características de los abrasivos.

Los abrasivos con los que se realiza el pulido del granito se pueden definir en dos grupos: los fabricados con magnesitas y los fabricados con resinas sintéticas. Hablaremos de los fabricados con Resinas Sintéticas porque en la actualidad son los que más se fabrican. Los componentes principales de las muelas son: Carburo de Silicio y Resina Sintética.

- Carburo de Silicio, es el que determina el grano del abrasivo según su tamaño del que hay 19 diferentes granos, del más basto (el 16) al más fino (el 1.500) más el abrillantador.
- Resinas Sintéticas, es el conglomerante que da la forma a las muelas y que mantiene unidos los granos del carburo de silicio. Se fabrica en seis diferentes durezas, debido a la diversidad de granitos a elaborar.

Sobre el orden de colocación de los abrasivos en las máquinas para realizar su elaboración máxima que es el abrillantado podríamos separarla en cuatro grupos que son los siguientes: Desbastado, Apomazado, Preabrillantado y Abrillantado, siendo el fin de cada uno, la eliminación de rayas o reducir su tamaño, hasta que no sea visible por el ojo humano.

5.2.-Características de la Pulidora LM 2000.

Las características de la pulidora son las siguientes (Tabla 5.1):

Ancho útil de pulido	cm	195/210
Altura útil del pulido	cm	12
Numero de cabezales de trabajo	número	15
Numero de cabezales oscilantes	número	12
Numero de cabezales Porta Filtro	número	3
Potencia motor Traslación Puente	Kw	4
Potencia motor Cabezales trabajo	Kw	11
Potencia total instalada	Kw	122
Longitud de la máquina	cm	1240
Consumo de agua	litros/hora	300
Peso neto aproximado	Kg	26000
Volumen embalaje marítimo	m ³	65

Tabla 5.1:Características de la Pulidora.

6.-CORTE EN DESPIECE.

Una vez los tableros han sido pulidos, para llegar al producto final, queda el despiece o troceo de las tablas, hasta llegar al producto de consumo comercial. Los tableros, son situados en la mesa de los conocidos Discos de Puente (Imagen 6.1), en los que se marcan o programan tanto los cortes en un sentido, como posteriormente cortes transversales en sentido contrario producidos al girar la mesa porta-tableros 90 grados. Se obtiene de esta manera el despiece comercial. Es decir, si se desea obtener piezas para pavimento de 40 x 40 cm, el tablero se despieza convenientemente en estas medidas.



Imagen 6.1: Discos de puente.

El operador programa la máquina en modo y manera que corte cortes paralelos a una distancia de 40 cm, posteriormente gira la mesa porta-tableros y procede a dar nuevamente cortes paralelos consiguiéndose de esta manera el despiece comercial, comúnmente conocido con el nombre de pavimento, paramentos, para fachadas, etc. Con esta máquina y por medio de plantillas se puede realizar todo tipo de molduras, así como peldaños para escaleras, peanas para las ventanas, etc.

6.1.-Características del Disco Diamantado.

El disco diamantado es una herramienta que se utiliza para el corte de materiales pétreos (mármol, granito, pizarra, hormigón, asfalto, refractarios, etc.). Para su fabricación se requieren básicamente los siguientes elementos:

- Cuerpo soporte, o disco de acero dentado (Imagen 6.2), el cual requiere un tratamiento térmico especial para obtener rigidez, tensionado y plenitud en dicho soporte.



Imagen 6.2: Disco de acero dentado.

- Segmentos o Pastillas Diamantadas (Imagen 6.3), fabricadas a base de mezclas de polvos metálicos (níquel, cinc, bronce, cobre, cobalto, etc) junto con polvo de diamante industrial, una vez mezclados dichos componentes (en diferentes proporciones y cantidades dependiendo de la aplicación a que va a ser destinada) se pasa a un proceso de sinterización, es decir, se le somete a altas temperaturas y presiones al objeto de alcanzar diversas durezas.



Imagen 6.3: Pastillas diamantadas para discos.

Una vez sinterizados los segmentos se procede a la soldadura de los citados segmentos al soporte de acero mediante soldadura de plata. Una vez soldado, prácticamente tenemos el disco diamantado terminado y preparado para ser utilizado.

6.2.-Características de la Cortadora de Puente AL – 50.

Las características de la cortadora de puente AL-50 son las siguientes (Tabla 6.1):

Diámetro máximo del disco	cm	50
Corte útil en sentido longitudinal	cm	350
Corte útil en sentido transversal	cm	350
Espesor de corte hasta 45 grados	cm	10
Ángulo de giro de la mesa	grados	0 - 360
Ángulo de giro del disco	grados	0 - 90
Potencia motor disco	Kw	1.1
Potencia motor desplazamiento disco	Kw	1.1
Motor desplazamiento puente	Kw	0.15 - 0.75
Motor inclinación disco	Kw	0.37
Potencia total instalada	Kw	14
Peso neto aproximado	Kg	4500
Volumen Embalaje marítimo	mc	13

Tabla 6.1: Características de la Cortadora de puente AL-50.

6.3.-Características de la Cortadora de Puente AL – 72.

Las características de la cortadora de Puente AL-72 son las siguientes (Imagen 6.2):

Diámetro máximo del disco	cm	80
Corte útil en sentido longitudinal	cm	380
Corte útil en sentido transversal	cm	350
Desplazamiento vertical de la bancada	cm	75
Ángulo de giro de la mesa	grados	0 - 360
Potencia motor disco	Kw	22
Potencia central oleodinámica	Kw	4
Motorización rotación mesa.	Kw	0.37
Motorización desplazamiento puente	Kw	0.37
Potencia total instalada	Kw	28
Peso neto aproximado	Kg	7400
Volumen Embalaje marítimo	mc	16

Tabla 6.2: Características de la Cortadora de puente AL-72.

7. FLAMEADO Y ABUJARDADO.

El abujardado y el despuntado de la piedra constituye indudablemente una de las elaboraciones más antiguas, efectuadas hasta hace pocos años con martillos dentados llamados bujardas (Imagen 7.1), o con cinceles y macetas, en el caso del despuntado.



Imagen 7.1: Bujarda.

Estas dos elaboraciones eran empleadas sobre todo para revestimientos de edificios, pavimentaciones de calles y aceras, hermosear puentes y otras obras de construcción.

Eran elaboraciones lentas y fatigosas que exponían al trabajador a enfermedades profesionales graves, como la silicosis. Con las máquinas automáticas para abujardar CM/PM 943 se ha resuelto este importante problema. Con sus instalaciones de aspiración elimina completamente el polvo, evitando al mismo tiempo cualquier peligro de enfermedades pulmonares, con sus cabinas insonorizadas se elimina el ruido y por consiguiente todo stress debido a este.

Esta máquina consigue producciones diarias elevadas sin necesidad de mano de obra especializada. El flameado se puede obtener en todos los granitos y en todas las piedras con alto contenido en cuarzo.

El calor producido por el soplete de la máquina para inflamar, que funciona a oxígeno y propano, produce una dilatación del cuarzo o del silicio provocando una ruptura de las superficies y obteniendo así fisura térmica que pone en relieve la estructura del material haciendo resaltar el color originario.

El sistema de enfriamiento de la máquina CM/PM 943 permite inflamar incluso espesores de 1 cm, puesto que, enfriando inmediatamente la superficie, impide que el calor penetre en profundidad evitando, de esta forma, peligrosas tensiones que provocarían flexiones del material con consiguiente ruptura.

La instalación CM/PM 943 está compuesta por un carro cargador motorizado y volquete con plataforma a rodillos flojos, que conducen los tableros al banco automático de rodillos motorizados de avance programable, y estos llevan los tableros a la máquina donde se realiza el tratamiento de su superficie bien el abujardado o bien el flameado y una vez realizado uno de estos tratamientos pasa a un nuevo banco automático de rodillos que llevará los tableros a un carro descargador de características similares a las del carro cargador.

El espesor mínimo para el abujardado es de 2 cms, gracias a la posibilidad de montar martillo de poco peso, además de la posibilidad de regular la presión de aire.

La operación del abujardado al flameado es una operación muy sencilla y rápida.

Datos Técnicos Orientativos:

- Volumen instalaciones:
 - Anchura de 2 a 5 metros.
 - Longitud de 7 a 20 metros
- Producción:
 - Abujardado en granito de 30 a 100 m² en 8 horas de trabajo.
 - Espesores mínimos de 2 a 30 cm.
- Consumo de aire: de 1000 l/min (1 martillo)
 de 2500 l/min (2 a 3 martillos)

Flameado en granito con alto contenido en cuarzo:

- De 100 a 240 m² en 8 horas de trabajo.
- Espesores de 1 a 30 cm.
- Consumo gas de 0,3 a 0,6 Kg/m².
- Consumo de oxígeno de 0,5 a 1 m³/m².

8.-TRATAMIENTO DE LOS LODOS.

En general, la forma habitual de depurar los lodos que se producen en la elaboración de las rocas ornamentales consiste en llevarlos a unos depósitos de decantación primaria, donde mediante el empleo de floculantes se realiza su espesamiento.

Los lodos espesados son llevados a balsas de decantación, donde van sedimentando lentamente. Los procesos en los que se realiza el proceso de decantación primaria suelen ser de dos tipos:

- Depósitos de sección rectangular (Imagen 8.1).

Los depósitos de decantación suelen tener poca profundidad, por lo que es necesario trabajar en serie con varios de ellos al mismo tiempo.

La forma de trabajo es discontinua, ya que cuando un depósito se colma es necesario proceder a su limpieza, dejándolo fuera de servicio.



Imagen 8.1: Depósito de sección rectangular.

- Conos de decantación (Imagen 8.2).

Los conos de decantación, con eje vertical, se alimentan por su base, situada en la parte superior, constituyendo una versión más avanzada en relación con los depósitos de sección rectangular, ya que la forma cónica permite una evacuación de los lodos producidos

por el vértice del cono, situado en la parte inferior del mismo, sin necesidad de parar su funcionamiento para proceder a su limpieza.

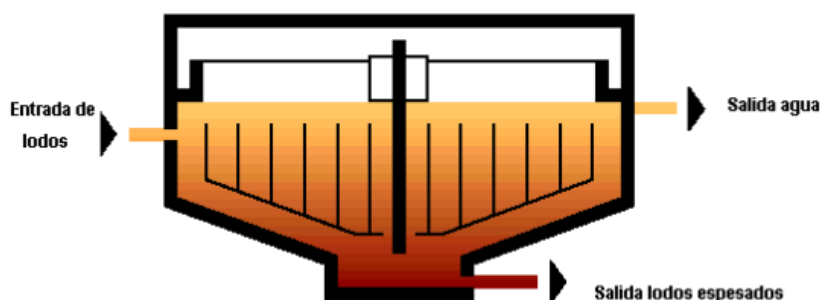


Imagen 8.2: Esquema cono decantación.

La alimentación se realiza, normalmente, mediante bomba. La evacuación de los lodos se lleva a cabo de forma semicontinua, en el sentido de que no es necesario dejar fuera de servicio al cono para proceder a su limpieza. Sin embargo, la extracción de lodos depende del grado de concentración de éstos y se suele realizar de forma manual, por lo que es preciso operar con gran cuidado a fin de evitar las obstrucciones en la descarga.

A pesar de que se añade floculante para aumentar la velocidad de sedimentación de los sólidos, la eliminación de éstos se realiza de forma bastante deficiente, obteniéndose un líquido clarificado que, en muchos casos, será evacuado sin poder reutilizarse, obligando a emplear más agua de aportación en el proceso.

Los lodos espesados que se obtienen no suelen recibir ningún tipo de tratamiento posterior y son conducidos, por gravedad o mediante bombeo, a las balsas de decantación, donde se elimina el agua mediante evaporación y filtrado natural.

El sistema descrito, tan generalizado, presenta el gran inconveniente de requerir grandes superficies de terreno, que quedan inutilizadas para otro tipo de explotación o aprovechamiento.

Además de su impacto visual negativo, esta práctica también constituye una fuerte agresión contra el medio ambiente, que se ve modificado, bien por la existencia misma de las balsas de decantación o bien, cuando éstas quedan colmatadas de sólidos, por la presencia

de rellenos sin consolidar. Todo ello sin contar con el peligro de rotura de las presas de contención de las balsas, que nunca puede ser del todo descartado.

Por otro lado, la utilización de un sistema moderno para el tratamiento de los lodos, con la consiguiente recuperación del agua limpia, puede presentar otras ventajas: disminución de los costes por conceptos de captación o de vertido, disponibilidad de los terrenos para su utilización inmediata, restauración de las canteras mediante la deposición de los sólidos deshidratados, venta de estos sólidos para otras aplicaciones etc.

Para poder alcanzar todos estos beneficios, es necesario plantear un adecuado esquema de tratamiento, que normalmente comprende dos etapas principales:

- Espesamiento rápido de los lodos.
- Filtración de los lodos espesados y recuperación del agua limpia.

8.1.-Espesamiento rápido de los lodos .

Puede llevarse a cabo en los mismos conos descritos anteriormente, pero aumentando su capacidad de decantación.

Es necesario instalar en su interior un dispositivo que aumente la superficie de decantación de los sólidos, lo que se realiza por medio de conjuntos de placas inclinadas.

Dentro de estos sistemas, uno de los que ofrece una gran capacidad de clarificación, ocupando al mismo tiempo un mínimo espacio es el Delta Stak (Imagen 8.3), fabricado por WEMCO Ibérica.

El sistema se basa en unas placas o elementos de decantación que se sitúan paralelamente entre sí en el interior del cono de decantación, de forma que el espacio comprendido entre cada dos placas paralelas constituye un pequeño clarificador en el que los sólidos deslizan hacia el siguiente conjunto de placas situado por debajo de aquéllas, mientras que el líquido clarificado asciende entre las dos placas, llegando a un elemento horizontal, desde donde se desplaza hacia el colector del líquido clarificado.



Imagen 8.3: Delta Stak

A medida que los sólidos van descendiendo aumenta la densidad de los lodos, siendo evacuados finalmente y de forma continua por la parte inferior del cono.

El área efectiva de clarificación que se llega a conseguir con este sistema puede ser de hasta 35 veces la del cono sin los elementos descritos.

Como ventajas más interesantes de la utilización de estos clarificadores se deben reseñar:

- Bajo coste de adquisición.
- Mínimo mantenimiento, por carecer de partes móviles.
- Mínimo espacio requerido, por su concepto modular.
- Facilidad de operación.
- Resistencia a la corrosión, ya que se realiza en material plástico.

8.2.-Filtración de los lodos espesados y recuperación del agua limpia.

Una vez espesados los lodos hasta su máxima concentración de sólidos, es preciso deshidratar los mismos para recuperar el agua limpia y almacenar o utilizar los sólidos deshidratados. Debido a las características de los sólidos, es necesario emplear un sistema de filtración a presión, no siendo suficiente con el simple vacío.

Los sistemas utilizados son:

- Filtración a presión mediante placas: filtro prensa.
- Filtración a presión mediante banda: filtro de banda a presión.

Los filtros prensa están constituidos por un conjunto de placas provistas de la tela filtrante adecuada y soportadas por un bastidor metálico, sobre el que se pueden deslizar por efecto de un accionamiento hidráulico. El funcionamiento de estos filtros se realiza por medio de ciclos discontinuos, mediante llenados y descargas sucesivas.

Para iniciar el ciclo de filtración, las placas se sitúan contiguas unas con otras, de forma que entre cada dos placas se establece una cámara que se va llenando con los sólidos del lodo que se filtra. Esta capa de sólidos que se va formando es la que realmente constituye el medio filtrante. Al mismo tiempo se evacua el agua clarificada.

Una vez se alcanza la presión máxima requerida por el ciclo de filtración, que corresponde a la máxima concentración de sólidos en la torta, se separan progresivamente las placas, produciéndose la descarga de los sólidos retenidos en cada una de las cámaras.

Como ventaja principal, estos filtros no requieren adición de floculante y la humedad de las tortas que se obtienen es muy baja.

Sin embargo, puesto que, habitualmente, el destino de estos sólidos es la escombrera, es obligado plantearse, y particularmente cuando se trata un tonelaje importante, la utilización de algún otro tipo de filtro que, permitiendo recuperar el agua para su utilización en la planta de elaboración, deje a los sólidos con la humedad mínima que permita que sean manipulados por medios mecánicos simples. Además, este filtro no ha de requerir prácticamente ningún tipo de atención durante su funcionamiento, y su coste de inversión deberá ser inferior al filtro prensa.

Todo ello se puede conseguir, en la mayoría de los casos, por medio del filtro de bandas a presión. Siendo su coste de instalación notablemente menor, por el contrario, para su funcionamiento es preciso utilizar mayores cantidades de floculante que con el filtro prensa.

Este tipo de filtro está constituido por una banda continua de tela filtrante accionada

mediante rodillos. En la zona de alimentación, la tela va en posición horizontal y en ella se verifica un primer desaguado de los lodos, que filtran por gravedad. A continuación, los sólidos, que todavía conservan un alto contenido de humedad, son introducidos en la denominada zona de compresión en cuña, dónde quedan atrapados entre la sección de banda que proviene de la zona de alimentación y la que proviene del retorno de la banda que se encontraba situada en la zona de compresión final. En la zona de compresión en cuña, la sección transversal se va reduciendo a medida que el conjunto de los dos elementos de la banda y los sólidos contenidos en su interior se desplazan hacia el rodillo de compresión primaria, con lo que la presión sobre los sólidos va aumentando gradualmente, perdiendo estos su fluidez. A partir del rodillo de compresión primaria, los sólidos, siempre confinados entre dos secciones de banda, van pasando sucesivamente por una serie de rodillos de diámetros decrecientes, produciéndose un aumento progresivo en la presión aplicada, lo que, junto con las fuerzas de cizalladura que se originan, va eliminando el agua de los sólidos, con el resultado final de una torta que si bien presenta un contenido de humedad del 4 al 6 % superior a la obtenida mediante la utilización del filtro prensa, es lo suficientemente baja como para poder ser manipulada por medios mecánicos.

Un filtro de banda a presión adecuado debe comportar un diseño simple, compacto, efectivo y de fácil operación, eliminándose de esta forma los altos costes de energía que se requieren normalmente cuando se emplean otros sistemas de filtrado. El accionamiento hidráulico de la banda ha de permitir que la velocidad de ésta se adapte a las fluctuaciones que se puedan presentar en el contenido de sólidos en la alimentación.

Para asegurar el centrado de la banda, ha de disponer de un sistema hidráulico que lo realice de forma automática y que garantice un perfecto funcionamiento en ausencia de los operarios, proporcionando al mismo tiempo la máxima vida útil a la banda de filtrado.

9.-RESUMEN PROCESO DE ELABORACIÓN.

Una vez estudiados los importantes procesos de elaboración del granito en apartados anteriores, procedemos a realizar un esquema de éstos para poder diferenciar fácilmente los resultados.

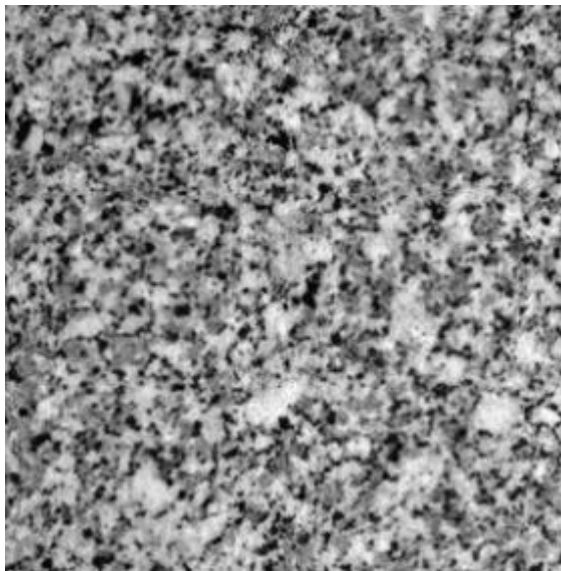


Imagen 9.1: Aserrado



Imagen 9.2: Flameado

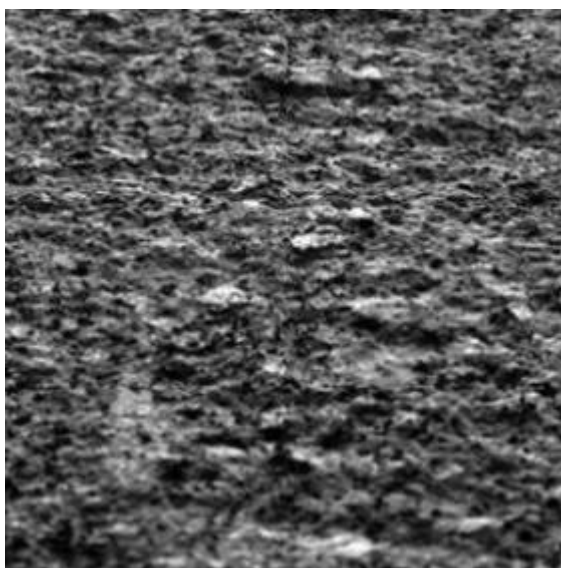


Imagen 9.3: Abujardado

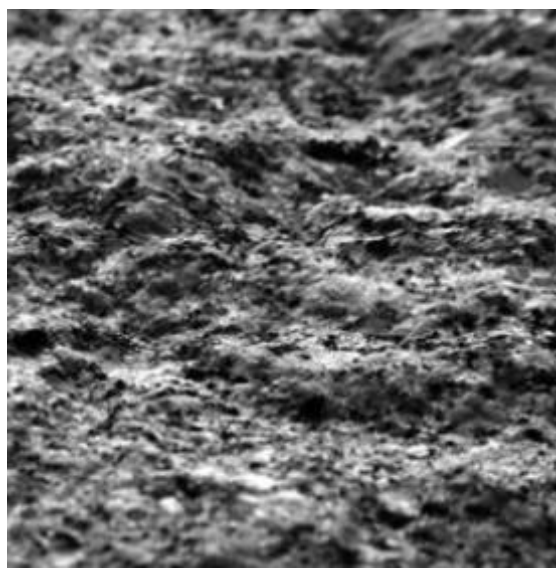


Imagen 9.4: Rústico

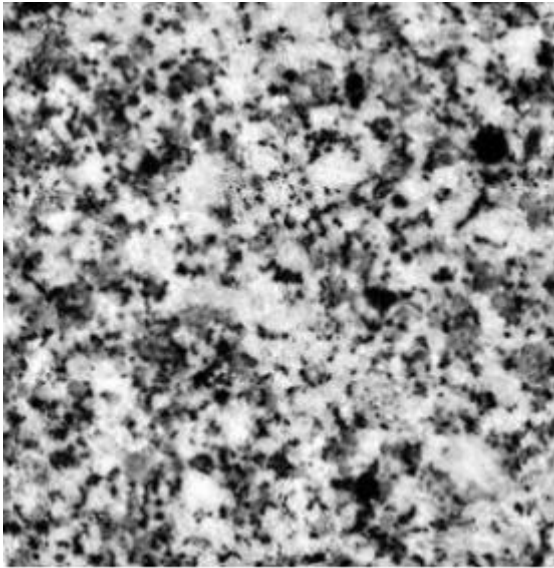


Imagen 9.5: Pulido



Imagen 9.6: Apomazado

10.-CONTROL DEL POLVO.

10.1.-Naves de Elaboración.

10.1.1.-Selección del sistema del control del polvo.

Para la realización de un proyecto de control de polvo en una nave de elaboración deben conocerse previamente los siguientes datos:

- Diagrama de proceso, tipos de materiales a tratar, y clase de equipos empleados.
- Emisiones de polvo y condiciones de los puntos de emisión.
- Rendimiento esperado del sistema.
- Características de los equipos.
- Disponibilidad de energía.
- Sistema de evacuación y eliminación.

Otros factores que deben tenerse en cuenta son:

- Concentración del polvo y tamaño de las partículas.
- Composición físico-química del polvo.
- Grado de captación requerido.

10.1.2.-Sistemas de captación de polvo.

El sistema consta de cuatro componentes básicos: campana de extracción de polvo, conductos, colector de polvo que elimina éste del aire, ventilador y motor.

El diseño de la campana depende del flujo de aire preciso, de la localización de la campana y de su forma.

Los colectores de polvo pueden ser de los siguientes tipos: separadores inerciales, filtro de mangas, lavadores y precipitadores electrostáticos.

- Separadores inerciales.

Producen la separación del polvo del aire mediante una combinación de fuerzas centrífugas, gravitaciones e inerciales. El polvo se separa y se almacena en una tolva.

Los tipos de separadores inerciales son:

- Cámaras de sedimentación.
- Cámaras deflectoras.
- Ciclones.

- Filtros de mangas.

El aire contaminado pasa a través de las mangas que actúan como filtros. Las mangas pueden ser de lana, algodón, fibra de vidrio o fibra sintética tener forma de tubo.

- Lavadores.

En este sistema el líquido de lavado, que normalmente es agua, entra en contacto con la corriente de aire contaminada de polvo. La eficiencia del sistema es proporcional al grado de contacto que se produce entre el líquido y la corriente de aire.

El proceso de un lavador se basa en las siguientes operaciones:

- Humedificación de la corriente de aire: la humedificación permite un aumento del tamaño de las partículas, facilitando su captación.
- Contacto líquido-aire contaminado: se produce debido a los siguientes mecanismos: impacto inercial, intercepción, difusión, nucleación por condensación y separación líquido-gas.

Las ventajas de los lavadores son la baja inversión, el diseño compacto y la posibilidad de tratar gases húmedos y a altas temperaturas.

- Precipitadores electrostáticos.

Estos captadores usan fuerzas electrostáticas para separar las partículas de polvo de la corriente de aire que las arrastra. Las partículas reciben una carga negativa a su paso por

un campo ionizante entre los electrodos.

Las partículas cargadas se adhieren al electrodo positivo, y el material se separa por golpeo o vibración de forma continua o intermitente.

Los cuatro componentes básicos de un electrofiltro son: la unidad de energía que produce la corriente continua de alto voltaje, la sección de ionización, el sistema de separación de polvo y carcasa.

10.1.3. Sistemas de tratamiento en húmedo

El agua es el principal medio de lucha contra el polvo, debiéndose utilizar siempre que se disponga de ella. El mantenimiento de la humedad de los productos que se procesan o se manipulan evitará la formación de polvo.

El control de polvo puede conseguirse de dos modos:

- Extendido estático: el material se moja mientras se encuentra estacionado. El diámetro y ángulo de contacto de las gotas de agua son factores muy importantes. La superficie colectora puede incrementarse reduciendo el diámetro de la gota o el ángulo de contacto.
- Extendido dinámico: el material se moja mientras se encuentra en movimiento. Las variables que considerar son: tensión superficial, diámetro de gota, tamaño de las partículas de polvo y velocidad de impacto de las gotas de agua.

La superficie total mojada puede aumentarse reduciendo el diámetro de las gotas e incrementando el número de éstas. Se puede conseguir, también reduciendo la tensión superficial o el ángulo de contacto, y la velocidad de impacto. La reducción de la tensión superficial mediante líquido tensoactivo consigue los siguientes efectos:

- Reducción del tamaño de las gotas.
- Incremento en el número de gotas.
- Disminución del ángulo de contacto.

Los sistemas de tratamiento húmedo se clasifican en:

- Sistemas con rociado de agua. Este procedimiento usa sólo agua para humedecer el material. En algunas ocasiones es difícil mojar ciertas superficies debido a la elevada tensión superficial.
- Sistemas de rociado con adición de tensoactivos. La adición de surfactantes disminuye la tensión superficial del agua.
- Espuma. La espuma incrementa la superficie por unidad de volumen provocando una mayor eficiencia.

11.-UTILIZACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS GRANITOS.

Los granitos ornamentales, al igual que otros tipos de rocas, presentan una serie de características primarias de carácter estético como son el color, tamaño de grano, textura, etc. Estas características, junto con otras generadas por la existencia de procesos geológicos de variado tipo (tectónicos, hidrotermales, meteóricos, etc.), son las que van a definir el comportamiento del material frente a su extracción y tratamiento en planta. Su conocimiento permitirá predecir, en cierta medida, la respuesta del material una vez puesto en obra, así como sus aplicaciones óptimas (revestimientos exteriores, interiores, peldaños, etc.). Por ello, resulta imprescindible llevar a cabo una serie de ensayos que permitan caracterizar el material y conocer cuál será su comportamiento posterior. Entre éstos, son considerados imprescindibles los siguientes:

- Determinación del peso específico y coeficiente de absorción. Norma UNE-EN 1936:2007.
- Resistencia a la compresión. Norma UNE-EN 1926:2007.
- Resistencia a la flexión. Norma UNE-EN 12372:2007.
- Resistencia al desgaste por rozamiento. Norma UNE-EN 1341:2013.
- Resistencia al impacto. Norma UNE-EN 14158:2004.
- Resistencia a las heladas. Norma UNE-EN 12371:2011.
- Resistencia a los cambios térmicos. Norma UNE-EN 12326-1:2015.

El granito es utilizado por el hombre desde la prehistoria, obteniendo las ventajas de trabajar con un material duradero y resistente. Su dureza dificultaba el trabajo de esta roca y el resultado final resultaba un tanto tosco.

Egipcios, griegos y romanos utilizaban el granito con asiduidad. En Egipto el granito se encuentra en múltiples elementos para la construcción: revestimientos, dinteles, puertas y columnas; en la elaboración de estatuas y obeliscos, e incluso jarrones. Se debate todavía como los egipcios eran capaces de pulir un material tan duro. Los romanos emplearon el granito en múltiples obras civiles que aun perduran como los puentes de Salamanca, Alcántara o el Acueducto de Segovia.

Con la maquinaria moderna el trabajo con el granito es tan asequible como con

cualquier otra piedra ornamental. Su dureza y valor estético le recomiendan para construcción y mobiliario urbano de zonas de alto tránsito. Su resistencia a la lluvia ácida le ha hecho ganar puntos frente al mármol en la construcción de monumentos y arte funerario. Así actualmente es utilizado en la arquitectura, tanto en el interior como en el exterior de grandes inmuebles, contribuyendo ostensiblemente a mejorar la calidad de la construcción.

Algunos de los usos más frecuentes son: revestimientos interiores, solados, escaleras, chimeneas, muebles de uso doméstico y objetos decorativos en general. Los revestimientos exteriores es quizás el uso más extendido del granito, entendiéndose como tal, el recubrimiento total o parcial de la fachada del edificio. El revestimiento exterior puede perseguir un doble objetivo, por un lado, dotar al edificio de una determinada apariencia estética, lo cual debe estar acorde con la configuración global del proyecto y, por otra parte, la protección de las estructuras de éste.

Por último, comentar un resumen de los usos del granito y ejemplos gráficos correspondientes:

- Construcción (Imagen 11.1 a Imagen 11.12).

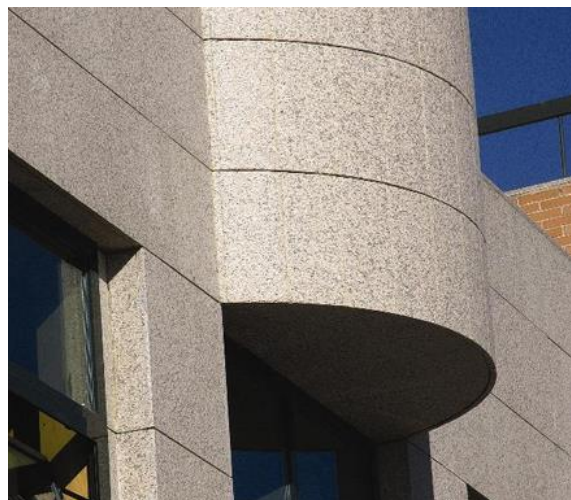


Imagen 11.1: Revestimientos fachadas.



Imagen 11.2: Suelos, solerías, pavimentos.



Imagen 11.3: Columnas.



Imagen 11.4: Escaleras.



Imagen 11.5: Bordillos.



Imagen 11.6: Adoquines.



Imagen 11.7: Muros.



Imagen 11.8: Cimentación.



Imagen 11.9: Perpiaño.



Imagen 11.10: Dinteles.



Imagen 11.11: Albardillas, vierteaguas.



Imagen 11.12: Sillares.

- Escultura (Imagen 11.13).



Imagen 11.13: Monumentos.

- Decoración de interiores (Imagen 11.14 a Imagen 11.17).



Imagen 11.14: Encimeras de cocina y baño.



Imagen 11.15: Muebles de baño.



Imagen 11.16: Rodapiés.



Imagen 11.17: Chimeneas.

- Mobiliario urbano (Imagen 11.18 a 11.21).



Imagen 11.18: Bancos.



Imagen 11.19: Mesas.



Imagen 11.20: Fuentes.



Imagen 11.21: Barbacoas.

- Obra civil (Imagen 11.22 a Imagen 11.23).



Imagen 11.22: Escolleras.



Imagen 11.23: Embalses.

- Arte funerario (Imagen 11.24 a Imagen 11.25).



Imagen 11.24: Lápidas y Panteones.



Imagen 11.25: Mausoleos.

- Industria (Imagen 11.26 a Imagen 11.27).



Imagen 11.26: Molinos de aceite: Piedras de moler.



Imagen 11.27: Cilindros para moler pulpa en la industria.

- Áridos (Imagen 11.28 a Imagen 11.30).



Imagen 11.28: Gravas decorativas para jardinería.



Imagen 11.29: Balasto para el ferrocarril.



Imagen 11.30: Áridos para hormigones.

12.-SEGURIDAD Y SALUD LABORAL EN ELABORACION DE GRANITO.

12.1.-Actitudes y comportamientos seguros por puesto de trabajo.

La aparición de los riesgos es motivado por la aparición de causas que las provocan, entre otras podemos decir:

- Presencia de barro y agua en las superficies de trabajo.
- Trabajos junto a carretillas elevadoras en funcionamiento.
- No respetar una distancia de seguridad de al menos 5 metros.
- No usar equipos de protección individual.
- Derrames accidentales de productos químicos y barro en equipos de corte.
- Falta de iluminación.
- Falta de orden y limpieza en el puesto de trabajo y en el área en general.
- Instalaciones eléctricas en malas condiciones o deterioradas por el uso.
- Despistes y falta de atención en el trabajo.
- Insuficiente formación e información teórico-práctica en el puesto de trabajo.
- Señalización insuficiente o deficiente.
- Uso de equipos de trabajo no adecuados para la tarea.
- Presencia de material resbaladizo.
- Inexistencia o insuficiente mantenimiento de los equipos de trabajo.
- Cuadros eléctricos abiertos y mal señalizados.
- Uso de las horquillas de la carretilla elevadora para subir a zonas elevadas.
- Contacto eléctrico con conducciones o maquinaria en tensión.
- Trabajos junto a desniveles (muelle de carga, vagonetas portabloques...).
- Falta de espacio para trabajar con holgura.
- Mal contacto o inexistencia de toma de tierra en equipos eléctricos.
- Transporte de cargas pesadas o voluminosas de forma manual.

- No usar sistemas de captación de polvo (inyección, aspiración, ...).
- Manejo de herramientas no adecuadas para la tarea a realizar.
- Dejar la maquina funcionando y ausentarse para desayunar, ir al aseo, ...
- Llenado del depósito con el motor en marcha o llamas próximas.
- Colocarse bajo cargas suspendidas por el puente grúas o polipasto.
- Almacenamiento de productos químicos en envases no adecuados.
- Salpicadura de material por tareas de corte.
- Falta de limpieza de los cuadros de mando de las máquinas.
- Movimiento vibratorio del equipo de trabajo (radial, carretilla, ...).
- Resguardos y protecciones de maquinaria sin colocar.
- Medidas de seguridad anuladas.
- Escaleras de mano de fabricación propia y en mal estado.
- Acceso a la máquina por la parte trasera y a órganos en movimiento.
- Tareas de soldadura junto a productos químicos o trabajadores.
- Mantenimiento o limpieza de la máquina sin anular su fuente de energía.
- Falta de revisiones por organismos de control acreditados.
- Medios de extinción insuficientes.

12.2.-Análisis de riesgos específicos.

Se ha creído conveniente incluir, debido a la importancia de éstos, los siguientes apartados en los que se describen algunos riesgos higiénicos y ergonómicos, así como las medidas preventivas necesarias, ya que por su importancia precisan de un apartado aparte. Los trabajos de elaboración de rocas ornamentales provocan una gran cantidad de riesgos específicos, estamos hablando de ruido, polvo, vibraciones, manipulación de cargas, exposición a compuestos químicos ...

Es importante que el trabajador adquiriera el compromiso de usar las medidas de protección como barrera, las medidas colectivas e individuales pueden llegar a ser necesarias, debido a que los daños higiénicos rara vez provocan un daño inmediato (accidente laboral), pero si debido al tiempo de exposición (meses, años, ... en el mismo puesto), la cantidad de contaminante (polvo, ruido, vibraciones, ...) y la propia persona,

12.2.1.El ruido y sus defectos para la salud.

Se puede definir el ruido como un sonido desagradable y molesto, que interfiere la comunicación con otros trabajadores. Pero realmente el ruido es un sonido que puede dañar nuestra salud.

El efecto más inmediato de una exposición al ruido, durante un tiempo muy breve, es una sordera temporal que muchas veces se manifiesta como una sensación de amortiguación de lo que oímos, dificultad de comunicación, etc. este efecto dura unos minutos o unas horas y es reversible, aunque ya haya producido daños en nuestro oído (Imagen 12.1).

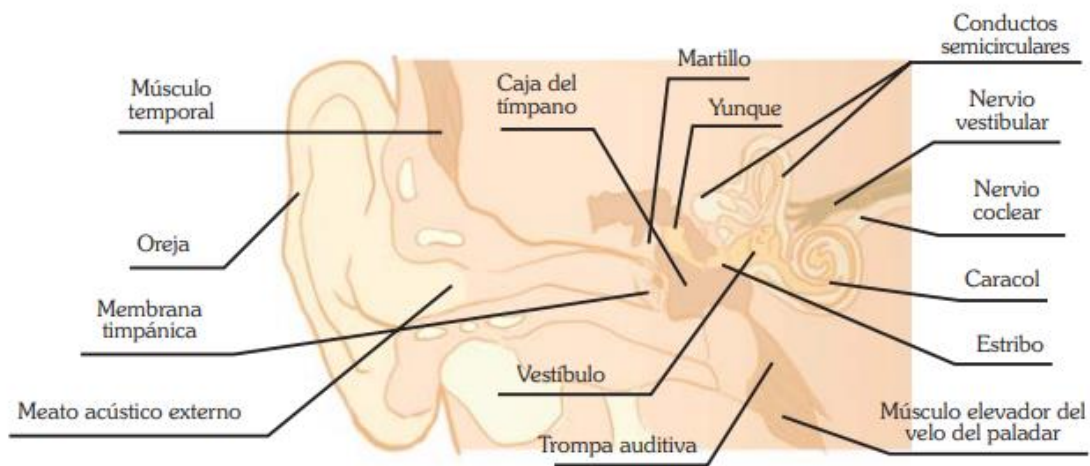


Imagen 12.1: Partes el oído humano.

Una exposición mayor en el tiempo, como en el caso del trabajo diario, produce daños irreversibles que se van acumulando a lo largo de nuestra vida laboral, llegando a producir una sordera profesional si no nos protegemos adecuadamente.

Pero el ruido no sólo dala a nuestros oídos, produce cansancio, es capaz de elevar la tensión arterial o generar irritabilidad en las personas expuestas y dificulta la concentración en el trabajo, con el consiguiente aumento de los riesgos de que se genere un accidente. En la empresa, debido a los propios procesos de trabajo, existen muchas máquinas que pueden generar niveles altos de ruido, por ejemplo, en los procesos de perforación. En aquellos casos, en los que es imposible reducir el nivel de ruido a unos niveles seguros, deberemos utilizar protectores auditivos, que disminuyan el nivel de ruido percibido en el oído. La

utilización de protectores auditivos dentro de las zonas de ruido debe ser permanente, ya que, de no ser así, los equipos de protección individual pierden toda su efectividad, exponiéndose

el trabajador a los daños irreversibles que puedan producirse en su oído.

Los niveles de ruido límite vienen establecidos en el RD 286/2006 según Tabla 12.1:

ACCIONES PREVENTIVAS	≤ 80 dB (A)	>80 dB (A) y/o >135 dB (C) Lpk	>85 dB (A) y/o >137 dB (C) Lpk	>87 dB (A) y/o >140 dB (C) Lpk
Información y formación de los trabajadores	---	Sí	Sí	Sí
Evaluación de la exposición al ruido	---	Cada 3 años (2)	Anual	Anual
Protectores auditivos individuales	---	Facilitar al trabajador	Uso obligatorio (3)	Uso obligatorio
Señalización de las zonas de exposición	---	---	Sí y restringir el acceso	Sí y restringir el acceso
Control médico	---	Cada 5 años	Mínimo cada 3 años	Cada año
Programa técnico/organizativo para la exposición al ruido	---	---	Sí	Sí
Reducción inmediata de la exposición al ruido y actuación para evitar nuevas sobreexposiciones	---	---	---	Sí, además informar a los delegados

Tabla 12.1: Niveles de ruido límites.

- (1) Se informará y formará cuando $L_{Aeq1d} \Rightarrow 80$ dB (A) y/o $L_{pk} \Rightarrow 135$ dB (C)
- (2) Se evaluará la exposición al ruido solo si $L_{Aeq1d} \Rightarrow > 80$ dB (A)
- (3) Se utilizará obligatoriamente protectores auditivos cuando $L_{Aeq1d} \Rightarrow 85$ dB (A)
y/o $L_{pk} \Rightarrow 137$ dB (C)

12.2.2.-El polvo y sus efectos para la salud.

Es evidente que en algunos puestos se genera mucho polvo (trabajos de corte, perforación, movimiento de maquinaria por pistas y accesos...). Uno de los orígenes de este polvo es el propio proceso, al permitir que se sequen charcos, no usar sistemas de aspiración e inyección, riego de las pistas o la falta de limpieza de las máquinas entre otros casos.

Si estas medidas fuesen insuficientes o no fuese técnicamente posible instalarlas, deberán utilizarse equipos de protección individual (tipo mascarilla), que impidan el paso del polvo hacia las vías respiratorias.

En el momento que sople una ligera brisa o exista una corriente de aire, este polvo se pone en suspensión en el aire convirtiéndose de esta forma en agente contaminante del medio ambiente de la zona de trabajo. El polvo que se genera en el proceso de corte y perforación de granito está considerado como materia inerte, es decir sin vida. Pero no por ello está exento de peligro.

La exposición a este polvo y los efectos que cause van a variar en función del tamaño de éste. Las partículas de tamaños medios, comprendidas entre 5-20 micras de diámetro, penetran en el organismo por el sistema respiratorio y quedan atrapadas en la parte anterior y media del mismo (nariz, tráquea y bronquios). Las partículas menores de 5 micras son las más peligrosas porque logran pasar estas barreras y depositarse en los alveolos pulmonares.

El polvo (Imagen 12.2), depositado en los alveolos pulmonares afecta a nuestro sistema respiratorio, de dos formas: por un lado, actúa como obstáculo al paso del aire, generando insuficiencia respiratoria, y por otro, el cuerpo reacciona contra este material extraño a él, pudiendo ser la causa de complicaciones posteriores, tales como inflamación de los alveolos pulmonares, insuficiencia cardíaca o posibles tuberculosis, en su fase más aguda.

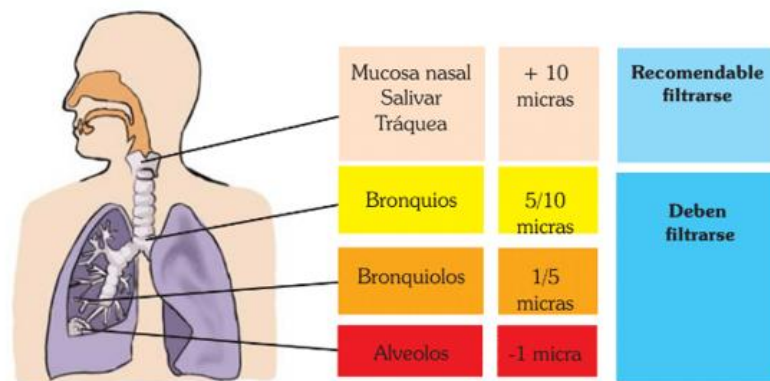


Imagen 12.2: El polvo en el cuerpo humano.

2.3.-Las vibraciones y sus efectos para la salud.

Las vibraciones en el cuerpo pueden ser motivadas por el manejo de una máquina – herramienta (por ejemplo, una radial, un martillo neumático, ...) o bien en el transporte de mercancías (por ejemplo, manejo de una pala, dúmper, retroexcavadora, ...). En el primero de los casos estamos hablando de vibraciones denominadas Mano – Brazo (Imagen 12.3) y en el segundo caso vibraciones Cuerpo completo (Imagen 12.4).

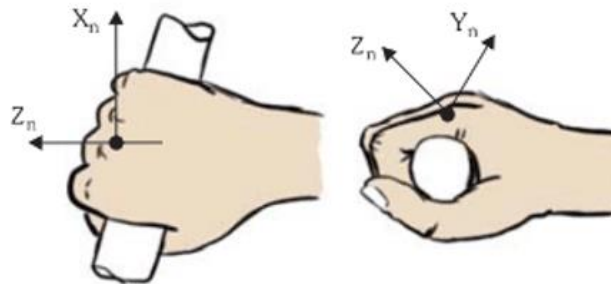
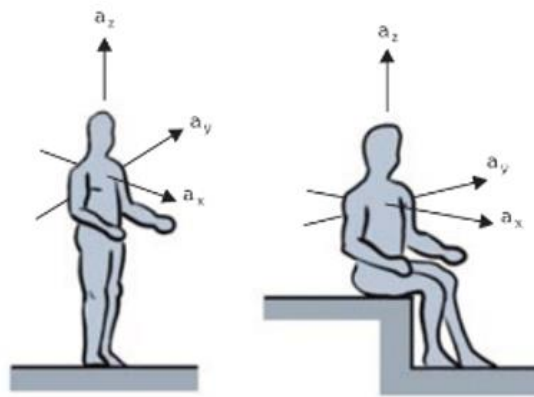


Imagen 12.3: Análisis vibraciones mano – brazo.



Imágenes 12.4: Análisis vibraciones cuerpo completo.

Para prevenir los efectos de las vibraciones en el cuerpo humano se puede actuar mediante la disminución del tiempo diario de exposición o por disminución de la intensidad de vibración que transmite al cuerpo humano, bien sea disminuyendo la vibración en su origen, evitando su transmisión hasta el cuerpo o utilizando equipos de protección individual.

El desgaste normal de una máquina es una de las causas más frecuentes de aparición de vibraciones o aumento de las existentes, por ello el mantenimiento preventivo que incluya el control y reposición de las piezas sometidas a desgaste es fundamental para prevenir daños por vibraciones.

Si no es posible reducir la vibración transmitida al cuerpo, o como medida de precaución suplementaria, se debe recurrir al uso de equipos de protección individual (guantes, cinturones, botas), que aíslen la transmisión de vibraciones.

Entre otras las medidas preventivas está el diseño ergonómico de las herramientas de mano, colocación de elementos absorbentes de las vibraciones (tacos de goma en patas de máquinas y engrase de engranajes entre otras medidas, empuñaduras de goma o espuma en las máquinas de mano), uso de guantes contra agresiones mecánicas, suspensión del asiento del conductor en vehículos y rotación de puestos (Tabla 12.2).

FRECUENCIA DE LA VIBRACIÓN	MÁQUINA, HERRAMIENTA O VEHÍCULO	EFETOS SOBRE EL ORGANISMO
Muy baja frecuencia <1 Hz	Equipos de perforación y corte	Provocan trastornos en el sistema nervioso central. Pueden producir mareos y vómitos.
Baja frecuencia 1 – 20 Hz	Vehículos de transporte: Carretillas elevadoras y camiones. Habitualmente se transmiten al cuerpo completo.	Lumbalgias, hernias lumbociáticas, ... Agravan lesiones e inciden en trastornos debidos a malas posturas. Crean dificultad en el equilibrio y trastornos de visión en algunos casos.
Alta frecuencia 20-1000 Hz	Herramientas manuales rotativas o percutoras: Pulidoras de mano, radiales, martillos neumáticos, ... Habitualmente se transmiten únicamente al conjunto mano – brazo.	Crean trastornos en las articulaciones: Artrosis hiperostante en el codo, lesiones de muñeca, afecciones en la mano. Problemas estomacales.

Tabla 12.2: Efectos sobre el organismo.

La transmisión de vibraciones al cuerpo y sus efectos sobre el mismo depende mucho de la postura adoptada y no todos los individuos presentan la misma sensibilidad.

12.4.-La manipulación de cargas y sus efectos para la salud.

Cada vez más la manipulación manual de cargas se va viendo reducida gracias a la ayuda de medios mecánicos de carga. Pero siguen existiendo tareas que requieren de la fuerza del trabajador para poder realizar la actividad empuje de elementos, manejo de herramientas, ...

Los daños lumbares son los que en mayor número aparecen en cualquier empresa, es por esto por lo que, en ningún caso deben menospreciarse y analizar en detalle.

Además, habitualmente, el daño suele localizarse en la zona lumbar lo que provoca

un malestar severo para el trabajador. También una manipulación de cargas puede motivar daños musculoesqueléticos por caída de los elementos manipulados.

12.4.1.-Empuje de elementos.

El esfuerzo de empuje puede utilizarse para desplazar, desequilibrar o mover una carga, pero según la dirección en que se aplique este empuje, conseguirá o no el resultado deseado, con el mínimo esfuerzo y garantías de seguridad.

En el desplazamiento de un carro con ruedas, el empuje de este se realizará manteniendo los brazos rectos y nunca flexionados, de esta forma transmitimos íntegramente nuestro esfuerzo al elemento a empujar (Imagen 12.5). Otra manera en elementos más voluminosos es mantener la espalda pegada al elemento y empujar con la fuerza de las piernas (se requerirá la señalización de esta maniobra por un compañero).

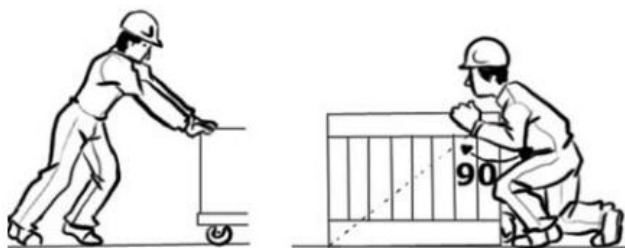


Imagen 12.5: Empuje de elementos.

Para levantar una caja grande del suelo, el empuje debe aplicarse perpendicularmente a la diagonal mayor para que la caja pivote su arista.

12.4.2.-Desplazamiento manual de pequeñas cargas.

En este caso deberemos de mantener los brazos totalmente estirados. En la medida de lo posible, los brazos deben trabajar a tracción simple, es decir, estirados. Los brazos deben mantener “suspendida”, la carga, pero no elevarla.

Para transportar una carga, ésta debe mantenerse pegada al cuerpo, sujetándola con los brazos extendidos, no flexionados.

Esta forma de transportar, evita la fatiga inútil que resulta de contraer los músculos

del brazo, que obliga a los bíceps a realizar un esfuerzo de quince veces el peso que se levanta.

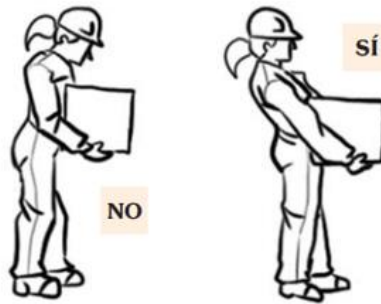


Imagen 12.6: Desplazamiento manual de pequeñas cargas.

12.4.3.-Manejo de bidones.

Para cualquier tarea de manutención manual (Imagen 12.7), debe utilizarse en primer lugar la fuerza de las piernas, ya que sus músculos son los más potentes del cuerpo humano, mucho más que los de los brazos para desplazar objetos.



Imagen 12.7: Manutención manual.

En otros casos se requiere el uso del cuerpo a modo de contrapeso (Imagen 12.8), esta operación nos ayuda a equilibrar la carga con el peso de nuestro cuerpo.

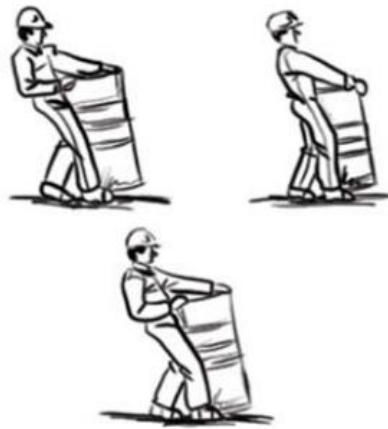


Imagen 12.8: Uso del cuerpo a modo de contrapeso.

Lo primero que debemos de considerar es que el levantar las cargas con la ayuda de la espalda, puede provocar que el objeto a manipular supere 15 veces el peso real del mismo. Mientras que si la manipulación se realiza con la fuerza de los músculos de los muslos (que tienen una musculatura muy potente) el peso a manipular puede llegar a ser controlable si no excede de 25 kg.

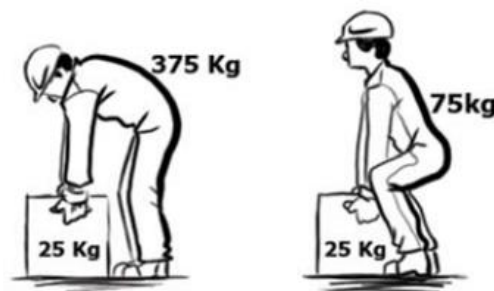


Imagen 12.9: Posición correcta de la espalda.

Las fases correctas de levantamiento son:

- Planificar el levantamiento.
 - Utilizar las ayudas mecánicas precisas. Siempre que sea posible se deberán utilizar ayudas mecánicas.
 - Seguir las indicaciones que aparezcan en el embalaje acerca de los posibles riesgos de la carga, como pueden ser un centro de gravedad inestable, materiales corrosivos, etc.

- Si no aparecen indicaciones en el embalaje, observar bien la carga, prestando especial atención a su forma y tamaño, posible peso, zonas de agarre, posibles puntos peligrosos, etc. probar a alzar primero un lado, ya que no siempre el tamaño de la carga ofrece una idea exacta de su peso real.
- Solicitar ayuda de otras personas si el peso de la carga es excesivo o se deben adoptar posturas incómodas durante el levantamiento y no se puede resolver por medio de la utilización de ayudas mecánicas.
- Tener prevista la ruta de transporte y el punto de destino final del levantamiento, retirando los materiales que entorpezcan el paso.
- Usar la vestimenta, el calzado y los equipos adecuados.
- Colocar los pies.
 - Separar los pies para proporcionar una postura estable y equilibrada para el levantamiento (Imagen 12.10), colocando un pie más adelantado que el otro en la dirección del movimiento.



Imagen 12.10: Posición de los pies.

- Adoptar la postura de levantamiento.
 - Doblar las piernas manteniendo en todo momento la espalda derecha (Imagen 12.11), y mantener el mentón metido.
 - No girar el tronco ni adoptar posturas forzadas.



Imagen 12.11: Espalda derecha.

- Agarre firme.
 - Sujetar firmemente la carga empleando ambas manos y pegarla al cuerpo.
 - El mejor tipo de agarre sería un agarre en gancho, pero también puede depender de las preferencias individuales, lo importante es que sea seguro.
 - Cuando sea necesario cambiar el agarre, hacerlo suavemente o apoyando la carga, ya que incrementa los riesgos.
- Levantamiento suave.
 - Levantarse suavemente, por extensión de las piernas, manteniendo la espalda derecha.
 - No dar tirones a la carga ni moverla de forma rápida o brusca.
- Evitar giros (Imagen 12.12).
 - Procura no efectuar nunca giros, es preferible mover los pies para colocarse en la posición adecuada.



Imagen 12.12: Evitar giros.

- Carga pegada al cuerpo.
 - Mantener la carga pegada al cuerpo durante todo el levantamiento.
 - Se tendrá en cuenta que la altura y la separación de la carga respecto a nuestro cuerpo es importante.
- Depositar la carga.
 - Si el levantamiento es desde el suelo hasta una altura importante, por ejemplo, la altura de los hombros o más, apoyar la carga a medio camino para poder cambiar el agarre.
 - Depositar la carga y después ajustarla si es necesario.
 - Realizar levantamientos espaciados.

12.5.-La exposición a compuestos orgánicos volátiles y sus efectos para la salud.

Habitualmente en la industria de la piedra natural es usado el refuerzo y masticado de la piedra por medio de resinas. Éstas son:

- Resina poliéster con estireno.
- Resina epoxi.

Las resinas poliéster aceleran el proceso de curado con la ayuda secantes. Estas resinas poliéster son nocivas, además de inflamables (R10), nocivos por inhalación (R20), e irrita los ojos y la piel (R36/38).

El secante se consigue por medio de peróxidos orgánicos, los cuales pueden provocar incendios (R7), son nocivos por inhalación e ingestión (R2022) y provoca quemaduras por contacto (R34).

Las resinas epoxi son irritantes y sensibilizantes principalmente, pueden irritar la piel (R36/38) además de poder provocar sensibilización por contacto por la piel (R36/38). Pero también existen en el mercado resinas epoxi con la misión de actuar a modo de endurecedores.

Suelen ser corrosivas y sensibilizantes. Son nocivas por inhalación, contacto por la piel y por ingestión (R20 21 22), además provocan quemaduras (R34) y pueden provocar sensibilización por contacto con la piel (R43).

Los riesgos aparecen cuando las concentraciones de estireno en el ambiente son elevadas. Cuando aparecen sensibilizaciones por resina epoxi. El contacto con productos corrosivos también puede ser un riesgo importante. Además de incendios y explosiones.

Las medidas preventivas a tener en cuenta son:

- Búsqueda de productos menos contaminantes (sustitución siempre que sea posible).
- Instalación o mantenimiento encendido de sistemas de extracción localizada de aire.
- Ventilación general de las instalaciones.
- Eliminación de envases (vacíos o llenos) junto al puesto de trabajo. No quitar etiquetas.
- Control ambiental de contaminantes.
- Uso correcto de equipos de protección individual.
- Información y formación a los trabajadores.
- Vigilancia en la salud.
- Distribución de las fichas de seguridad de los productos empleados.
- Evitar comer, beber o fumar junto al puesto de trabajo.
- No usar envases sin etiquetas. Tampoco usar botellas de refrescos, agua o similar.
- Higiene personal estricta.
- Evitar la entrada del contaminante por las cuatro vías principales de entrada: boca, nariz, piel y heridas.

Es importante el mantenimiento preventivo de la instalación, procediendo a la reparación de cualquier zona defectuosa o deteriorada. Se deberá de considerar que los vapores existentes son inflamables, por lo que la salida del sistema de aspiración no podrá estar en zonas próximas a lugares con presencia de llamas o chispas (por ejemplo, a sistemas de carga de baterías, transformador de corriente, ...). Las zonas y puestos de trabajo donde se manejen productos químicos deberán de estar perfectamente señalizadas.

Se deberá de tener en cuenta las principales vías de entrada de un producto químico en el organismo, evitando el contacto o la exposición.

- Vía respiratoria (Imagen 12.13). A través de la nariz y la boca, los pulmones, etc.

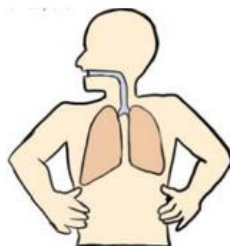


Imagen 12.13: Vía respiratoria.

Es la vía de penetración de sustancias tóxicas más importante en el medio ambiente de trabajo, ya que con el aire que respiramos pueden penetrar en nuestro organismo polvos, humos, aerosoles, gases, vapores de productos volátiles, etc.

- Vía dérmica (Imagen 12.14). A través de la piel.



Imagen (Imagen 12.14): Vía dérmica.

Es la vía de penetración de muchas sustancias que son capaces de atravesar la piel, sin causar erosiones o alteraciones notables, e incorporarse a la sangre, para posteriormente ser distribuidas por todo el cuerpo.

- Vía digestiva (Imagen 12.15). A través de la boca, estómago, intestinos, etc.



Imagen 12.15: Vía digestiva.

Es la vía de penetración a través de la boca, el esófago, el estómago y los intestinos. También hemos de considerar aquí la posible ingestión de contaminantes disueltos en las mucosidades del sistema respiratorio.

- Vía parental. A través de heridas, llagas, etc.

Es la vía de penetración directa del contaminante en el cuerpo a través de llagas, heridas, etc.

13.-CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS ORNAMENTALES. CARACTERIZACIÓN.

En los apartados siguientes se comentan los ensayos que más se utilizan actualmente en nuestro país para poder llegar a caracterizar un material pétreo que va a ser empleado en la industria de la construcción con fines ornamentales.

El hecho de que sean los ensayos más habituales no quiere decir que sean los únicos, ya que se da el caso de que materiales pétreos destinados a la exportación se caracterizan con arreglo a normas del país de destino, en lugar de hacerlo con normas UNE.

13.1.-Descripción petrográfica.

No existe ninguna norma UNE para la descripción petrográfica de granitos ornamentales.

Para mármoles y calizas, la norma UNE-EN 12057:2015 de Productos de piedra natural, indica cómo establecer el número de láminas delgadas necesario para determinar la composición modal de una roca por conteo de minerales, la forma de diferenciar las especies minerales, la manera de determinar la textura de recristalización,...

La roca específica que los resultados se expresen en función del tamaño medio de los cristales de acuerdo con cuatro intervalos: finamente cristalina (menos de 0,0156 mm), medianamente cristalina (hasta 0,0625 mm), gruesamente cristalina (hasta 0,25 mm) y muy gruesamente cristalina (más de 0,25 mm). Aplicar el tamaño promedio del conjunto de cristales existentes en una roca para clasificar rocas metamórficas, carbonatadas o no, es lo más ajustado a los cánones petrográficos, pero hacerlo con todas las rocas carbonatadas ignorando el tamaño de los clastos, de los minerales amorfos o de los organismos fósiles, carece de rigor científico y se revela como escasamente práctico. La norma UNE-EN 12326-1:2015 de Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos, en su apartado de requisitos, señala que sobre el yacimiento de origen se lleve a cabo un análisis petrográfico de los niveles explotados que incluya esquistosidad, composición mineralógica, inclusiones metálicas y variaciones de composición.

De todo lo anterior se deduce que las normas UNE de rocas ornamentales dicen muy poco a cerca de la forma de llegar a conocer la naturaleza de una roca y toda una serie de aspectos que pueden influir en su comportamiento químico, físico y mecánico a la hora de su utilización con fines ornamentales.

Una buena caracterización petrográfica debe incluir una descripción macroscópica y microscópica de la roca, cuya mayor o menor amplitud dependerá del tipo de roca, y concluir con su clasificación, indicando el sistema o criterio empleado y la metodología seguida haciendo referencia a las normas utilizadas.

En la descripción macroscópica se debe indicar la estructura o conjunto de caracteres observables a gran escala, las dimensiones de los cristales o granos que componen la roca, la presencia de fisuras y si están recomendadas, el grado de alteración, etc.

La descripción microscópica debe incluir la textura o conjunto de caracteres observables a pequeña escala, los constituyentes, ya sean minerales, masa vítrea o restos fósiles, la existencia de poros y microfracturas, etc.

13.2.-Análisis químico.

No existe ninguna norma UNE para determinar la composición química de granitos, mármoles, calizas o pizarras ornamentales. Tal vez sea porque es una determinación poco importante para rocas inalteradas.

La caracterización química de una roca cobra especial importancia cuando se realizan trabajos de investigación relacionados con la alteración y conservación de minerales pétreos en obras de interés histórico artístico. Al comparar la composición química de muestras sin alterar y de muestras alteradas se pueden conocer los cambios químicos que hayan sufrido la piedra y correlacionar los datos del análisis con la alteración.

Los componentes principales que es preciso determinar cuándo se realiza la caracterización química de una roca son: SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , y pérdida por calcinación.

Con excepción de Na_2O y K_2O , que se suelen determinar por espectroscopio de emisión de llama, los restantes componentes se determinan por métodos químicos de análisis convencionales.

La presencia en una roca de otros elementos, que incluso en muy pequeña proporción pueden originar variaciones de color, alteraciones, etc., se realiza habitualmente mediante espectrofotometría de absorción atómica.

13.3.-Determinación del peso específico aparente y de la absorción del agua.

Según la norma UNE-EN 1926:2007 Métodos de ensayo para piedra natural, el ensayo para determinar el peso específico aparente y la absorción de agua se realiza con tres probetas cúbicas de 7 cm de arista, desecadas previamente en estufa a 110°C hasta peso constante (W), sumergidas posteriormente en agua filtrada, a 20°C , también hasta peso constante, durante un tiempo mínimo de 48 horas.

A partir de los pesos en seco (W_s), pesos en húmedo (W_h) y de los pesos de las probetas húmedas sumergidas en el agua (W_a), se determinan el peso específico aparente (γ_a) y el coeficiente de absorción de agua (α_a), mediante las expresiones siguientes:

$$\gamma_a = \frac{W_s}{W_h \cdot W_a} \quad (16)$$

$$\alpha_a(\%) = \frac{W_h \cdot W_s}{W_s} \quad (17)$$

El coeficiente de absorción de agua mide el tanto por ciento en peso de agua absorbida en relación al peso en seco de la probeta.

Como resultados definitivos se toman las medias aritméticas de los resultados de las

tres probetas. El peso específico aparente es adimensional y el coeficiente de absorción de agua viene expresado en tanto por ciento.

Para pizarras ornamentales, de acuerdo con la Norma UNE-EN 12326-1:2015 para productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos, se emplean cuatro placas o losas representativas de una partida y se utiliza el mismo procedimiento operativo que para granitos y mármoles.

El peso específico aparente se obtiene a partir de la expresión anterior (16), pero según la norma debe expresarse en g/cm^3 , mientras que para la absorción de agua la norma señala que se emplee la siguiente expresión (18):

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{W_h \cdot W_s}{W_h \cdot W_a} \cdot 100 \quad (18)$$

Que mide el tanto por ciento en peso de agua absorbida en relación al volumen de las probetas.

Si se comparan las expresiones (17) y (18) y se aplican a una pizarra ornamental, dado que W_s será siempre mayor que $W_h - W_a$, resultará que la absorción de agua referida al peso de las muestras será menor que si se refiere al volumen de éstas. Esto significa que si se determina la absorción de agua de una pizarra siguiendo las normas UNE de granitos o de mármoles, se obtiene un valor más pequeño, y por tanto mejor que si se hace con su propia norma.

13.4.-Determinación de la resistencia a compresión.

Tanto para granitos, mármoles y calizas, la norma UNE-EN 1926:2007 Métodos de ensayo para piedra natural y para pizarras la UNE-EN 12326-1:2015 para Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos, el ensayo se realiza con seis probetas, de forma cúbica con 7 cm de diámetro y una relación altura/diámetro que no

sea inferior a 1.

Las probetas se sumergen en agua filtrada, a 20°C, durante un tiempo mínimo de 48 horas y posteriormente se someten a cargas crecientes y centradas en las superficies de aplicación hasta la rotura.

En el ensayo se emplea una prensa provista de rótula de segmento y se utiliza una velocidad de aplicación de la carga comprendida entre 0.49 y 0.98 MPa/s.

La resistencia a compresión se obtiene dividiendo las cargas de rotura por los promedios de las áreas de las bases superior e inferior de cada probeta. Se expresa en megapascuales.

Las normas indican que en tres probetas la carga se aplique en dirección paralela a la dirección del aserrado y en las otras tres en dirección perpendicular.

En aquellos casos en que la dirección de aserrado no está marcada en las probetas se da como resultado el promedio de los valores obtenidos para las seis probetas. En otras ocasiones, cuando se aprecia la estratificación en rocas sedimentarias o esquistosidad en pizarras, las cargas se suelen aplicar en dirección perpendicular a esas direcciones.

Un factor muy importante en la realización del ensayo es que debe existir un paralelismo entre las bases superior e inferior de cada probeta. La falta de paralelismo hace que el reparto de cargas no sea uniforme y que se obtengan valores de resistencia a compresión más bajos.

13.5.-Determinación de la resistencia a flexión.

De acuerdo con la Norma UNE-EN 12372:2007 de Métodos de ensayo para piedra natural, la determinación de la resistencia a flexión se puede realizar con seis probetas prismáticas de 300 x 25 x 40 mm, que es caso más habitual, o con probetas de 90 x 30 x 30 mm talladas a partir de testigos de sondeo, que previamente hayan estado sumergidas en agua filtrada, a 20°C, durante un tiempo mínimo de 48 horas.

Para probetas de 300 x 25 x 40 mm el ensayo se realiza en una prensa a la que se adapta un dispositivo de tensión empleando una carga que se transmite a velocidad de 10 N/s a través de dos rodillos cilíndricos distanciados 100 mm sobre la probeta situada entre los dos apoyos cilíndricos separados 200 mm.

La resistencia a flexión, en megapascuales, se obtiene a partir de la expresión:

$$R(MPa) = \frac{1}{100} \cdot \frac{3WL}{4bh^2} \quad (19)$$

En la que W es la carga de rotura en N, L la distancia entre apoyos inferiores en cm, b la anchura en cm de las caras sometidas al esfuerzo y h la altura de la probeta en cm.

Para probetas de 90 x 30 x 30 mm, la carga se aplica a través de un único rodillo oscilante, centrado sobre la probeta, que a su vez se apoya en dos rodillos separados 80 mm, empleando una velocidad de carga de 70 N/s.

El valor de la resistencia a flexión se obtiene de la expresión:

$$R(MPa) = \frac{1}{100} \cdot \frac{3WL}{4bh^2} \quad (20)$$

En la que W, L, b, h tienen el mismo significado que en el caso anterior.

La norma indica que en tres probetas el esfuerzo se ejerza en dirección paralela a la de aserrado y en otras tres en dirección perpendicular, pero al igual que ocurre con el ensayo de resistencia a compresión, en muchas ocasiones esas direcciones no aparecen indicadas.

Para Productos de pizarra y piedra natural para tejados y revestimientos discontinuos, UNE-EN 12326-1:2005, se emplean cuatro piezas enteras como mínimo, secas o embebidas en agua, que sólo se podrán cortar cuando sobresalgan lateralmente de los apoyos de la máquina de ensayo.

El dispositivo de flexión empleando una separación entre apoyos de 200 mm o de

100 mm, dependiendo del tamaño de las piezas. La velocidad de carga ha de ser de 10 N/s.

La expresión que da el resultado de la resistencia a flexión es la misma que se emplea para granitos, mármoles y calizas con probetas de 90 x 30 x 30 mm.

13.6.-Determinación de la resistencia al choque.

Para la determinación de la resistencia al choque de placas y losas de pizarra ornamentales, Norma UNE-EN 12326-1:2015, se utilizan cuatro placas de 20 x 20 x 3 cm.

Sobre cada placa situada en un lecho de arena de 10 cm de espesor, se deja caer una esfera de acero de 1 Kg de peso desde una altura inicial de 5 cm, que se va aumentando gradualmente en 5 cm hasta que se produce la rotura de la muestra o hasta haber alcanzado una altura máxima de caída de 150 cm.

El resultado final es la media aritmética de las alturas a las que se producen la rotura de cada una de las muestras.

Para granitos mármoles y calizas, la norma UNE-EN 14158:2004, para Métodos de ensayo para la piedra natural, se emplea el mismo procedimiento operativo utilizando cuatro placas de 20 x 20 x 3 cm con una esfera de 1 Kg y cuatro plaquitas de 12 x 5 x 1 cm, procedentes del ensayo de microdureza Knoop con una esfera de 250 g de peso.

13.7.-Determinación de la resistencia a las heladas.

El ensayo de resistencia a las heladas para granitos, mármoles y calizas ornamentales, Norma UNE-EN 12371:2002, se realiza con tres probetas cúbicas de 7 cm de arista, que son desecadas en estufa a 110 grados centígrado hasta peso constante, sumergidas en agua durante 48 horas y sometidas posteriormente a 25 ciclos de hielo, en cámara frigorífica a -15 grados centígrados durante 20 horas, y deshielo en agua entre 15 y 20 grados centígrados durante 4 horas.

Al final de los ciclos congelación-deshielo se desecan las probetas en estufa hasta

peso constante, se observa si han aparecido alteraciones superficiales y se obtiene el módulo de resistencia a las heladas como la variación de peso experimentada por las probetas en tanto por ciento.

Para pizarras ornamentales, Norma UNE-EN 12326-1:2015 para Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos, el procedimiento operativo es el mismo, pero utilizando cuatro placas o losas enteras sumergidas previamente en agua durante sólo 4 horas.

Además de la variación de peso y de las posibles alteraciones superficiales, se determina el módulo de rotura a flexión después de los ciclos de congelación-deshielo y se compara con el módulo de rotura a flexión de otras muestras secas sin alterar.

13.8.- Determinación de la resistencia al desgaste por rozamiento.

Para granitos, mármoles y calizas, Norma UNE-EN 1341:2013 y pizarras ornamentales, Norma UNE-EN 12326-1:2005, el ensayo de resistencia al desgaste por rozamiento se realiza con dos probetas cúbicas de 7 cm de arista, que se someten a desgaste por abrasión sobre una pista giratoria horizontal de acero, a lo largo de un recorrido de 1.000m.

Sobre la pista se vierte abrasivo de carborundum, cuyos granos estén comprendidos entre un tamiz 0,33 y un tamiz 0,63, en cantidad de 50 g por cada cara de probeta a desgastar y agua filtrada a razón de 1 l por cada cara.

Cada probeta está sometida durante el ensayo a una presión constante de 0,0588 MPa y se desgastan por tres caras que formen triedro.

A partir de la diferencia entre los volúmenes inicial y final de las probetas y de la superficie total de las caras sometidas a desgaste se calcula el desgaste lineal en mm, cuyo valor promedio se da como valor de resistencia al desgaste del material.

13.9.-Determinación de la resistencia a los cambios térmicos.

Para Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos, Norma UNE-EN 12326-1:2015 se emplean cinco placas de forma rectangular o cuadrada representativas de una partida. Una placa se mantiene inalterada en ambiente de laboratorio, las otras cuatro se desecan en estufa a 105 grados centígrados hasta peso constante y se someten a 25 ciclos de calentamiento en estufa durante 20 horas a 105 grados centígrados e inmersión en agua durante 4 horas a 20 grados centígrados.

Al final de los ciclos de humedad-sequedad se determinan las variaciones de peso de las probetas, se valoran las alteraciones superficiales que se hayan podido producir por comparación con la muestra y se ensayan a flexión, comparando el módulo de rotura de las cuatro probetas sometidas a ensayo con el de cuatro probetas inalteradas.

Para granitos, mármoles y calizas ornamentales no existe Norma UNE. Se sigue el mismo proceso operativo utilizando cinco placas, pulidas si es el caso. Al final de los 25 ciclos de humedad-sequedad se registran las variaciones de peso y se describen las alteraciones superficiales de las probetas, sin someterlas a ensayos de resistencia a flexión.

13.10.-Determinación del módulo de elasticidad.

La Norma UNE-EN 14146:2004 de Métodos de ensayo para piedra natural, para granitos mármoles y calizas, definen el módulo elástico de una roca como la relación entre la carga aplicada y la deformación unitaria dentro del período elástico.

Para la realización del ensayo se emplea una máquina apta para ensayos de compresión provista de un extensómetro capaz de medir deformaciones verticales en el punto medio de una probeta con precisión de 0,01 mm.

Sobre cada probeta se aplican cargas a razón de 0,49 a 0,98 MPa/s, de manera continua, sin choques ni brusquedades, hasta que se produzca la rotura, midiendo las cargas correspondientes a una deformación vertical de 0,1 mm, 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm y así sucesivamente.

En un sistema de coordenadas rectangulares se representan en abscisas las deformaciones unitarias y en ordenadas las cargas, obteniendo una nube de puntos a la que se ajusta una curva. El módulo de elasticidad se obtiene calculando la pendiente de la curva y se expresa en megapascuales.

Para el ensayo se emplean cuatro probetas cilíndricas con una relación altura/diámetro de la base comprendida entre 2 y 2,5. Dos probetas deben estar cortadas con la altura paralela a la dirección de aserrado y en otras dos en dirección perpendicular a la de aserrado, ejerciendo los esfuerzos en esas direcciones.

La Norma UNE-EN 12326-1:2015 de Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos, que regula el ensayo de resistencia a flexión indica la forma de hallar el módulo de elasticidad adaptando al equipo un deflectómetro capaz de medir deformaciones verticales en el punto medio de las probetas mientras se realiza el ensayo.

Representando las cargas aplicadas y las flechas medidas por el deflectómetro en un sistema de ejes coordenados rectangulares, ajustando una recta o la nube de puntos y aplicando una fórmula se obtiene el valor del módulo de elasticidad de una pizarra ornamental.

A diferencia de estos módulos de elasticidad, en estudios de restauración de obras de piedra se suele emplear el módulo de elasticidad dinámico, ya sea longitudinal, a flexión o a torsión, que se determina mediante ensayos de frecuencia de resonancia.

Excitando una probeta de material, variando la frecuencia de excitación y registrando los desplazamientos de la probeta y el peso específico aparente, a partir de una fórmula se obtiene el módulo de elasticidad dinámico.

Este método se emplea para detectar fisuras o microfisuras invisibles desde el exterior de una roca, alteraciones internas o comprobar reforzamientos de la cohesión conseguidos con ciertos tratamientos.

13.11.-Determinación del coeficiente de dilatación lineal.

No existe ninguna Norma UNE para la determinación del coeficiente de dilatación lineal térmica de rocas ornamentales. El ensayo se puede realizar siguiendo el procedimiento operativo descrito por un documento de RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayo y de Investigación para Materiales de Construcción).

Para la realización del ensayo se utiliza un medidor de expansión constituido por un plato inferior, sobre el que se fija la muestra, y por una barra horizontal superior, soportada por dos columnas de acero invar, que lleva un captador que transforma el desplazamiento mecánico en una señal eléctrica que puede recogerse en un registrador.

Se emplean tres probetas como mínimo, de forma cilíndrica o prismática, en cuyos centros se disponen captadores de temperatura.

Cada muestra, montada en el medidor de expansión, se introduce en una cámara climática haciendo variar la temperatura entre 10 y 50 grados centígrados, a una velocidad máxima de 10 °C/h, registrando simultáneamente la evolución de la deformación de la probeta y las variaciones de temperatura.

El coeficiente de dilatación lineal, en milímetros por metro y grado centígrado, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Coeficiente dilatación lineal} \left(\frac{\text{mm}}{\text{m}} \text{ } ^\circ\text{C} \right) = \frac{1}{l \cdot T} \cdot 1000 \quad (20)$$

Relaciona la deformación en mm con la longitud l de la probeta en mm y la variación de temperatura en °C.

Cuando no se dispone del instrumental necesario para efectuar un registro continuo de temperaturas y deformaciones lo que se hace es medir el coeficiente de contracción lineal a partir de probetas calentadas previamente en estufa, utilizando un medidor de expansión y anotando el acortamiento que experimentan las probetas desde que salen de la estufa hasta que alcanzan la temperatura ambiente.

13.12.-Determinación de la resistencia al SO₂.

Hasta el presente no hay ninguna Norma UNE que pueda utilizarse para la determinación de la resistencia al anhídrido sulfuroso de los materiales pétreos utilizados con fines ornamentales.

El ensayo se realiza con siete placas de 20 x 15 cm de superficie, una de las cuales se mantiene inalterada como muestra patrón, que tengan una cara pulida si es que el material se va a comercializar así.

Se desecan tres probetas en estufa durante 24 horas y otras tres se mantienen sumergidas en agua desionizada durante 24 horas. Posteriormente se pesan y se colocan en posición vertical en una cámara hermética, 10 cm por encima de un recipiente que contenga una disolución de ácido sulfuroso que es la que genera los vapores de SU₂.

Transcurridos 21 días se extraen las probetas de la cámara de ataque y se dejan secar 24 horas en ambiente de laboratorio antes de pesarlas y examinarlas.

Como resultado del ensayo se da la pérdida o ganancia de peso y se hace una valoración visual de las alteraciones superficiales, cambios de color, desprendimientos del material u otros posibles defectos que puedan afectar a la estructura de los materiales ensayados.

13.13.-Determinación de la resistencia al anclaje.

No existe ninguna Norma UNE para la determinación de la resistencia al anclaje de rocas ornamentales, por lo que para realizar el ensayo se emplea un documento de trabajo del Comité Técnico de Normalización.

Se utilizan dos placas de 15 x 15 x 3 cm. En el centro de cada uno de los cuatro cantos de una placa se practica un taladro de 5 mm de diámetro y 50 mm de longitud mediante una lechada de cemento que se deja secar durante 24 horas.

Cada placa se sujeta firmemente entre dos placas metálicas al bastidor de la máquina

de ensayo, enganchando el bulón a un dispositivo que ejerce un esfuerzo de tracción en dirección perpendicular al eje del bulón, con una velocidad de 50 N/s, hasta que se produce la rotura de la placa, midiendo la carga de rotura con un dinamómetro.

Como el valor de la resistencia al anclaje se da el valor promedio de las ocho determinaciones expresado en newtons.

13.14.-Determinación del contenido en carbonatos.

Las placas y losas de pizarra que contengan minerales carbonatados, si están en atmósferas contaminadas sometidas a la acción del ácido sulfúrico, pueden dar lugar a la formación de sulfato cálcico y por hidratación producir alteraciones, de ahí la necesidad de determinar el contenido en carbonatos de las pizarras ornamentales que se realiza de acuerdo con la Norma UNE-EN 12326-1:2015.

El método de ensayo se basa en la descomposición de los carbonatos por la acción del ácido clorhídrico, con desprendimiento de anhídrido carbónico gaseoso. Conociendo la cantidad de CO₂ desprendida mediante la medida de su volumen, presión y temperatura, puede calcularse la cantidad de carbonato que habrá en la muestra ensayada.

En el ensayo se utiliza un Calcímetro de Bernard, que se calibra con carbonato cálcico puro, por lo que no es necesario tener en cuenta la presión y la temperatura.

Para la realización del ensayo se emplean 10 g de muestra pulverizada, desecada previamente en estufa hasta peso constante, que se introducen en el matraz Erlenmeyer junto con un tubito con 3 cm³ de ácido clorhídrico diluido.

Una vez conectados los tubos flexibles y enrasada la bureta subiendo o bajando el tubo de nivel que contiene una disolución de cloruro sódico, se mueve el matraz hasta que se vuelque el ácido sobre la muestra pulverizada. Transcurridos 5 minutos, una vez terminada la reacción, se anota la lectura estabilizada de la bureta.

El volumen de CO₂ desprendido en la reacción se obtiene por diferencia entre las lecturas inicial y final de la bureta.

La calibración del aparato se realiza con anterioridad al ensayo de la muestra, de forma análoga a la descrita, utilizando 0,2 g de carbonato cálcico puro.

Si v es el volumen en cm^3 de CO_2 desprendido por los 10 g de muestra y V_0 es el volumen en cm^3 de CO_2 desprendido por los 0,2 g de CO_2 puro, el contenido en carbonato cálcico de la muestra viene dado por la expresión:

$$\% \text{ carbonato cálcico} = \frac{0.2 \cdot V_1}{10 \cdot V_0} \cdot 100 \quad (21)$$

El método de ensayo presupone que todos los carbonatos están en forma de CO_2Ca , pero si existen otros minerales atacables por el ácido clorhídrico, por ejemplo, la pirrotina que produce un desprendimiento de Sh_2 , es posible que se produzcan otros gases que falseen el resultado.

14.-CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS ROCAS ORNAMENTALES. NORMALIZACIÓN.

Diferentes comités técnicos de normalización y grupos de expertos, tanto a nivel nacional como en el marco de la Comunidad Europea, han elaborado una normativa tendente a garantizar que los productos de construcción, entre los cuales se encuentran las rocas ornamentales, puedan llegar a ser comercializadas únicamente si son idóneos para el uso que están destinados, es decir que cumplen una serie de requisitos básicos relativos a la seguridad, a la salud y otros aspectos de interés colectivo.

En los apartados siguientes se justifica la necesidad de la normalización como instrumento de apoyo a la industria para garantizar la calidad de los productos y servicios, se revisa la situación de la normativa española en materia de rocas ornamentales y/o piedra natural, se enumeran los grupos de trabajo del Comité Europeo de Normalización (CEN) que intervienen en la elaboración de normas en el campo de la piedra natural y se hace una serie de reflexiones acerca del futuro previsible de la normalización y certificación en el sector minero-industrial de las piedras naturales.

14.1.- El porqué de la normalización.

La normalización es uno de los instrumentos técnicos en los que se apoya la industria para garantizar la calidad de los productos y servicios. Los otros instrumentos técnicos: certificación, ensayos, calibración e inspección, están íntimamente relacionados con ella y todos constituyen los ejes sobre los que gira la infraestructura de calidad y seguridad industriales.

La normalización es la actividad que pretende establecer un proceso por el cual se unifican criterios respecto a determinadas materias y se posibilita la utilización de un lenguaje común en un campo de actividades concreto.

La expresión práctica de la normalización es la norma, que es una especificación técnica establecida con la participación de todas las partes interesadas, aprobada, dentro del ámbito voluntario, por un organismo reconocido, a nivel nacional o internacional, por su actividad normativa, para una aplicación repetitiva o continuada.

Las normas establecen un criterio objetivo que debe tener un producto, bien o servicio y definen su seguridad, durabilidad, fiabilidad, mantenimiento e intercambiabilidad.

Las ventajas de la normalización pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- Simplificación: por medio de la normalización se intenta controlar, unificar y simplificar productos y procesos.
- Economía en la producción: a través de la racionalización y optimación de los procesos productivos se pretende compatibilizar los aspectos técnicos de las normas y la consecución de ventajas económicas para el productor y el consumidor.
- Eliminación de barreras comerciales: la existencia, conocimiento y aplicación de las normas facilita el comercio en tanto en cuanto los productos se ajusten a normas nacionales o internacionales de aceptación general.

Una de las aplicaciones más importantes de la normalización es la de servir de referencia a la certificación de aquellos productos que reúnen las características recogidas en las normas.

La normalización surgió en Alemania a finales del siglo XIX, aplicada a la fabricación de perfiles laminados, y se desarrolló durante los primeros años del presente siglo, dando lugar en 1917 a la creación de la Comisión Alemana de normalización (DNA) cuyos primeros trabajos se plasmaron en una serie de Normas de Industria Alemana (DIN) que se utilizaron para unificar material militar.

En Estados Unidos la normalización se remonta a 1902, con la creación de la Sociedad Americana para Ensayo de Materiales (ASTM) y la aparición posterior de otros organismos como la Asociación Americana de Normalización (ASA) y el Instituto Americano de Normalización (ANSI).

De 1918 data la actividad normativa en Francia, que dio origen a la creación en 1926 de la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) y de 1919 son las primeras normas BSI del Reino Unido.

El primer organismo oficial español con competencias en el ámbito de la normalización fue el Instituto Nacional de Racionalización y Normalización (IRA-NOR),

creado a finales de 1945 dependiendo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

La necesidad de establecer en nuestro país un sistema de normalización y certificación comparable al de otros países y adecuarlo a las necesidades que planteaba el ingreso de España en la Comunidad Europea llevó al entonces Ministerio de Industria y Energía a reordenar las actividades de normalización y certificación en 1985, creándose el 26 de febrero de 1986 la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), que actualmente es la única entidad autorizada para llevar a cabo actividades de N + C.

AENOR es una asociación de carácter privado y ámbito nacional en la que están integrados organismos públicos de investigación, organizaciones empresariales y profesionales, asociaciones de usuarios y consumidores, entidades, personas físicas y jurídicas y representantes de la administración central y autonómicas, cuyos objetivos son:

- Elaborar y publicar normas y documentos técnicos sobre normalización y certificación de bienes y servicios.
- Fomentar el desarrollo de la normalización en España, promoviendo y coordinando los trabajos para la elaboración de las normas UNE.
- Desarrollar la certificación de productos y empresas, concediendo las marcas que acrediten su conformidad con las normas.
- Promover la participación española en los organismos internacionales de N + C, ostentado ante ellos la representación de nuestro país.
- Colaborar con la Administración a fin de lograr la mayor implantación posible de la normalización y certificación.

En 1983 se creó el Comité Europeo de Normalización (CEN), cuyos miembros son los organismos nacionales de normalización de los países miembros de la CE y los países de la Asociación Europea de Libre Cambio (AELE). Junto con el comité europeo de normalización electrónica (CENELEC) es el encargado de la realización de las normas generales (EN).

El objetivo de la normalización europeo es la armonización de normas en todos los campos de la tecnología con el fin de facilitar el intercambio de bienes y servicios, eliminando barreras técnicas al comercio, así como la creación de herramientas para la

mayor competitividad de la industria europea.

Las actividades de normalización del CEN tienen como objetivos:

- Promover la implementación de normas internacionales preparadas por ISO.
- Promover la armonización de las normas nacionales y documentos técnicos.
- Promover nuevas normas europeas (EN) y documentos de armonización (HD) en aquellos campos donde no existan.
- Crear e implementar procedimientos para el reconocimiento mutuo de ensayos, sistemas de certificación y marcas de certificación.
- Cooperar con la CE, AELE, organizaciones económicas y técnicas europeas e internacionales.

14.2.-La Normalización de la piedra natural.

Desde hace unos años se están llevando a cabo actividades de normalización tanto a nivel nacional como a nivel comunitario con el objetivo final de poder llegar a establecer qué requisitos mínimos han de reunir las piedras naturales para que puedan ser utilizadas como material de construcción.

En los apartados siguientes se describe la normativa existente en España, se comentan las actividades de los grupos de trabajo que se encuentran desarrollando normas y se indican las dificultades que va a tener que superar el sector minero-industrial de la piedra natural a la hora de plantearse la certificación de los productos que elabora.

14.3.-La Normalización en España.

Las primeras normas españolas relativas a la piedra natural se remontan a los años cincuenta, y han sido publicadas por IRANOR. Tendremos en cuenta que estas normas han sido anuladas por normas actuales y citaremos las vigentes hoy en día.

Siete de ellas son normas UNE para ensayos de materiales y tienen por objeto determinar la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total (UNE-EN

1936:2007), los requisitos y métodos de ensayo de adoquines (UNE-EN 1342:2013), la heladicidad en adoquines de piedra (UNE-EN 12371:2011) y la absorción de agua en pizarras para cubiertas (UNE-EN 12326-1:2015).

De todas estas normas solo las dos últimas tienen carácter de especificación, pues establecen los niveles mínimos de calidad que han de reunir los materiales e indican métodos de ensayo que han de aplicarse a fin de determinar si los materiales cumplen lo especificado

De los años setenta son el resto de las normas, que actualmente son las siguientes: la norma UNE-EN 771-6:2012+A1:2016 que define los elementos de piedra natural para obras de fábrica, UNE-EN 1936:2007 que establecen los métodos para determinar, respectivamente la densidad aparente y la porosidad de pizarras para cubiertas, y la norma UNE-EN 12326-1:2015 para determinar la resistencia a flexión de pizarras para cubiertas.

También se encuentra normativa en el ámbito de la piedra natural en las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE) de la Dirección General de Arquitectura y Tecnología de la Edificación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, que regulan las actividades de diseño, cálculo, construcción, control, valoración y mantenimiento en el campo de la edificación.

Las normas NTE tienen carácter de soluciones, criterios técnicos, reglas y condiciones recomendados, por la Administración para la aplicación práctica de la normativa de obligado cumplimiento, facilitando el desarrollo de proyectos y la ejecución de las obras, pero por sí mismas no son normas básicas, reglamentos o instituciones de obligado cumplimiento, toda vez que se reconoce la posibilidad de que se puedan adoptar otras reglas y condiciones que cumplan igualmente las disposiciones básicas.

La revisión del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales que realizó en 1981-1982 el Ministerio de Industria y Energía recomendaba la elaboración de un conjunto de normas básicas referidas a la caracterización de rocas ornamentales, encargándose el Instituto Geológico y Minero de España (actualmente IGME) de desarrollar esa iniciativa con la colaboración de la Asociación de Investigación Tecnológica de Equipos Mineros (AITEMIN), asociaciones de productores y transformadores de piedra natural, centros de investigación, laboratorios y administración.

Fruto de ese programa fue la publicación en 1985, por IRANOR, de las 32 normas UNE sobre rocas ornamentales. En este conjunto de normas UNE (actuales y citadas anteriormente) y normas NTE queda recogida toda la normativa existente en España en materia de piedra natural en el momento presente.

La normalización en materia de piedra natural, desde la creación de AENOR, es competencia del Comité Técnico de Normalización nº22 "Minería y Explosivos" y de los Grupos de trabajo que lo integran.

La normalización en el dominio de las piedras naturales, incluyendo la terminología, la clasificación, las exigencias de bloques, planchas, productos semielaborados y terminados, el muestreo, los métodos de ensayo y las exigencias de montaje y puesta en obra.

14.4.-Perspectivas de futuro.

De unos años a esta parte se está extendiendo a nivel internacional una cultura y una preocupación por la calidad, auspiciada por las administraciones de los países más industrializados a través de una serie de campañas de sensibilización dirigidas tanto a usuarios como a empresas.

Algunos materiales de construcción nacionales, sustitutivos o muy directos competidores de las piedras naturales, como pueden ser las baldosas cerámicas para revestimiento de suelo y paredes, los ladrillos cerámicos a cara vista y tejas de arcilla cocida han entrado ya en esa dinámica, cuentan con comités técnicos de certificación para gestionar la concesión de las correspondientes marcas AENOR para productos certificados, e incluso disponen de normas de aplicación que son normas europeas (EN), como es el caso de las baldosas cerámicas. Este deber ser el objetivo que alcanzar por el sector minero-industrial de la piedra natural.

La implantación de sistemas para el aseguramiento de la calidad aplicables a la elaboración de productos acabados de piedra natural y a la instalación en obra de los mismos debe ser, en principio, lo menos complicado. Lo mismo puede decirse en lo referente a características geométricas, tolerancias dimensionales y tipo de acabado superficial.

Otra cuestión más ardua será como poder llegar a establecer un sistema para el aseguramiento de la calidad de la materia prima, la inmensa variedad de rocas coherentes con posibilidades de ser empleadas como piedras naturales, que precisamente por ser materiales de origen natural están sujetos a imperfecciones.

Algunas de estas imperfecciones como las variaciones de textura, la distribución y armonía de colores, la presencia irregular de vetas y concreciones, etc., en ocasiones llegan a sustituir su principal atractivo, pues le confieren un aspecto físico-ornamental determinado que es una de las primeras características que aprecian usuarios y consumidores.

Otras como los cambios de composición mineralógica, las variaciones de facies, los cambios de estratificación, el diaclasamiento, la fracturación, las inclusiones metálicas, etc., condicionan negativamente las propiedades físicas, químicas y mecánicas, propiedades que es imposible modificar en los procesos industriales posteriores a la explotación minera, al contrario de lo que ocurre con las adiciones para formulación de pastas cerámicas, el moldeo por extrusión o prensado y la posterior cocción de los materiales cerámicos a los que anteriormente se ha hecho referencia.

15.-BIBLIOGRAFÍA.

15.1.-Libros.

- ASOCIACIÓN DEL GRANITO. Arquitectura en Granito. Galicia, España: Editorial Asociación Clúster del Granito, 2012.
- AVELLANEDA, JAUME. PARICIO, IGNACIO. Los Revestimientos de Piedra. Barcelona, España: Editorial Bisagra, 1999.
- AZCONEGUI M., FRANCISCO. CASTELLANO M., AGUSTIN. Guía práctica de la cantería. León, España: Taller Editorial, 1999.
- BUSTILLO REVUELTA, MANUEL. CALVO SORADO, JOSÉ PEDRO. Materiales de Construcción. Madrid, España: Fueyo Editores, 2005.
- LÓPEZ JIMENO, CARLOS. Manual De Rocas Ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración y Colocación. Madrid, España: E.T.S.I. Minas Universidad Politécnica de Madrid, 2012.
- FERNÁNDEZ MADRID, JOAQUÍN. Manual del Granito para el Arquitecto. Galicia, España: Asociación Gallega de Graniteros, 1996.
- GÓMEZ OREA, DOMINGO. GOMEZ VILLARINO, M^a. TERESA. Evaluación de impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental. Madrid, España: Mundi-Prensa, 2003.
- HUGUES, THEODOR. STEIGER, LUDWING. WEBER, JOHANN. Piedra Natural. Detail Praxis. Barcelona, España: Gustavo Gili, 2008.
- LÓPEZ MESONES, FERNANDO. NIEVES AGUIRRE, GREGORIO. ESCRIBANO VILLÁN, JOSEBA. Manual para el Uso de la Piedra en la Arquitectura. Bilbao, España: Editora Informstone Technic & Business., 2001.
- PRICE, MONICA T. Rocas Ornamentales: Identificación, Usos, Geología,

Asociaciones Históricas. Barcelona, España: Editorial Blume, 2008.

15.2.-Artículos y documentación en línea.

- SOCIEDAD DE INVESTIGACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE MINERA EN CASTILLA Y LEÓN (SIEMCALSA). La Piedra Natural de Castilla y León. España: Domènech e-learning multimedia, S.A., 2008.
- FERNÁNDEZ MADRID, JOAQUÍN. La Piedra y los Arquitectos hoy: dos actitudes. España: Universidad de Coruña, 1990.
- LÓPEZ GONZALES-MESONES, FRENANDO. La Piedra Natural El Recorrido De Los Minerales. Madrid, España: Domènech e-learning multimedia, S.A., 2007.

15.3.-Páginas web.

- Portales sobre el sector en general, con noticias relacionadas a maquinaria, productos, proyectos, artículos informativos y actualización de las fechas de los eventos importantes.
 - www.focuspiedra.com
 - www.litosonline.com
 - www.stonepanorama.com
- Catálogos de Productos.
 - www.granitosibericos.com
 - www.grupinex.com
 - www.architonic.com
 - www.ondiseo.com
 - www.materio.com

15.4.-Visitas a empresas del sector.

- Se han realizado varias visitas a empresas del sector del granito, pero por motivos de confidencialidad y protección de datos no se pueden desvelar los nombre de dichas empresas.